

TABLE DES MATIERES

NOUVEAUTES DANS LE LOGICIEL ROBOT MILLENNIUM - VERSION 16.1	1
GENERALITES.....	1
STRUCTURES A BARRES	1
PLAQUES, COQUES, CONTRAINTE/DEFORMATION PLANE.....	3
SOLIDES	3
STRUCTURES BETON ARME.....	3
ANALYSE DE LA STRUCTURE	4
ROBOT OPEN STANDARD	5
ACCELERATION DU FONCTIONNEMENT DU LOGICIEL ROBOT MILLENNIUM.....	5
1. INSTALLATION DU LOGICIEL.....	7
1.1. CONFIGURATION MINIMALE REQUISE	7
1.2. INSTALLATION ET VERSION RESEAU DU LOGICIEL	7
1.2.1. <i>Installation monoposte</i>	7
1.2.2. <i>Installation Réseau du logiciel</i>	16
1.3. AUTRES INSTALLATIONS	37
1.3.1. <i>Mise à jour du code de protection</i>	39
1.4. GENERATION DU RAPPORT D’INSTALLATION.....	40
2. INTRODUCTION.....	42
2.1. DESCRIPTION GENERALE DU LOGICIEL	42
2.2. TRAVAIL AVEC LE SYSTEME ROBOT MILLENNIUM – PRINCIPES GENERAUX	48
2.2.1. <i>Système de bureaux</i>	49
2.2.2. <i>Menus déroulants, menu contextuel, barres d’outils</i>	51
2.2.3. <i>Préférences et Préférences de l’affaire</i>	53
2.2.4. <i>Sélection et filtres</i>	57
2.2.5. <i>Affichage des attributs de la structure</i>	60
2.2.6. <i>Listes utilisées dans le logiciel</i>	62
2.2.7. <i>Caractéristiques communes des boîtes de dialogue (pointeur de la souris, calculatrices)</i>	64
2.2.8. <i>Conventions des signes</i>	65
2.2.9. <i>Conventions des signes - barres</i>	65
2.2.10. <i>Conventions des signes – éléments finis surfaciques</i>	66
2.2.11. <i>Conventions des signes – éléments finis volumiques</i>	68
2.2.12. <i>Liste de raccourcis clavier</i>	69
2.3. MODE D’ACCROCHAGE DU POINTEUR.....	70
3. PRINCIPES GENERAUX DE DEFINITION DU MODÈLE DE LA STRUCTURE	73
3.1. TYPES DE STRUCTURES.....	73
3.2. NOEUDS, BARRES	74
3.3. SECTIONS DE BARRES ET MATERIAUX.....	79
3.4. PANNEAUX.....	85
3.4.1. <i>Types d’éléments finis surfaciques</i>	88
3.4.2. <i>Emetteurs, raffinement et consolidation du maillage par éléments finis</i>	95
3.5. EPAISSEURS DES PANNEAUX.....	99
3.6. SOLIDES (STRUCTURES VOLUMIQUES).....	102
3.6.1. <i>Description des éléments finis volumiques</i>	106
3.7. OPERATIONS SUR LES OBJETS 2D (EXTRUSION, REVOLUTION, UNION) ET 3D (CONGE 3D ET CHANFREIN) 110	
3.8. APPUIS	119
3.8.1. <i>Définition des appuis élastiques (sols stratifiés)</i>	123
3.9. CHARGEMENTS.....	125

3.9.1.	Combinaisons de charges.....	135
3.9.2.	Pondérations.....	136
3.9.3.	Charges roulantes.....	141
3.9.4.	Charges roulantes - Autoloader.....	147
3.10.	GENERATION AUTOMATIQUE DES CHARGES CLIMATIQUES.....	151
3.10.1.	Charges de neige et vent 3D.....	154
3.10.2.	Charges de vent sur les pylônes.....	156
3.10.3.	Charges de neige et vent 3D.....	158
3.10.4.	Vent sur construction à base polygonale (prisme).....	161
3.10.5.	Descente de charge (charges prises à partir de la base de données).....	162
3.10.6.	Définition automatique des charges dues à la poussée du sol.....	164
3.11.	CABLES.....	168
3.12.	DEFINITION DES AUTRES ATTRIBUTS DE LA STRUCTURE.....	174
3.13.	AUTRES COMPOSANTS DE LA STRUCTURE.....	180
3.13.1.	Opérations d'édition.....	185
3.14.	STRUCTURES TYPES.....	186
3.15.	STRUCTURES PAR PHASES.....	190
3.16.	BIBLIOGRAPHIE.....	193
4.	ANALYSE DE LA STRUCTURE.....	197
4.1.	LANCEMENT DES CALCULS DE LA STRUCTURE.....	197
4.2.	LES DIFFERENTS TYPES D'ANALYSE DISPONIBLES.....	198
4.3.	DEFINITION D'UN NOUVEAU CAS OU MODIFICATION DU TYPE D'ANALYSE.....	217
4.4.	BIBLIOGRAPHIE.....	226
5.	EXPLOITATION DES RESULTATS.....	229
5.1.	ANALYSE GRAPHIQUE DES RESULTATS.....	231
5.2.	TABLEAUX.....	236
5.3.	CARTOGRAPHIES POUR LES BARRES.....	240
5.4.	CARTOGRAPHIES (Panneaux).....	243
5.5.	COUPES SUR PANNEAUX.....	248
5.6.	CARTOGRAPHIES POUR LES SOLIDES.....	254
5.7.	COUPES SUR SOLIDES.....	257
5.7.	ANALYSE GRAPHIQUE DES CONTRAINTES.....	260
5.8.	ANALYSE DES CONTRAINTES DANS LA STRUCTURE.....	264
5.9.	ANALYSE GLOBALE.....	267
5.10.	ANALYSE DETAILLEE.....	270
5.11.	LIGNES DE L'INFLUENCE.....	276
5.12.	RESULTATS REDUITS POUR LES PANNEAUX.....	279
5.13.	DIAGRAMMES DE L'ANALYSE TEMPORELLE / ANALYSES AVANCEES.....	284
6.	DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES.....	290
6.1.	DIMENSIONNEMENT ACIER / ALUMINIUM.....	290
6.1.1.	Analyse détaillée (norme Eurocode 3).....	301
6.1.2.	Bibliographie (Dimensionnement des structures acier).....	307
6.2.	DIMENSIONNEMENT BETON ARME.....	308
6.2.1.	Dimensionnement des poutres BA.....	311
6.2.2.	Dimensionnement des poteaux BA.....	320
6.2.3.	Dimensionnement des semelles BA.....	325
6.2.4.	Dimensionnement des longrines BA.....	329
6.2.5.	Dimensionnement des poutres-voiles BA.....	330
6.2.6.	Plans d'exécution.....	333
6.2.7.	Dimensionnement barres BA.....	338
6.2.8.	Bibliographie (Dimensionnement des structures BA).....	350
6.3.	VERIFICATION DES ASSEMBLAGES CHARPENTE METALLIQUE.....	351
6.4.	CHARPENTE BOIS.....	358
6.4.1.	Bibliographie (Dimensionnement des structures bois).....	361
6.5.	FERRAILLAGE DES PLAQUES ET COQUES.....	362

6.5.1.	<i>Méthode « analytique »</i>	375
6.5.2.	<i>Méthode de Wood et Armer</i>	375
6.5.3.	<i>Méthode NEN</i>	376
6.5.4.	<i>Etat de contraintes complexe</i>	377
6.5.5.	<i>Comparaison des méthodes</i>	377
7.	CATALOGUES DE PROFILES POUR LES BARRES	379
8.	MODULE SECTIONS	382
9.	IMPRESSIONS	387
9.1.	NOTES DE CALCUL.....	387
9.2.	COMPOSITION DE L’IMPRESSION.....	387
9.2.1.	<i>Standard</i>	391
9.2.2.	<i>Captures d’écran</i>	393
9.2.3.	<i>Modèles</i>	393
9.2.4.	<i>Edition simplifiée</i>	394
9.3.	MISE EN PAGE	396
10.	EXEMPLES	399
10.1.	STRUCTURE A BARRES - EXEMPLE AVEC L’UTILISATION DU SYSTEME DE BUREAUX DE ROBOT MILLENNIUM.....	399
10.1.1.	<i>Définition du modèle de la structure</i>	400
10.1.2.	<i>Analyse de la structure</i>	406
10.1.3.	<i>Analyse des résultats</i>	406
10.1.4.	<i>Dimensionnement acier</i>	408
10.1.5.	<i>Vérification assemblages acier</i>	409
10.1.6.	<i>Analyse des contraintes</i>	411
10.2.	STRUCTURE A BARRES - EXEMPLE SANS L’UTILISATION DU SYSTEME DE BUREAUX DE ROBOT MILLENNIUM.....	413
10.2.1.	<i>Définition du modèle de la structure</i>	414
10.2.2.	<i>Analyse de la structure</i>	423
10.2.3.	<i>Analyse des résultats</i>	424
10.2.4.	<i>Dimensionnement béton armé avec la prise en compte de la torsion</i>	426
10.2.5.	<i>Dimensionnement des barres BA</i>	430
10.3.	PLAQUE EN BETON ARME.....	432
10.3.1.	<i>Définition du modèle de la structure</i>	433
10.3.2.	<i>Analyse de la structure et affichage des résultats de calculs (cartographies des coupes sur panneaux)</i>	443
10.3.3.	<i>Calcul du ferrailage théorique</i>	446
10.4.	EXEMPLES DE DEFINITION DE LA STRUCTURE A L’AIDE DES OPTIONS EXTRUSION ET REVOLUTION (STRUCTURES DE TYPE COQUE)	449
10.4.1.	<i>SILO</i>	449
10.4.2.	<i>TOUR DE REFROIDISSEMENT</i>	457
10.4.3.	<i>PIPELINE</i>	460
10.4.4.	<i>ANTENNE</i>	464
10.4.5.	<i>STRUCTURE AXISYMETRIQUE</i>	466
10.5.	EXEMPLE DE L’ETUDE D’UN PORTIQUE PLAN.....	469
10.5.1.	<i>Définition du modèle de la structure</i>	470
10.5.2.	<i>Définition des cas de charge et des charges</i>	472
10.5.3.	<i>Définition des charges de neige et vent</i>	474
10.5.4.	<i>Analyse de la structure</i>	475
10.5.5.	<i>Analyse détaillée</i>	475
10.5.6.	<i>Dimensionnement de la structure</i>	478
10.5.7.	<i>Analyse globale</i>	483
10.5.8.	<i>Dimensionnement des assemblages acier</i>	484
10.5.9.	<i>Composition de l’impression</i>	486
10.6.	EXEMPLE DE DEFINITION DES CHARGES ROULANTES POUR UNE STRUCTURE PLANE (PORTIQUE 2D).....	488

10.6.1.	Définition du modèle de la structure	490
10.6.2.	Définition des appuis	495
10.6.3.	Définition des charges sur la structure	495
10.6.4.	Définition de la charge roulante sollicitant la structure	497
10.6.5.	Analyse de la structure	500
10.6.6.	Présentation du convoi et du cas de charge roulante	501
10.6.7.	Analyse des résultats	501
10.6.8.	Lignes de l'influence	502
10.7.	HALLE INDUSTRIELLE (PONT ROULANT – CHARGE ROULANTE)	505
10.7.1.	Définition du modèle de la structure	506
10.7.2.	Définition des éléments supplémentaires formant la structure (poutres longitudinales, contreventements, chemin de roulement)	515
10.7.3.	Analyse de la structure	526
10.7.4.	Dimensionnement de la structure	529
10.8.	PONT (CHARGE ROULANTE ET ANALYSE TEMPORELLE)	539
10.8.1.	Définition du modèle de la structure	542
10.8.2.	Définition des appuis	544
10.8.3.	Définition des treillis du pont (structures types)	545
10.8.4.	Définition des contreventements	547
10.8.5.	Définition des poutres transversales	550
10.8.6.	Définition des charges	551
10.8.7.	Analyse de la structure	561
10.8.8.	Exploitation des résultats	562
10.8.9.	Dimensionnement des barres de la structure	563
10.8.10.	Analyse temporelle de la structure	574
10.9.	MASSIF ENCASTRE	579
10.9.1.	Définition du modèle de la structure	581
10.9.2.	Base inférieure du massif encastré	583
10.9.3.	Poteaux	585
10.9.4.	Base supérieure du massif encastré	587
10.9.5.	Définition des appuis	589
10.9.6.	Génération du maillage	591
10.9.7.	Définition des charges	596
10.9.8.	Analyse de la structure	599
10.9.9.	Présentation des résultats en forme des cartographies	599
10.10.	EXEMPLE DE DEFINITION DE LA STRUCTURE A BARRES SUIVANT LA NORME EUROCODE 3	602
10.10.1.	Définition du modèle de la structure	603
10.10.2.	Analyse élasto-plastique	614
11.	QUESTIONS LES PLUS FREQUEMMENT POSEES	619
11.1.	INSTALLATION ET CONFIGURATION	619
11.2.	MODELISATION	622
11.3.	RESULTATS : EXPLOITATION DES TABLEAUX	631
11.4.	CALCULS	632
11.5.	DIMENSIONNEMENT BETON ARME : MODULE POUTRES	634
11.6.	ASSEMBLAGES	636
12.	ANNEXES	638
12.1.	ELEMENTS DE TYPE BARRE DANS L'ANALYSE NON-LINEAIRE DISPONIBLE DANS LE LOGICIEL ROBOT 638	
12.2.	CONVERSION DES CHARGES EN MASSES	649
12.3.	PRINCIPES THEORIQUES DES METHODES DYNAMIQUES UTILISEES DANS LE LOGICIEL ROBOT MILLENNIUM	656
12.3.1.	The Modal Analysis Methods	656
12.3.2.	Mass Matrix Types	659
12.3.3.	“Upper Limits”	660
12.3.4.	Mass Participation Percentage	660
12.3.5.	Analysis Modes	661

12.3.6.	<i>Spectral Analysis</i>	665
12.3.7.	<i>Seismic Analysis</i>	667
12.3.8.	<i>Selective Filters</i>	668
12.3.9.	<i>Harmonic Analysis</i>	669
12.3.10.	<i>Time-History Analysis</i>	670
12.3.11.	<i>Modal Analysis Taking Static Forces into Account</i>	671
12.4.	APPENDIX 3A	675
12.4.1.	<i>Eigenproblem Solution Methods</i>	675
12.5.	APPENDIX 3B – ANALYSE PUSHOVER	686
12.6.	APPENDIX 3C	701
12.6.1.	<i>The Pseudo Mode Approach</i>	701
12.6.2.	<i>Conclusions</i>	704
12.7.	APPENDIX 3D	705
12.8.	APPENDIX 3E	707
12.8.1.	<i>Examples Application of Modal Analysis Methods to Solution of Large-scale Problems</i>	707
12.8.2.	<i>Conclusions</i>	713
12.8.3.	<i>References</i>	713
12.9.	TYPES D'INSTABILITE DANS ROBOT	716
12.10.	EXEMPLES DE GENERATION DU MAILLAGE PAR ELEMENTS FINIS SURFACIQUES (PLAQUES ET COQUES) 717	
12.10.1.	<i>Méthode de Coons</i>	717
12.10.2.	<i>Méthode de Delaunay et de Kang</i>	726
12.10.3.	<i>Exemples de l'utilisation de la consolidation et du raffinement du maillage</i>	736
13.	EXEMPLE D'UN FICHIER DE DONNEES	739

Cette édition du manuel est valable pour toutes les versions entre la 16.01 et la 16.49



NOUVEAUTES DANS LE LOGICIEL ROBOT MILLENNIUM - VERSION 16.1

Généralités

1. Définition des profilés composés dans la boîte de dialogue *Nouvelle section*
2. Présentation des composantes des pondérations de façon symbolique
3. Possibilité de désactiver la mise à échelle automatique des symboles des charges et des réactions
4. Le mode de travail du logiciel qui prend en compte la spécificité du travail avec les structures typiquement mécaniques (Robot Millennium Mechanics)
5. Structures acier et béton armé - intégration de nouvelles feuilles de calcul ESOP destinées à analyser les problèmes technologiques avec les éléments du modèle de la structure correspondants dans Robot Millennium
6. Enregistrement et lecture de la structure définie au format CIS/2
7. Système automatique proposant l'enregistrement de la structure.

Structures à barres

DEFINITION

1. Définition et prise en compte dans le modèle de la structure des éléments de type poteaux à plusieurs membrures
2. Saisie des charges équivalentes modélisant les câbles dans les structures précontraintes
3. Définition / édition du repère local de la barre grâce à l'opération d'inversion
4. Génération des charges de neige et vent d'après la norme EC1 (avec DAN FR,GB et PL)

CALCULS

5. Mécanisme d'arrêt de l'analyse non-linéaire en fonction du critère obtenu :
 - ruine de la structure
 - coefficient de charge donné
 - première plastification de la structure
 - coefficient de plastification donné



- déplacement d'un noeud de la structure

RESULTATS

6. Affichage des résultats de la plastification dans la note de calcul
 - moment de la première plastification
 - moment de la plastification complète

DIMENSIONNEMENT DES BARRES ACIER ET BOIS

7. Dimensionnement et optimisation des structures acier d'après la norme SNIP II-23-81
8. Mise à jour du dimensionnement et de l'optimisation des structures acier d'après la norme LRFD (nouvelle édition)
9. Mise à jour du dimensionnement et de l'optimisation des structures acier d'après la norme CSA 16.1 (nouvelle édition 2001)
10. Dimensionnement et optimisation des structures acier d'après la norme EC3 avec DAN finnois
11. Calculs du coefficient de flambement pour les conditions de flambement avec les barres aboutissantes – possibilité de définir une section quelconque pour la barre étudiée et pour les aboutissantes
12. Mise à jour du dimensionnement suivant la norme acier CM66 (France)
 - calcul et affichage du coefficient d'adaptation plastique pour les profilé en I
13. Mise à jour du dimensionnement suivant la norme acier EC3
 - analyse détaillée de la section – calcul des contraintes avec le contrôle de l'âme non rigide
14. Mise à jour du dimensionnement suivant les normes bois CB71 et Kerto (France)
 - affichage du nom complet de la norme dans l'en-tête de la note de calcul
 - nouvelle boîte de dialogue pour les paramètres du calcul feu
15. Mise à jour du dimensionnement suivant la norme bois EC5
 - uniformisation de l'affichage du taux de travail pour le cas de compression avec flexion
 - ajout de l'aide en ligne dans la boîte de dialogue de définition de la nature des cas de charge

DIMENSIONNEMENT DES ASSEMBLAGES

16. Prise en compte du poteau à inertie variable dans l'assemblage de type angle de portique.

Plaques, coques, contrainte/déformation plane

DEFINITION

1. Possibilité de définir les dimensions des maillages EF à l'aide de la dimension de l'élément

Voir aussi les nouveautés pour les structures à barres

Solides

RESULTATS

1. Calcul et affichage des efforts dans les coupes par solides

Voir aussi les nouveautés pour les structures à barres, plaques et coques.

Structures Béton Armé

FERRAILLAGE THEORIQUE DES BARRES

1. Calcul du ferrailage d'après la norme russe SNIP 2.03.01-84
2. Calcul du ferrailage d'après la norme EC2 DAN finnois

FERRAILLAGE THEORIQUE DES PLAQUES ET COQUES

1. Calcul du ferrailage d'après la norme russe SNIP 2.03.01-84
2. Calcul du ferrailage d'après la norme EC2 DAN finnois

POUTRES BA

1. Calculs des réactions dues aux cas simples (mode stand-alone)
2. Affichage des diagrammes pour les cas simples
3. Présentation détaillée des résultats sur les diagrammes dans un point quelconque (règle verticale)
4. Le contenu de la note de calcul contient plus de détails (norme PN99)



POTEAUX BA

1. Définition manuelle des attentes
2. Création de la nomenclature de sections pour la liste d'éléments (dessins)
3. Le contenu de la note de calcul contient plus de détails (norme PN99)

DALLES BA

1. Calcul de la section d'acier théorique pour le poinçonnement

POUTRES – VOILES

1. Nouveau module permettant l'analyse et le dimensionnement de la structure de type poutre-voile d'après la norme PN
2. Génération des attentes

FONDATIONS

1. Etude des fondations sous deux poteaux – normes : ACI et PN

Analyse de la structure

1. Mécanisme d'arrêt de calcul de l'analyse non-linéaire en fonction du critère obtenu :
 - ruine de la structure
 - coefficient de charge donné
 - première plastification de la structure
 - coefficient de plastification donné
 - déplacement d'un noeud de la structure
2. Mise à jour de la norme sismique chinoise d'après la nouvelle norme GBJ50011-2001

Robot Open Standard

1. Définition de la structure
 - gestion des opérations d'édition
 - translation
 - rotation
 - mise à échelle
 - miroir 3D
2. Calculs
 - gestion des calculs des structures acier d'après la norme EC3

Accélération du fonctionnement du logiciel Robot Millennium

1. Accélération de la présentation des résultats
 - tableaux des contraintes – accélération du fonctionnement dans le cas où l'affaire contient en même temps les pondérations, cas sismiques et barres divisées en éléments de calcul



1. INSTALLATION DU LOGICIEL

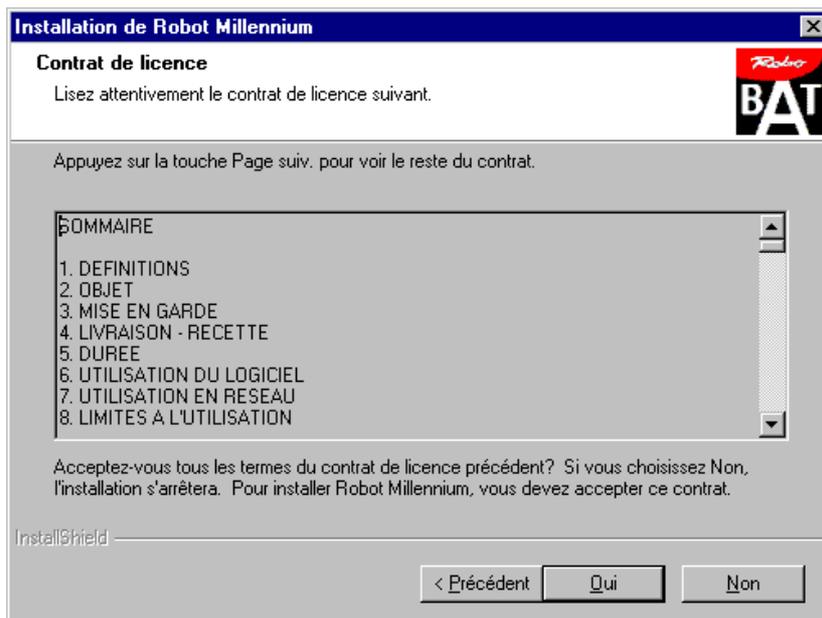
1.1. Configuration minimale requise

	Configuration minimale	Configuration conseillée
Processeur	500 Mhz	1.5 Go
Mémoire vive	128 Mo	512 Mo
Système d'exploitation	Windows 95/98/NT/2000/XP	Windows NT 4.0
Disque dur	500 Mo d'espace disque libre avant installation	
Résolution	au moins 1024 x 768	

1.2. Installation et version réseau du logiciel

1.2.1. Installation monoposte

Pour installer *Robot Millennium* version 16.1, il faut se trouver sous Windows 95, Windows 98, Windows 2000/XP ou Windows NT 4.0 et introduire le CD dans le lecteur de CD-ROM. Une présentation multimédia démarrera automatiquement, présentant l'écran suivant, où vous cliquerez sur **Installations** :



Si la présentation ne se lance pas toute seule, cliquez sur Démarrer, Exécuter et écrivez sur la ligne de commande Ouvrir : **D:\INTRO.EXE** , où D: est la lettre assignée à votre lecteur de CD-ROM (le plus souvent D:, E: ou F:).

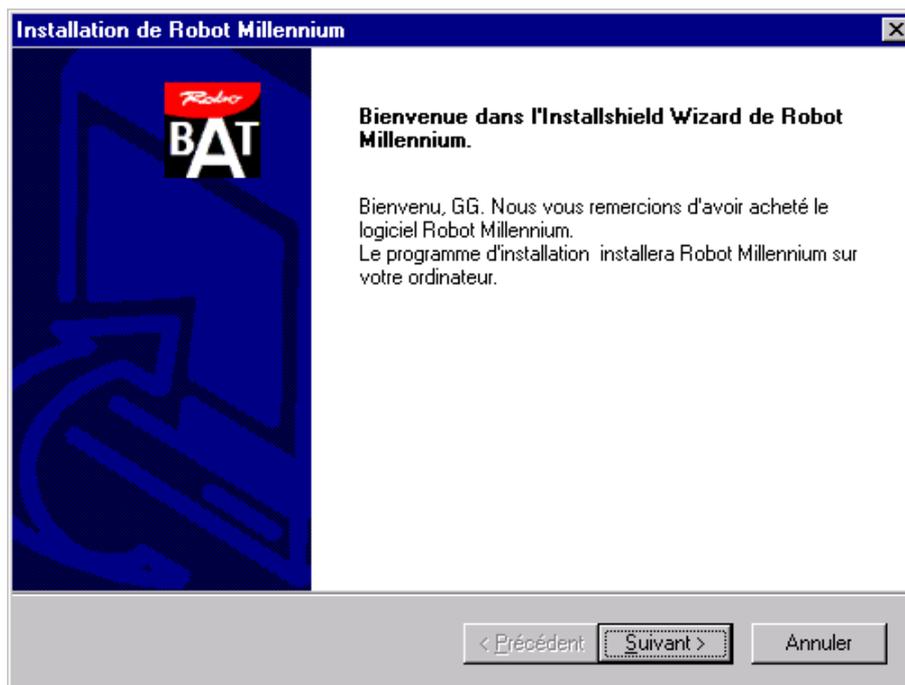
Sur cet écran, cliquez sur **Robot Millennium**.



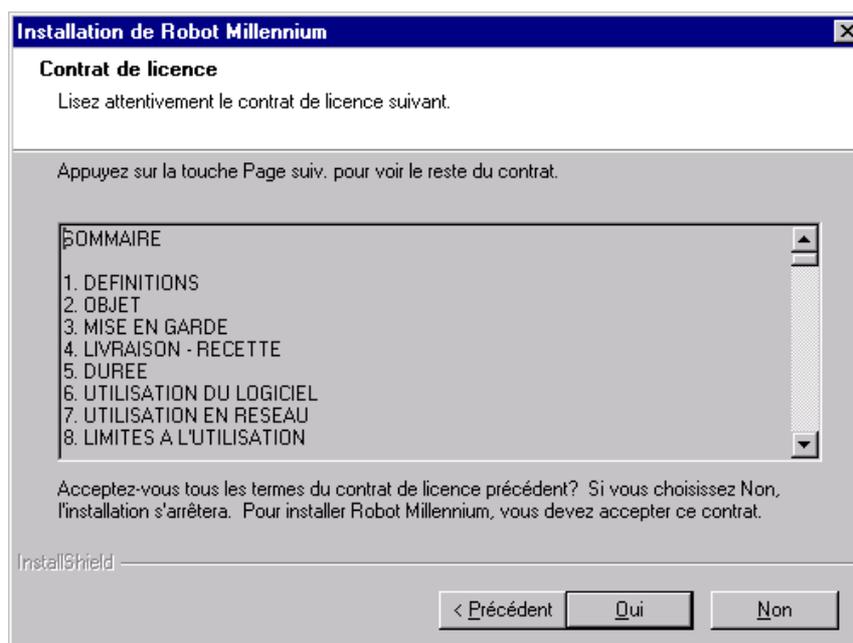
Sélectionnez dans la liste déroulante la langue que vous désirez utiliser pendant l'installation et cliquez sur OK.



La fenêtre suivante vous indique comment quitter les applications actives pour que la suite de l'installation se déroule sans problème de conflits. Cliquez ensuite sur Suivant.



Lisez le contrat de concession du droit d'utilisation de *Robot Millennium* et cliquez sur OUI pour l'accepter.

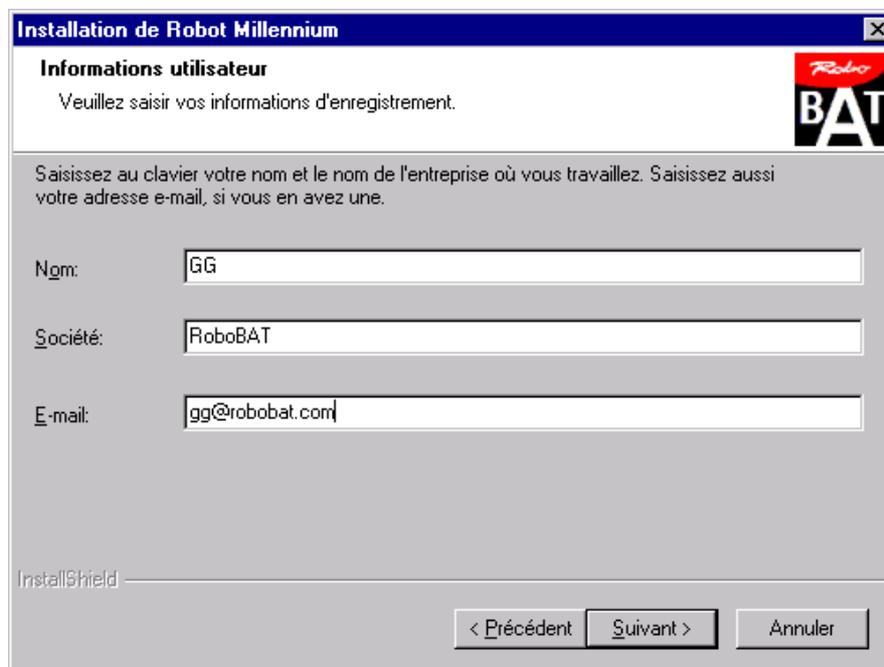


L'écran suivant vous donne des informations de dernière minute sur les problèmes que vous pouvez rencontrer lors de l'installation ou l'utilisation de *Robot Millennium*. Vous pouvez

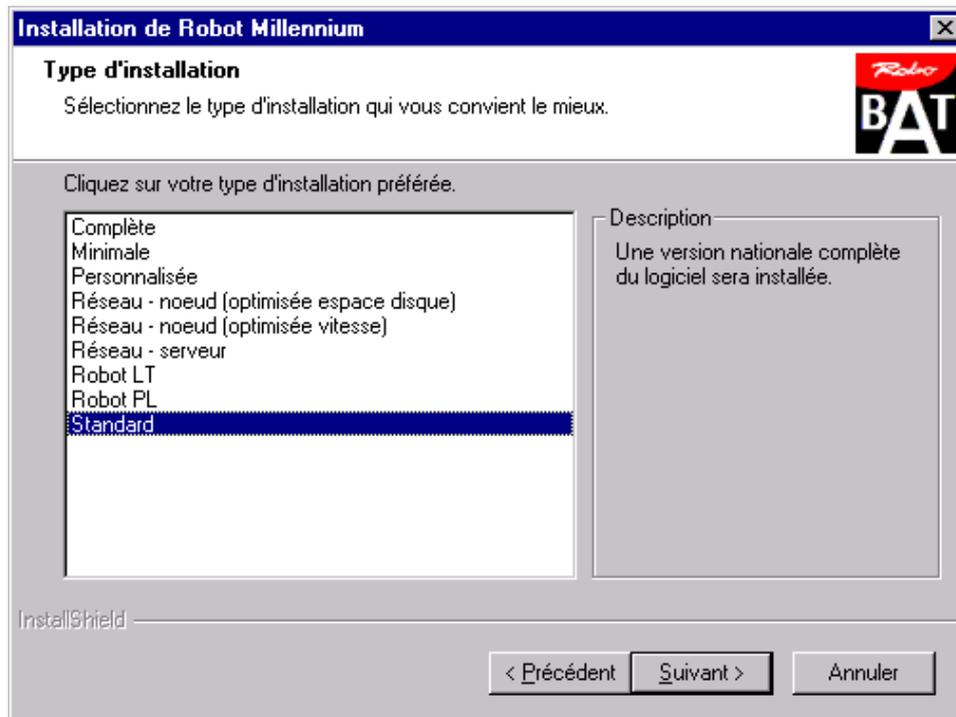
vous déplacer dans le texte à l'aide de l'ascenseur vertical à droite de la zone de texte. Cliquez ensuite sur le bouton Suivant.



Saisissez les informations vous concernant puis cliquez sur Suivant.



Le programme affiche alors la fenêtre permettant de choisir le type d'installation.

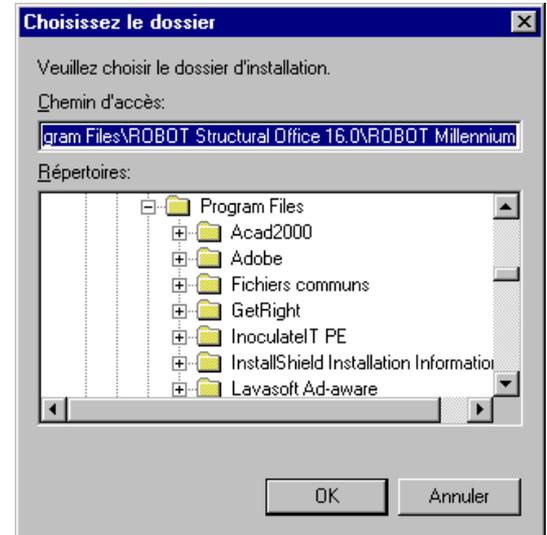
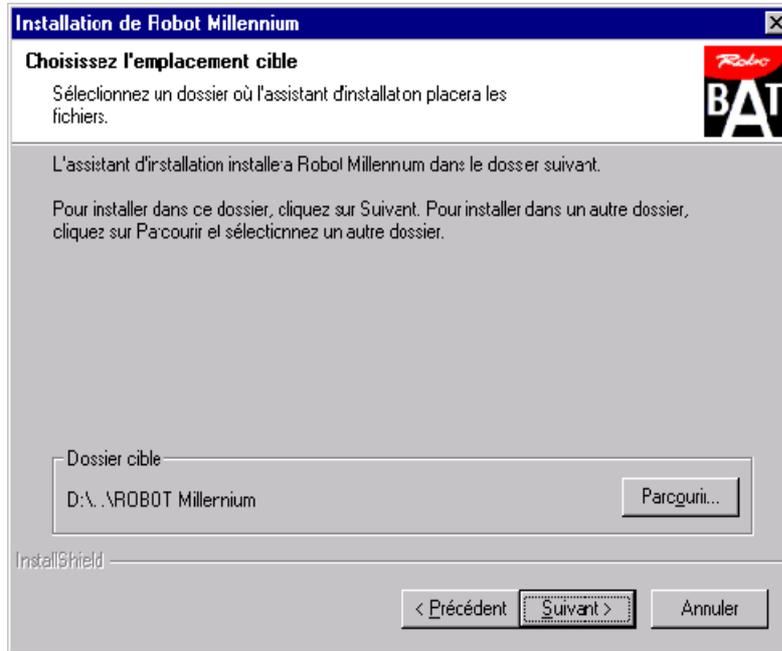


5 types d'installation de *Robot Millennium* sont accessibles pour une installation monoposte (mais, en plus, il est possible de sélectionner l'installation réseau (description ci-dessous)), après la sélection de l'une des options et un clic sur le bouton Suivant :

- **Complète** - permet d'installer toutes les langues accessibles (interface, notes de calcul, aide) et toutes les normes nationales.
- **Standard** – permet d'installer la version complète du logiciel pour une version nationale.
- **Personnalisée** – permet de sélectionner les composants à installer, le programme d'installation affiche la boîte de dialogue représentée page suivante.
- **ROBOT LT** – permet d'installer juste la version Robot LT du logiciel.

Le programme d'installation vous propose ensuite le répertoire d'installation de ***Robot Millennium*** (par défaut, **Program Files\ROBOT Structural Office \Robot Millennium**).

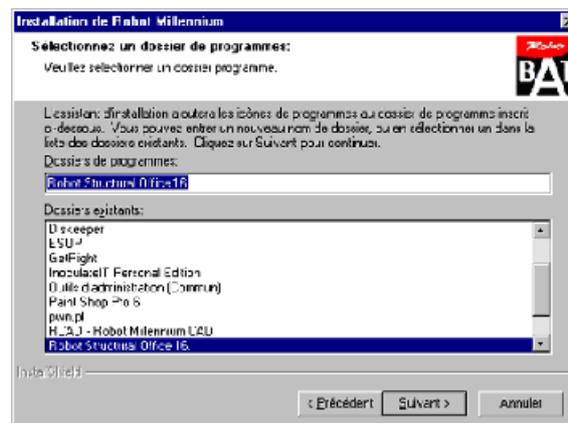
ATTENTION : Il est déconseillé d'installer le logiciel Robot sur un disque substitué. Dans ce cas, après le redémarrage du système Windows, le service du logiciel Robot ne sera pas enregistré ; pour qu'il soit accessible, vous devez l'installer en utilisant l'icône correspondante disponible dans le dossier Robot.



Cliquez sur Suivant si la version proposée vous convient ou sur le bouton Parcourir pour modifier ce chemin. Vous obtiendrez alors la fenêtre "Sélection d'un dossier" (ci-dessus, à droite) vous permettant d'aller pointer sur un autre répertoire.

Le programme d'installation vous propose alors de placer les icônes de lancement de programmes dans le groupe ROBOT Structural Office (qui sera ensuite accessible en cliquant sur Démarrer, Programmes, ROBOT Structural Office).

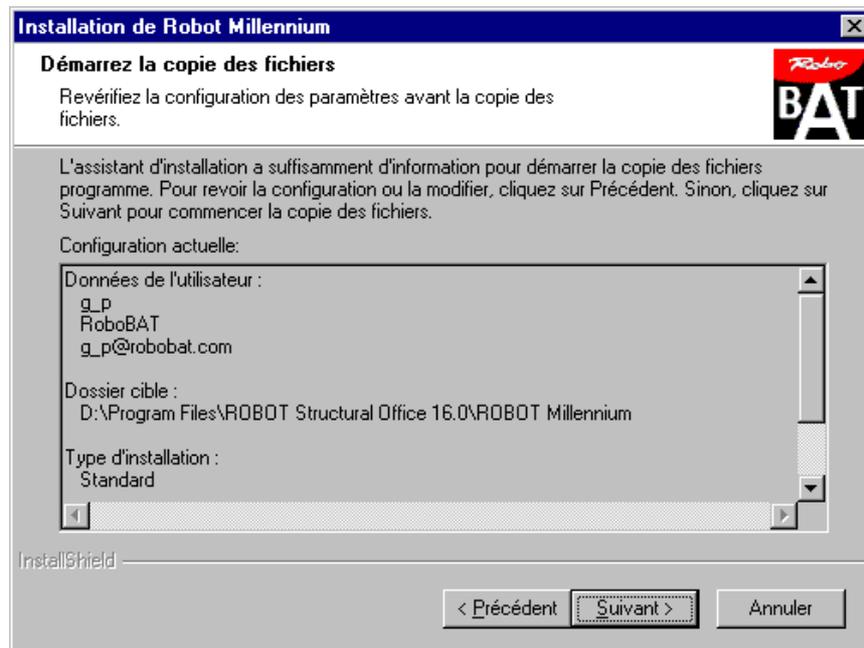
Vous pouvez désinstaller le logiciel **Robot Millennium** par la sélection de l'option *Ajout/Suppression des programmes* qui est disponible dans le Panneau de configuration. La sélection de cette option vous permet également de modifier la version du logiciel Robot précédemment installée (ajout ou suppression des composantes) ainsi que de réinstaller la version à partir des options sélectionnées (installation de secours).



Modifiez ce nom s'il ne vous convient pas et cliquez sur Suivant>.

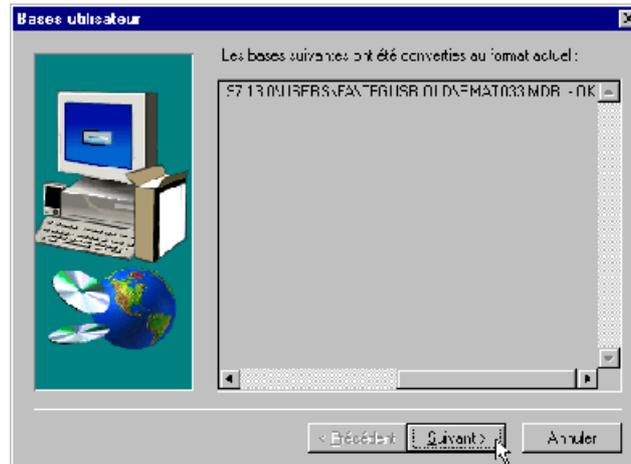
Le programme d'installation vous affiche alors un récapitulatif des paramètres de l'installation (données utilisateur, dossier cible, type d'installation ...) que vous pouvez :

- modifier en cliquant sur Précédent (pour revenir à une étape antérieure de l'installation)
- ou valider en cliquant sur Suivant.

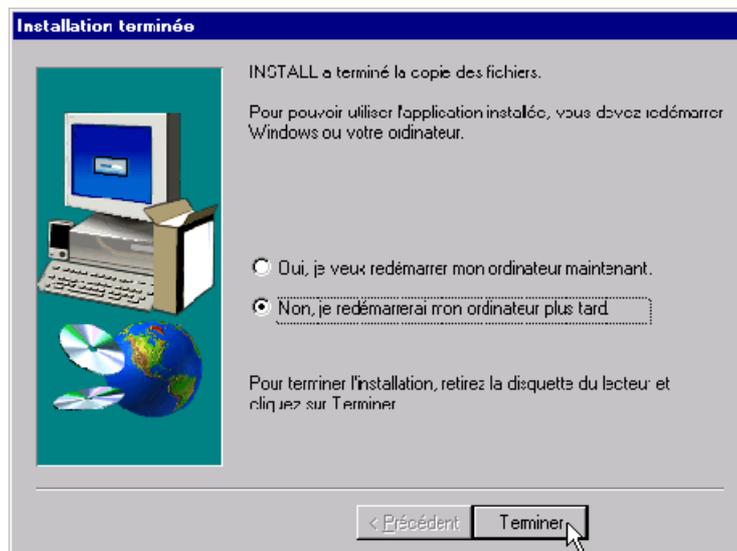


Le programme copie alors les fichiers du CD-ROM sur votre machine et crée le groupe d'icônes ROBOT Structural Office 16.1. Il vous propose aussi de placer le raccourci vers Robot 16.1 sur votre bureau ; répondre Oui dans la boîte de dialogue suivante :

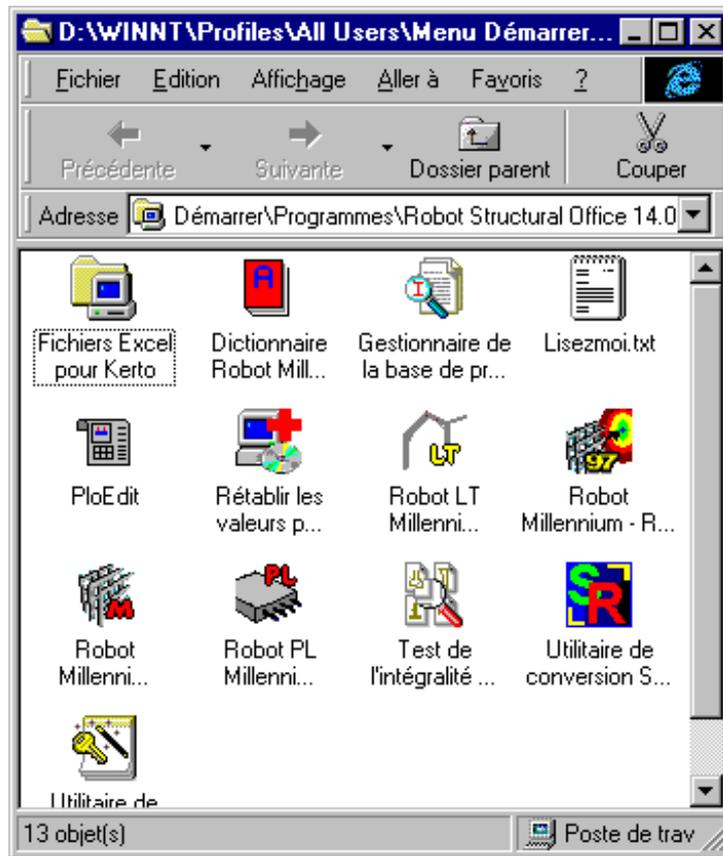
Si vous avez choisi au début de l'installation de désinstaller la version précédente de **Robot Millennium**, le programme vous proposera alors de convertir vos bases de données Utilisateur (matériaux ou profilés) vers le format **Robot Millennium 16.1** :



A la fin de l'installation, il reste à installer « **Robot Millennium** Maintenance pack » actuel, s'il est disponible. Pour cela, mettre la coche sur « Non, je redémarrerai ... plus tard » et cliquer sur le bouton Terminer.



Le groupe d'icônes nommé **ROBOT Structural Office 16.1** a été créé. Vous pouvez le fermer en cliquant sur la croix en haut à droite :





1.2.2. Installation Réseau du logiciel

Description de la version Réseau

L'installation Réseau de **Robot Millennium** consiste à effectuer une installation de la protection puis une installation « serveur » et une ou plusieurs installations « nœuds », afin d'utiliser une ou plusieurs licences de **Robot Millennium** avec un seul dongle (clé HASP Réseau rouge).

Le serveur de la protection réseau :

Le serveur de la protection réseau va gérer l'accès aux licences programmées sur la clé de protection réseau (clé HASP rouge). Les pilotes nécessaires seront installés sur cette machine et la clé sera donc branchée sur son port parallèle.

Le système d'exploitation installé doit être Windows 95, Windows 98, Windows NT 4.0 Workstation, Windows NT 4.0 Server, Windows 2000/XP. La machine ne doit pas être nécessairement très puissante.

Pour que la protection soit accessible, cette machine doit bien sûr être connectée au réseau en permanence. Il est déconseillé d'installer le serveur de protection sur le serveur du réseau.

L'installation « Serveur » de Robot Millennium :

L'installation du serveur **Robot Millennium** est une installation complète qui contient tous les fichiers destinés à être partagés.

La configuration de cette machine ne sera pas modifiée : c'est juste un serveur de fichiers qui doit être accessible à tous les utilisateurs de **Robot Millennium** ; le serveur du réseau est donc tout indiqué pour cette tâche. Dans ce cas, il est préférable d'effectuer cette installation à partir d'un autre poste du réseau.

Toutefois, l'utilisateur (Login) qui effectue cette installation deviendra automatiquement l'administrateur de **Robot Millennium**.

L'installation « Nœud » de Robot Millennium :

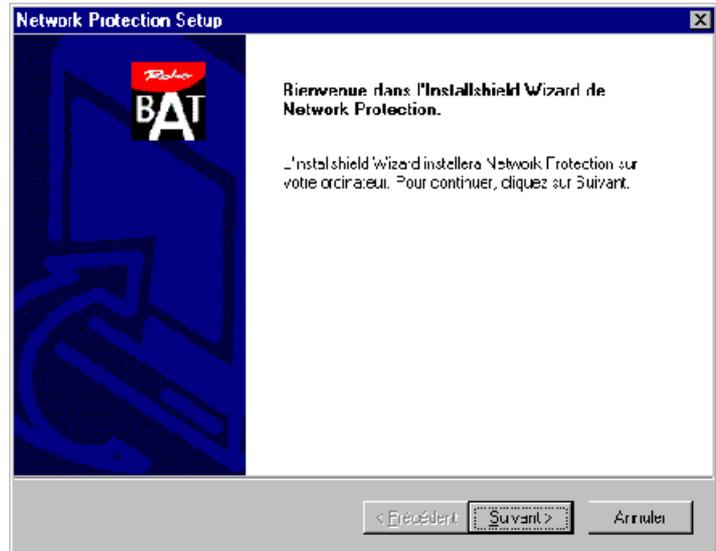
C'est la machine sur laquelle **Robot Millennium** va s'exécuter. C'est donc ici que l'on doit avoir la configuration minimale conseillée pour utiliser **Robot Millennium** (configuration donnée au début du chapitre).

- ➔ On peut installer le serveur de la protection et le serveur de **Robot Millennium** sur la même machine.
- ➔ Une installation de type nœud ne fonctionnera pas si la machine sur laquelle cette installation est faite n'accède plus au réseau, et ce même si l'on branche une clé HASP monoposte (blanche) sur la machine. Par contre, avec l'accès au réseau effectif, les options de cette clé seront reconnues et utilisées.

Installation de la protection réseau

- L'installation de la protection réseau permet d'installer la protection sur un ordinateur quelconque connecté au réseau, mais **jamais sur le serveur NT** (installation des pilotes de protection). L'installation est indépendante de l'installation réseau de **Robot Millennium** : elle peut être effectuée sur un ordinateur différent du serveur sur lequel **Robot Millennium** sera installé. La protection réseau gère l'ensemble des produits RoboBAT (**Robot Millennium, Robot LT, Robot Expert, Robot CBS**).
- Si vous aviez une version antérieure de **Robot Millennium Réseau**, vous n'êtes pas obligé de réinstaller la protection mais cela reste conseillé pour mettre à jour les pilotes.
- L'installation de la protection réseau doit être effectuée **avant** l'installation du serveur **Robot Millennium**, de même qu'avant l'installation des postes réseau du logiciel **Robot Millennium**.
- L'installation de la protection réseau permet de mettre en place la protection pour le réseau entier en n'utilisant qu'une seule clé de protection (clé HASP rouge). La clé doit être branchée sur le port imprimante de l'ordinateur, sur lequel l'installation de la protection réseau a été effectuée, car c'est sur cet ordinateur que les pilotes de la clé de protection sont installés.

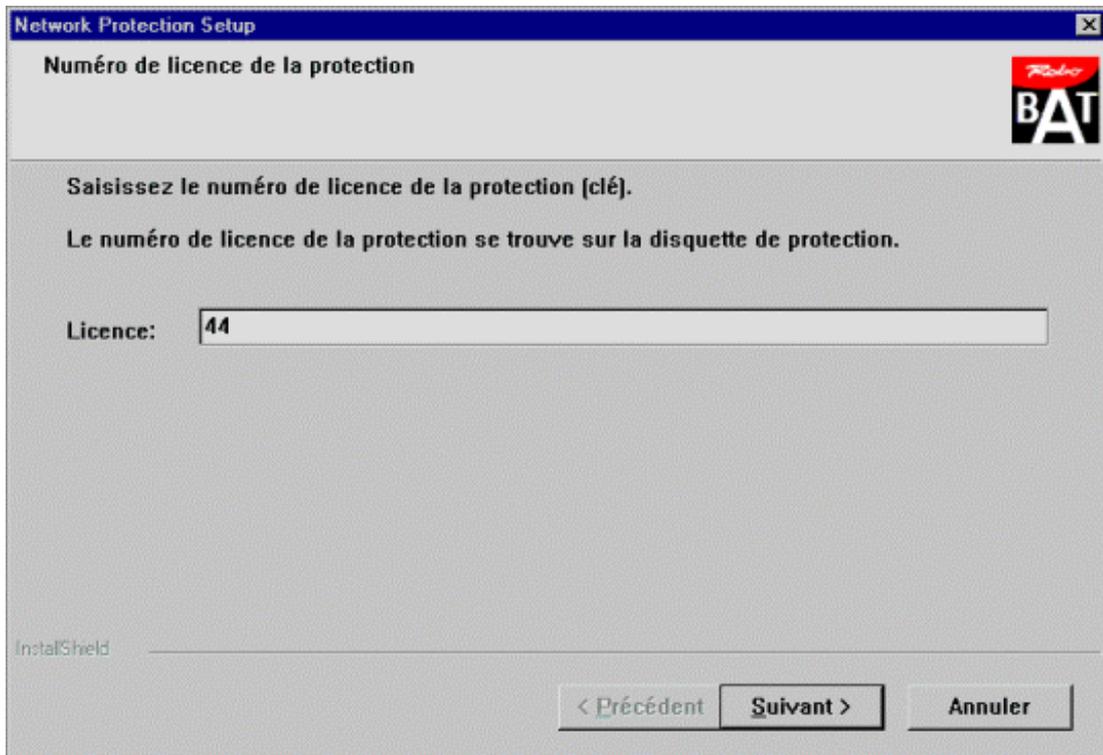




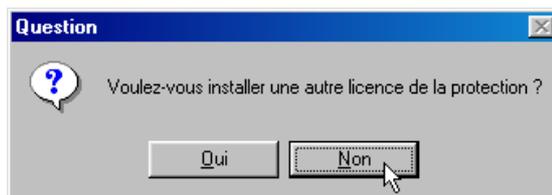
- De plus, l'installation de la clé réseau exige l'installation de la licence de la protection se trouvant sur la disquette fournie avec la clé réseau. Le programme d'installation de la protection réseau demande d'insérer cette disquette dans le lecteur ; pour cela, un message approprié est affiché :



- Le programme d'installation lit la licence de la protection stockée sur la disquette et affiche son numéro dans la boîte de dialogue ci-dessous. Il est normal que ce numéro ne corresponde pas au numéro de la clé.



- Le programme vous demande ensuite si vous désirez installer une autre licence : A utiliser **uniquement** si vous avez plusieurs licences **différentes** (avec des programmations de modules distinctes les unes des autres). Sinon, répondre « Non » :



IMPORTANT !

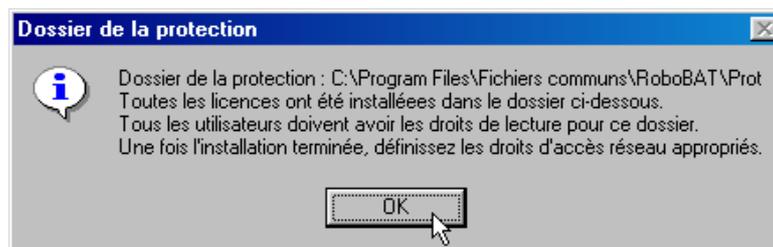
Toutes les licences protection sont installées dans le dossier :

\Program Files\Fichiers communs\RoboBAT\Prot

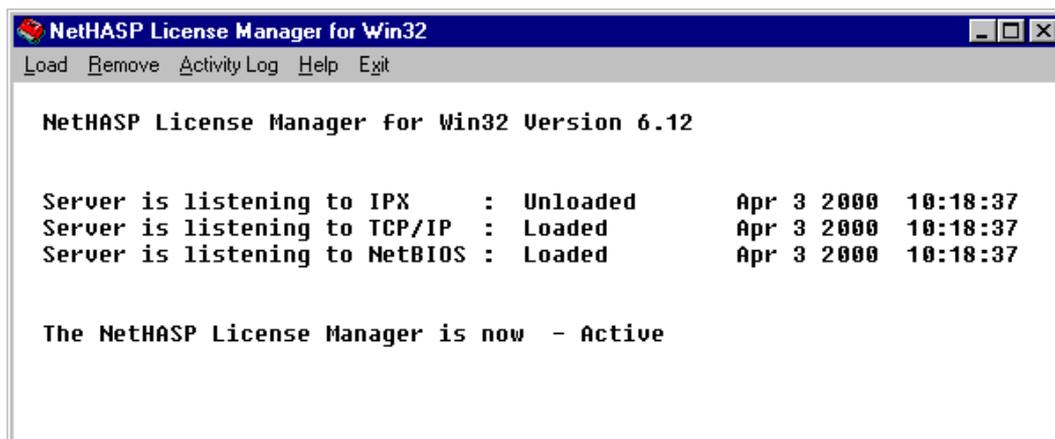
ou

\Program Files\ Fichiers communs est un dossier Windows.

Le dossier en question doit être partagé en lecture pour tous les utilisateurs car lors de l'installation du poste réseau Robot (serveur et nœuds), l'utilisateur est obligé d'indiquer le dossier contenant la licence de la protection installée. Ce partage ne sera nécessaire que pour la durée de l'installation des postes *Robot Millennium* Réseau serveurs et nœuds.



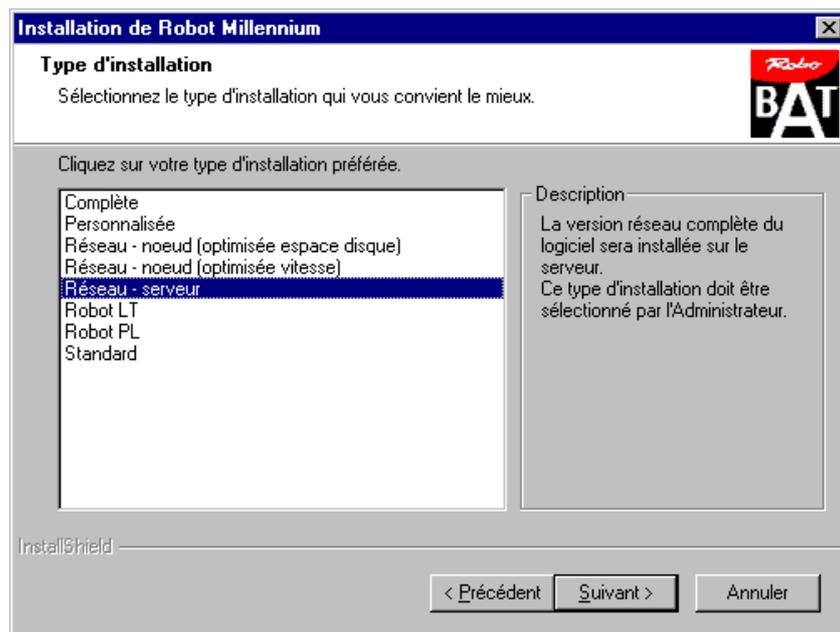
- Une fois l'installation terminée, vous devez redémarrer WINDOWS afin de lancer les pilotes de la clé de protection. Au redémarrage, le programme « NetHasp Licence Manager » se lancera pour que les licences soient visibles à partir des autres postes du réseau.



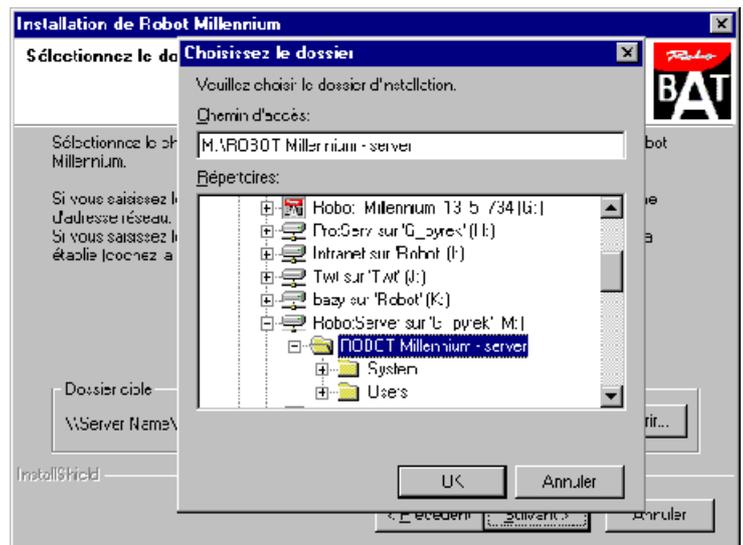
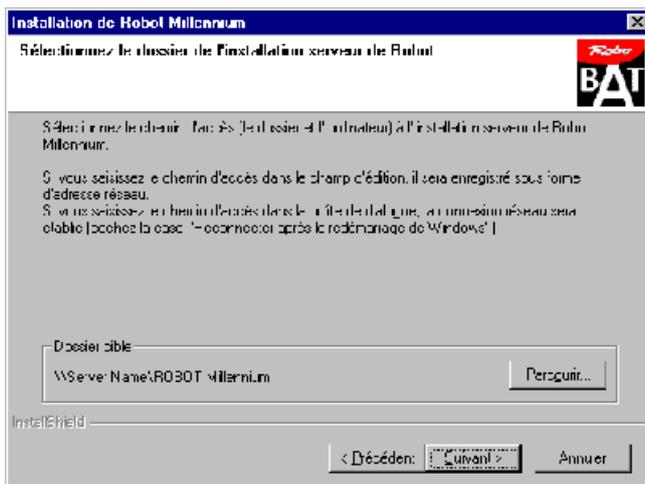
Il doit s'exécuter en permanence durant l'utilisation des postes nœuds et donc il peut être réduit en icône (en restant actif) mais ne doit pas être fermé.

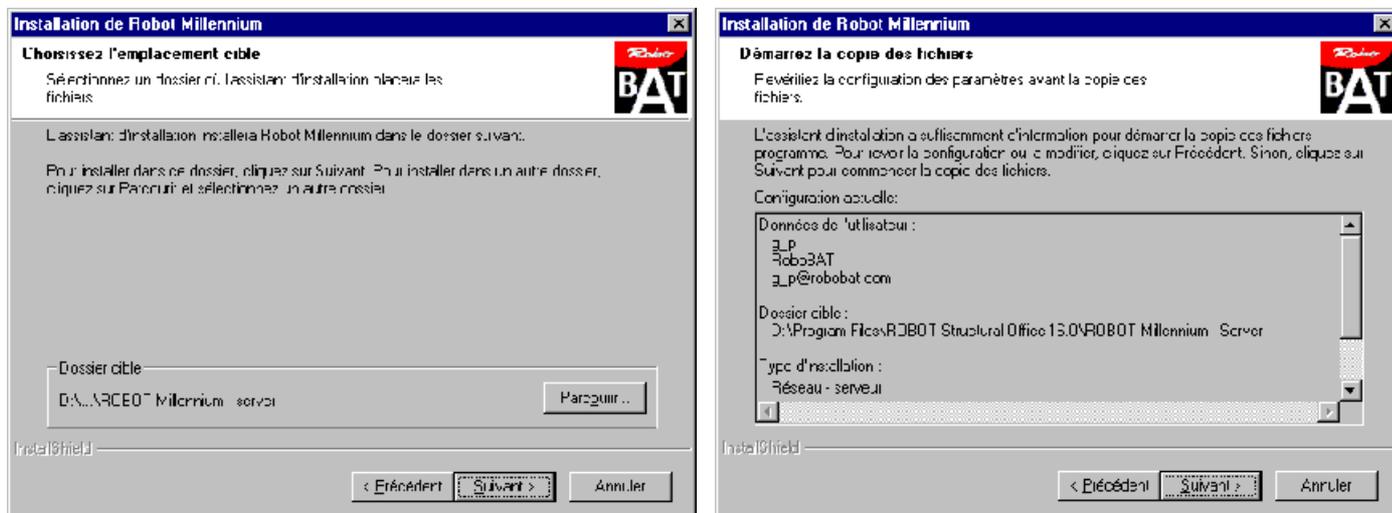
Installation Serveur

- La première partie de l’installation Réseau – Serveur est identique à l’installation monoposte (voir pages 6 à 9).
- Lors de l’installation du serveur de **Robot Millennium**, sélectionnez l’option **Réseau – serveur** dans la boîte de dialogue **Type d’installation**.



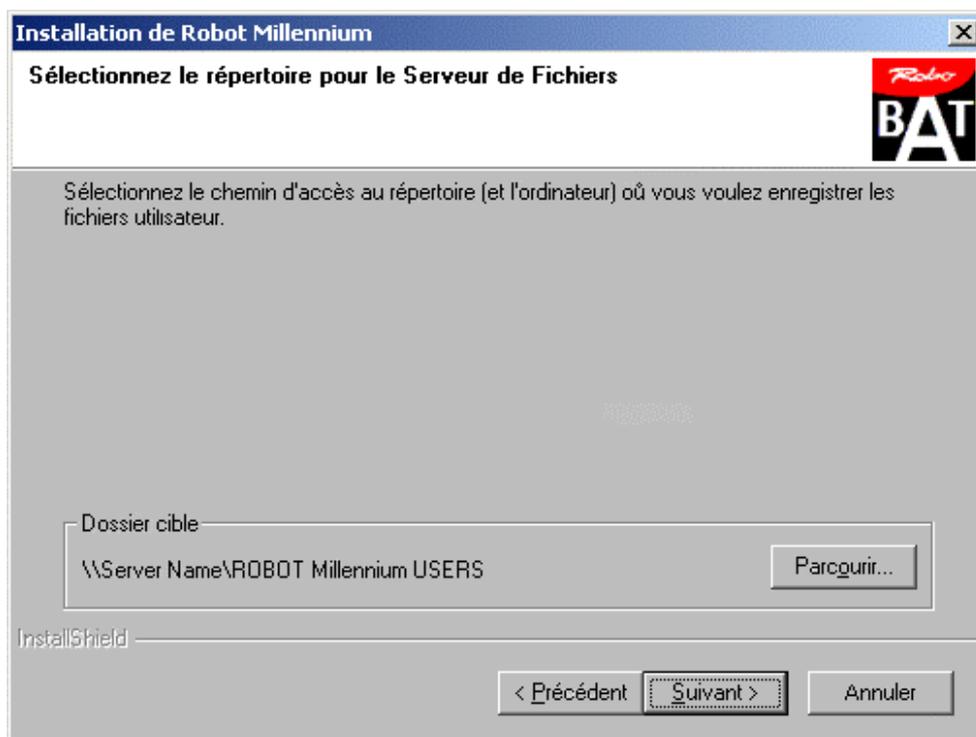
- Après un clic sur le bouton SUIVANT, le logiciel **Robot Millennium** sera installé sur le serveur. Pour cela, il faut cliquer sur Parcourir et aller pointer vers la machine du réseau sur laquelle on va effectuer cette installation Serveur.





Après l'installation serveur, le lancement de *Robot Millennium* n'est pas encore possible. Pour cela, l'installation nœud sera nécessaire. Le nœud pourra être installé sur le même ordinateur mais vous devrez sélectionner **un dossier cible différent du dossier de l'installation serveur.**

Lors de l'installation de la version réseau, vous avez la possibilité de sélectionner le Serveur des Fichiers Utilisateur ; dans ce lieu, les fichiers utilisateur seront enregistrés. Jusqu'alors, pendant le travail en réseau, les fichiers utilisateur étaient enregistrés dans le répertoire de l'installation du serveur du logiciel *Robot* (répertoire USERS). Maintenant, les fichiers sont enregistrés sur le Serveur Fichiers Utilisateur. Dans la boîte de dialogue ci-dessous, vous pouvez sélectionner où vous voulez installer et l'assistant d'installation crée le répertoire USERS dans l'emplacement défini USERS.



- Après l'installation des fichiers sur le serveur, le message représenté ci-dessous est affiché.

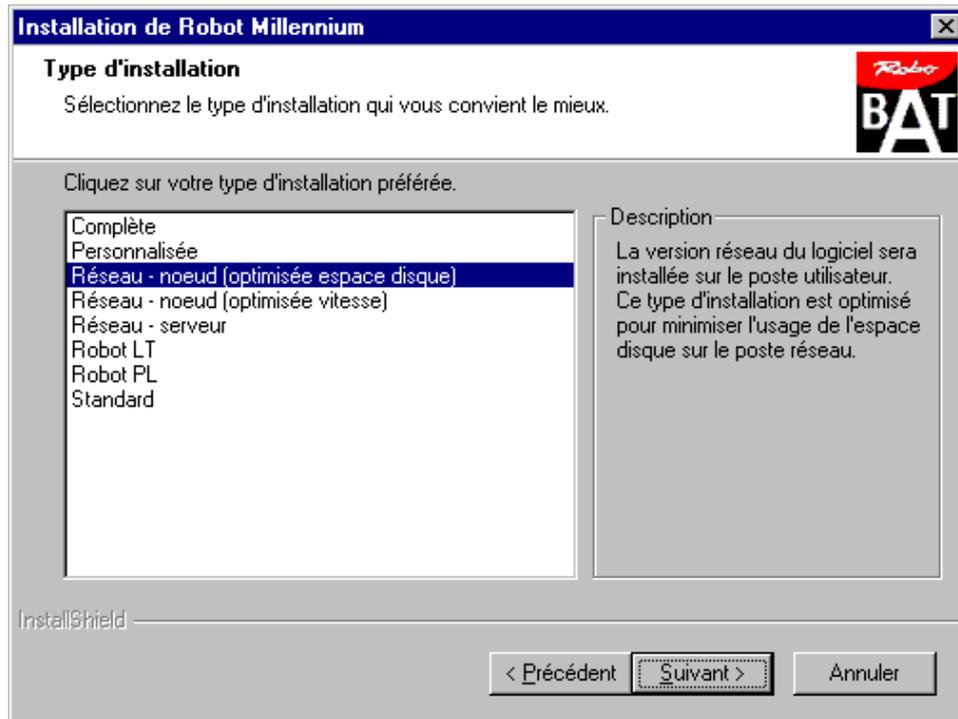


*Si la version serveur du logiciel **Robot Millennium** a été installée sur une partition NTFS (Windows NT), le dossier principal de **Robot Millennium** doit être partagé en lecture seule pour tous les utilisateurs, les droits d'accès complets doivent être définis pour le dossier Users.*

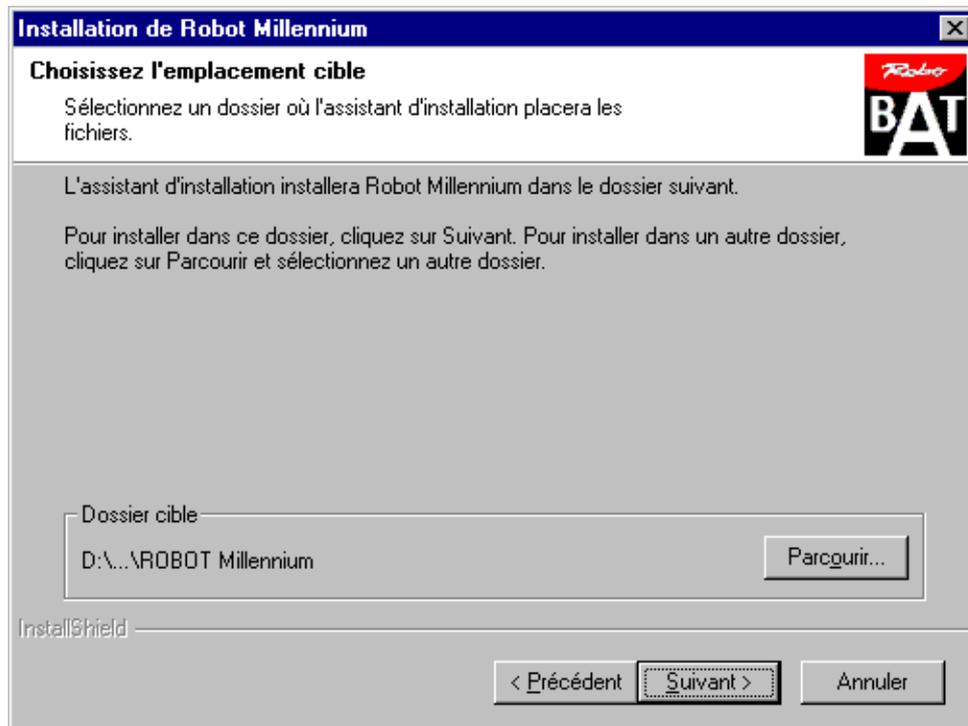
- L'administrateur (c'est à dire la personne qui installe **Robot Millennium** Réseau) doit avoir les droits d'accès complets (lecture et écriture) au dossier principal de **Robot Millennium**.

Installation du nœud

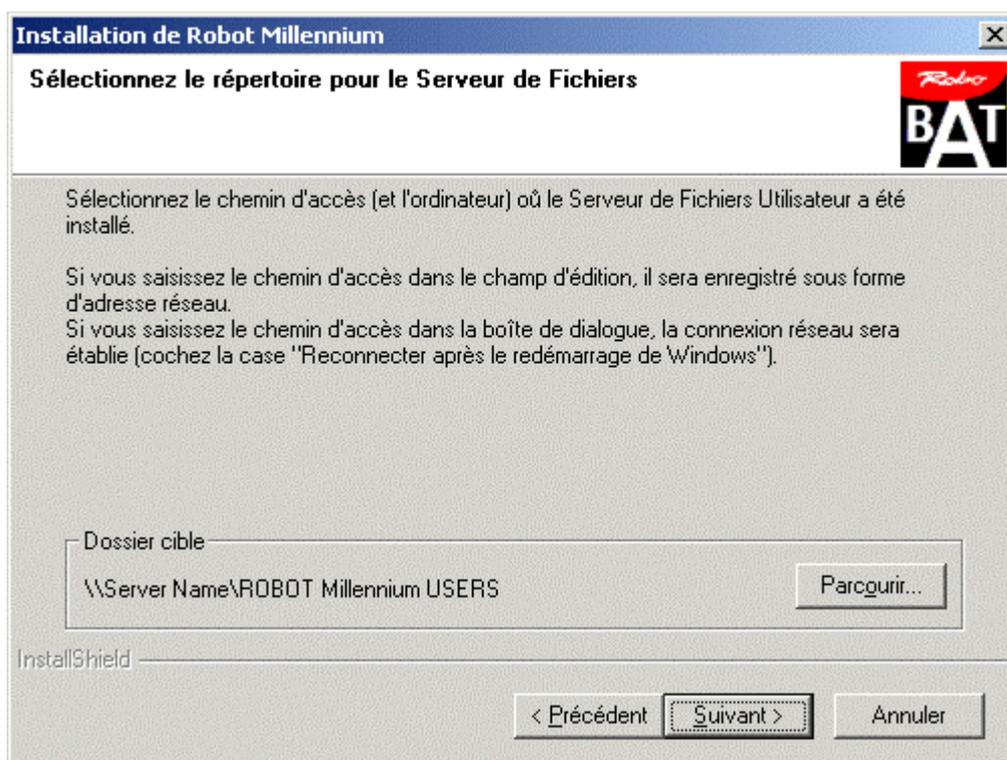
- La première partie de l'installation Réseau – Nœud est identique à l'installation monoposte (voir pages 6 à 9).
- Lors de l'installation du nœud de la version Réseau de *Robot Millennium*, dans la boîte de dialogue Type d'installation, vous devez sélectionner l'option **Réseau - nœud (optimisée vitesse)** ou **Réseau - nœud (optimisée espace disque)**.



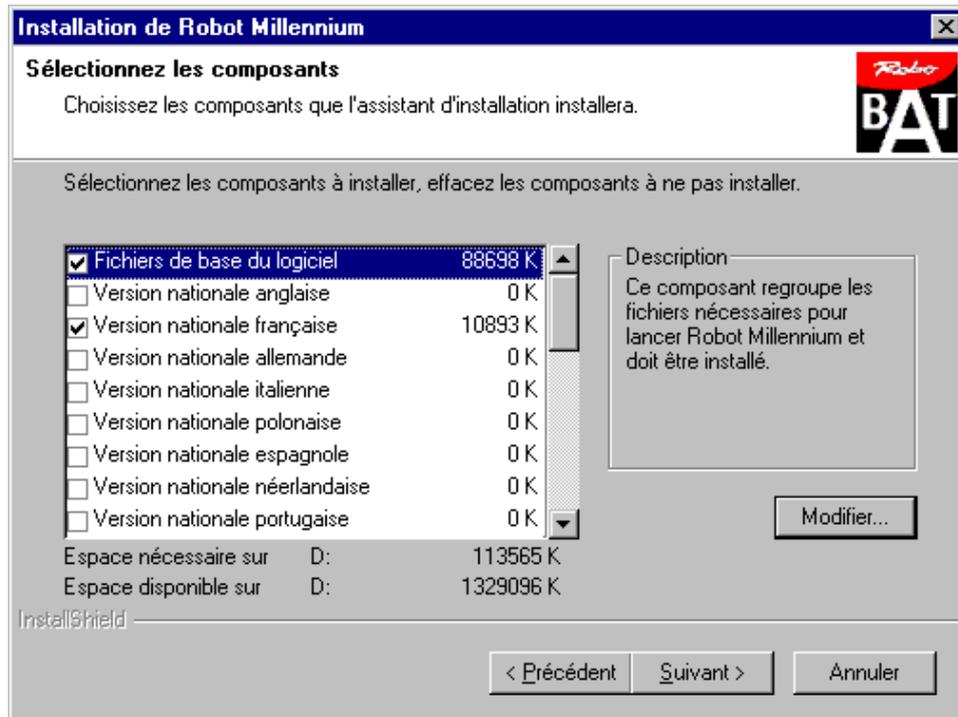
- Choisissez ensuite le répertoire **LOCAL** dans lequel sera placée l'installation Nœud de *Robot Millennium* Réseau.



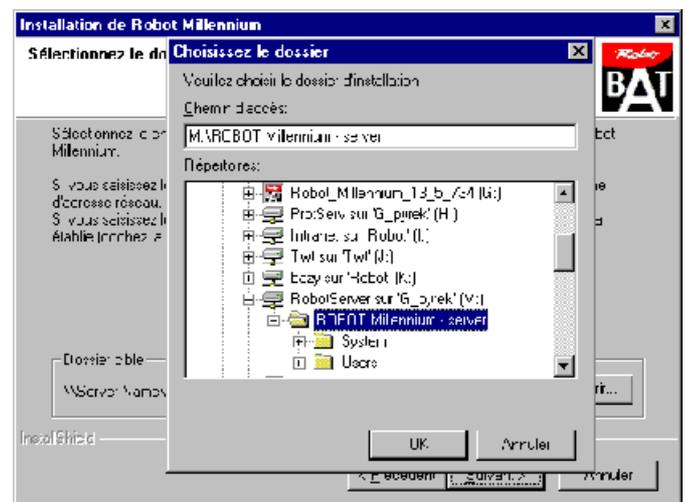
Lors de l'installation de la version réseau, vous avez la possibilité de sélectionner le Serveur des Fichiers Utilisateur ; dans ce lieu, les fichiers utilisateur seront enregistrés. Dans la boîte de dialogue ci-dessous, vous pouvez sélectionner l'emplacement du serveur Robot ; le programme de contrôle vérifie le droit d'enregistrer dans ce poste et, interrompt le processus d'installation si l'utilisateur n'en pas de droit

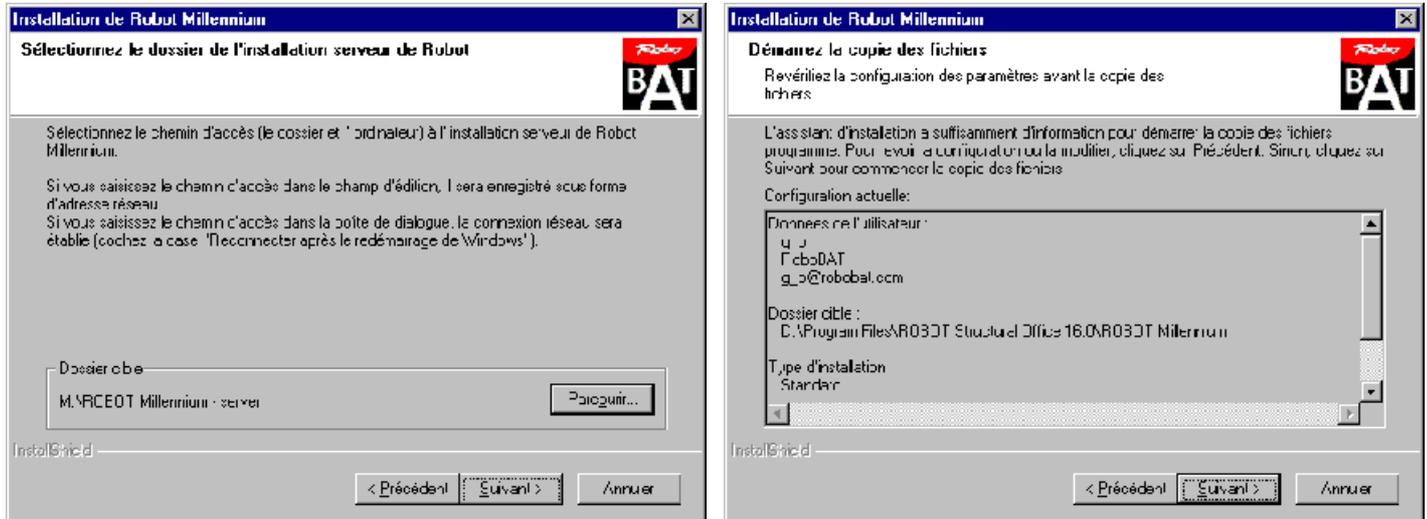


- De même que pour l'installation monoposte, pour les deux types d'installation nœud, vous pouvez sélectionner les composants à installer.

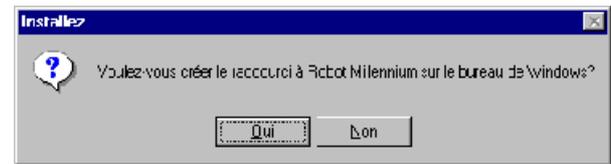


- Lors de l'installation nœud, vous devez indiquer le chemin d'accès au dossier de l'installation serveur de **Robot Millennium** (le serveur du logiciel **Robot Millennium** doit être installé préalablement). Il faut attirer l'attention sur le mode de spécification du chemin d'accès à l'installation serveur de **Robot Millennium** : vous pouvez, soit utiliser l'adresse réseau, soit affecter une lettre de lecteur au partage en question. Dans ce dernier cas, vous devez restaurer cette connexion après le redémarrage de Windows.





- ➔ Après l'installation des fichiers de la version nœud de **Robot Millennium**, la licence de protection est installée. Le programme d'installation affiche alors la boîte de dialogue représentée sur la figure ci-dessous. Dans cette boîte de dialogue vous devez saisir le chemin d'accès à la licence de la protection installée lors de l'installation de la protection réseau :



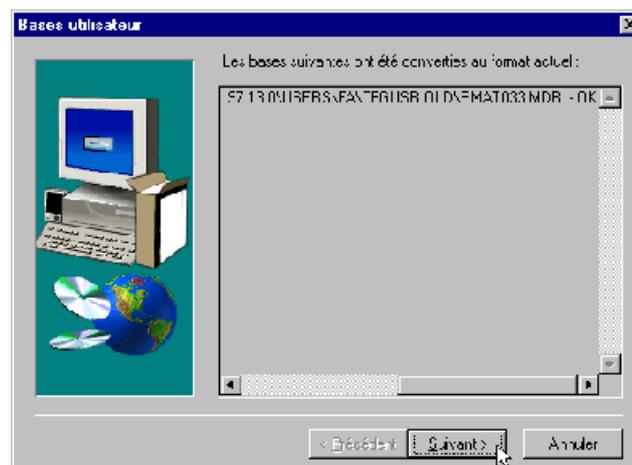
Si vous obtenez ce message, c'est que le dossier sur lequel vous pointez n'est pas le dossier où la protection est installée (voir page 19).

Répondre Oui à ce message pour placer l'icône du raccourci sur le Bureau Windows

Vous pouvez installer la protection réseau directement à partir de la disquette de protection.

Vous devez alors donner le chemin d'accès à la disquette (p. ex. A:\).

Si, au début de l'installation, vous avez choisi de désinstaller la version précédente de **Robot Millennium**, le programme vous proposera alors de convertir vos bases de données Utilisateur (matériaux ou profilés) vers **Robot Millennium 16.1** :



→ Une fois l'installation terminée, vous devez redémarrer Windows.



Administration de la version réseau du logiciel

Fonctionnalités de la version réseau

A) Travail en mode local et en mode serveur :

L'utilisateur peut sélectionner l'emplacement pour ses fichiers (projets et fichiers de configuration), à savoir l'ordinateur local ou le serveur. Dans le deuxième cas, pour travailler sur ses projets, l'utilisateur pourra utiliser un ordinateur quelconque connecté au réseau (voir les points B et 4).

B) Possibilité d'utiliser un ordinateur quelconque pour travailler sur le projet étudié :

Si l'utilisateur a sélectionné le travail en mode serveur, il pourra utiliser un ordinateur quelconque connecté au réseau pour travailler avec ses projets sans qu'il soit nécessaire de copier les fichiers.

C) Logiciel orienté utilisateur :

Chaque utilisateur a son propre répertoire avec projets et fichiers de configuration.

D) Options avancées de gestion des fichiers de configuration.

L'administrateur peut définir sur le serveur les fichiers de configurations applicables pour tous les utilisateurs du réseau. L'utilisateur est informé de toutes les modifications effectuées et peut mettre à jour ses fichiers de configuration, voir les points 2 et 3.

E) Possibilité de limiter l'accès à Robot :

Si besoin est, l'administrateur peut définir la liste des personnes ayant les droits d'utiliser Robot, modifier la configuration par défaut etc. (voir le point 1).



Installation de la version réseau

Afin d'installer la version réseau de **Robot Millennium**, tout d'abord il faut installer la protection réseau et le serveur de **Robot Millennium**.

La protection réseau peut être installée sur un ordinateur quelconque connecté au réseau. L'installation est indépendante de l'installation réseau de **Robot Millennium**, elle peut être effectuée sur un ordinateur différent du serveur sur lequel **Robot Millennium** sera installé. Le dossier dans lequel les licences de la protection ont été installées doit être obligatoirement partagé en lecture pour les autres utilisateurs.

Le serveur de **Robot Millennium** doit être obligatoirement installé sur un disque accessible pour tous les autres utilisateurs. Le dossier principal de la version serveur de **Robot Millennium** doit être partagé en lecture seule pour tous les utilisateurs, les droits d'accès complets (lecture et écriture) doivent être définis pour le dossier Users. L'administrateur doit avoir les droits d'accès complets au dossier principal de **Robot Millennium**. L'installation de la version serveur de **Robot Millennium** doit être effectuée par l'administrateur du système Robot (la personne qui installe le serveur de **Robot Millennium** obtient ces droits automatiquement). Après l'installation du serveur, les utilisateurs peuvent installer la version nœud sur leurs postes locaux. Lors de l'installation il faut spécifier l'adresse du serveur de **Robot Millennium** dans le réseau.

Utilitaire Administrateur

L'Utilitaire Administrateur sert à définir les paramètres du travail de la version réseau du logiciel **Robot Millennium**. Les fonctionnalités de cet utilitaire dépendent des droits de l'utilisateur. Pour un utilisateur standard, deux onglets sont affichés après le lancement de l'application (Fichiers, Mode de travail et Robot Expert). L'administrateur du système **Robot Millennium** peut accéder à deux autres onglets (Utilisateurs, Système et Moniteur Réseau).

ATTENTION : Avant de lancer l'Utilitaire Administrateur, il faut vérifier si le logiciel Robot n'est pas ouvert.

1. Onglet Utilisateurs (options administrateur)

Dans l'onglet Utilisateurs, l'administrateur peut définir la liste d'utilisateurs et leur attribuer les droits appropriés.

- Utilisateur - le nom dont l'utilisateur se sert pour accéder au réseau.
- Accès – l'utilisateur peut lancer le logiciel Robot.
- Administrateur – l'utilisateur obtient les droits de l'administrateur.
- Configuration locale – l'utilisateur peut travailler avec ses propres fichiers de configuration, dans le cas contraire, il ne pourra utiliser que la configuration serveur.

Si l'option « Vérifier la liste des utilisateurs lors du démarrage » est activée, les personnes non spécifiées dans la liste ne seront pas autorisées à utiliser le logiciel.

2. Onglet Système (options administrateur)

- Modifier les fichiers de configuration – après la sélection de cette option, la configuration administrateur devient la configuration serveur (les utilisateurs pourront ensuite mettre à jour leurs fichiers de configuration d'après les modifications effectuées par l'administrateur).
- Code de la protection – si le code de la protection a été modifié (par exemple après l'achat d'une nouvelle option), le nouveau code doit être saisi dans ce champ d'édition. Après le lancement du logiciel **Robot Millennium** par l'utilisateur, l'application mettra à jour le code de protection de façon automatique.
- Créer une nouvelle base d'utilisateurs – suppression de la base d'utilisateurs actuelle et création d'une nouvelle base.

3. Onglet Moniteur réseau

Les options disponibles dans cet onglet permettent de spécifier l'adresse réseau de l'ordinateur sur lequel le Moniteur Réseau est installé. L'adresse en question est utilisée par tous les logiciels de la gamme Robot Expert (Calculettes). **Robot 97 / Millennium** retrouve cette adresse de façon automatique.

4. Onglet Fichiers

Au démarrage de Robot, le logiciel peut afficher un message informant de la nécessité de mettre à jour les fichiers de configuration ou les fichiers système. Dans l'onglet fichiers, l'utilisateur peut consulter l'état de ses fichiers et demander de les mettre à jour de façon automatique (le système Robot doit être alors redémarré).



5. Onglet Mode de travail

Dans l'onglet mode de travail, l'utilisateur peut définir les paramètres du travail en réseau.

- Si le mode de travail local est sélectionné, les fichiers de configuration utilisateur seront placés sur l'ordinateur local (accès rapide).
- Si le mode serveur est sélectionné, les fichiers de configuration utilisateur seront placés sur le serveur, cette solution est conseillée si l'utilisateur veut utiliser plusieurs ordinateurs pour travailler sur son projet.

La sélection de la configuration permet à l'utilisateur de déclarer s'il veut utiliser sa configuration locale ou bien la configuration serveur définie par l'administrateur du système. La copie des projets et des fichiers de configuration locaux vers le serveur (ou vice versa) doit être effectuée après la modification du mode de travail (passage de mode local au mode serveur ou vice versa) si l'utilisateur veut se servir des mêmes fichiers de configuration.

6. Onglet ROBOT Expert

L'onglet *Robot Expert* permet à l'administrateur de mettre à jour l'adresse réseau de l'ordinateur sur lequel le Moniteur Réseau a été installé.

7. Exemples

7.1. L'utilisateur ne peut pas lancer le logiciel **Robot Millennium** :

- * Vérifiez si le serveur fonctionne
- * Si lors de l'installation du nœud, une lettre a été affectée au chemin d'accès au serveur, vérifiez si cette connexion est actuelle après le redémarrage de l'ordinateur local
- * Vérifiez si l'utilisateur a les droits d'accès en lecture dans le répertoire System de l'installation serveur
- * Vérifiez si l'utilisateur a les droits d'accès en écriture dans le répertoire Users\« Nom de l'utilisateur »
- * Vérifiez si l'utilisateur est autorisé à utiliser le logiciel **Robot Millennium**, (voir point 1)

7.2. Messages au démarrage du logiciel *Robot Millennium* :

- * Si le logiciel affiche un message sur la nécessité de mettre à jour les fichiers de configuration ou les fichiers système, il faut lancer l'utilitaire Administrateur, passer à l'onglet Fichiers et appeler l'option appropriée (voir point 3).

7.3. Travail avec la version réseau

- * Si l'utilisateur veut utiliser plus d'un ordinateur connecté au réseau pour travailler sur ses projets, il doit activer l'option « mode de travail serveur » disponible dans l'onglet « Mode de travail », (voir point 4).
- * Si l'utilisateur travaille en mode local (c'est-à-dire que ses fichiers de configuration sont placés sur un ordinateur local) et qu'il veuille utiliser les mêmes fichiers sur un autre ordinateur, il doit effectuer les opérations suivantes :
 - lancer l'utilitaire Administrateur,
 - passer à l'onglet Mode de travail,
 - utiliser l'option « Copier les fichiers utilisateur sur le serveur »,
 - sélectionner le mode de travail serveur, (voir point 4).

7.4. Fonctions de l'administrateur de la version réseau :

- * Modification de la configuration serveur (modification de la configuration accessible pour tous les utilisateurs) :
 - l'administrateur vérifie qu'il utilise la configuration serveur actuelle (onglet Fichiers), si ce n'est pas le cas, il met à jour ses fichiers de configuration, (voir point 3)
 - l'administrateur effectue les modifications nécessaires (ajout d'un nouveau matériau, définition d'une nouvelle section, appui, ajout d'un nouveau modèle d'impression etc.)
 - l'administrateur lance l'Utilitaire Administrateur
 - dans l'onglet Système, l'administrateur sélectionne l'option « Modifier les fichiers de configuration »
 - par conséquent, chaque utilisateur obtiendra un message sur la nécessité de mettre à jour les fichiers de configuration.

Modification du code de la protection (par exemple, après l'achat de nouvelles options) :

- lancement de l'utilitaire Administrateur,
- saisie du nouveau code de protection dans l'onglet Système,



- par conséquent, après le lancement de Robot, chaque utilisateur disposera du code de protection mis à jour.

UTILITAIRE MONITEUR RESEAU

Description des fonctionnalités de l'utilitaire Moniteur :

- Suivi des logiciels utilisant la protection fonctionnant sur le réseau (onglet Licences),
- Génération des rapports sur les statistiques de l'utilisation des licences (onglet Rapports),
- Obtention des informations sur certains événements (onglet Evénements),
- Envoi de messages aux utilisateurs.

L'utilitaire Moniteur peut être installé sur un ordinateur quelconque connecté au réseau. Pour assurer son fonctionnement conforme à ses fonctionnalités, il faut le lancer (le mieux, dans le groupe Démarrage) et ne pas l'arrêter si des logiciels utilisant la protection réseau fonctionnent sur le réseau. **Après l'installation de Moniteur, dans l'onglet « Moniteur Réseau » du logiciel « Administrateur », saisissez le nom de l'ordinateur sur lequel le Moniteur a été installé.** Chaque logiciel (*Robot Millennium* ou *Robot Expert*) envoie au Moniteur l'information qu'il a été lancé et qu'il utilise la protection réseau. Dans l'onglet Licences, l'information sur le logiciel donné est affichée (nom de l'ordinateur sur lequel il a été lancé, nom de l'utilisateur, numéro de la protection utilisée, nom de l'application, ID du processus, heure du lancement, état de l'application). L'arborescence de l'application comprend les racines (noms d'ordinateurs) et les noms des applications lancées sur ces ordinateurs. Les applications fonctionnant sur un ordinateur utilisent une licence. Lors du fonctionnement, *Robot Millennium* envoie systématiquement (toutes les quelques minutes) au Moniteur une information de contrôle. Le temps de l'envoi de cette information est inscrit dans le champ Last Ping. Si l'heure affichée dans ce champ n'est pas actuelle, cela veut dire que l'application donnée est inactive (par exemple, elle a planté etc.). Les pings ne sont pas envoyés lors de la préparation de la structure aux calculs.

*ATTENTION : Les logiciels Robot Expert n'envoient pas de « Pings », de même Robot ne peut pas en envoyer lors de la lecture du fichier *.str*

Lors de la fermeture de l'application, elle envoie une information au Moniteur et le logiciel en question est supprimé de l'arborescence des applications dans l'onglet Licences.

Les diagnostics de l'utilisation de la licence consistent à observer l'arborescence dans l'onglet Licences. L'administrateur peut constater qui et depuis combien de temps utilise les licences, vérifier si la licence n'est pas bloquée par un processus planté (Last Ping non mis à jour depuis une longue période de temps). **Il est impossible de priver l'utilisateur de sa licence ou de débloquer une licence prise par un processus planté.** L'option Remove Application sert à supprimer de l'arborescence l'application qui, à nos connaissances, ne fonctionne plus (son fonctionnement a été terminé avec échec et elle n'a pas libéré sa protection). Le

Moniteur doit fonctionner pendant toute la durée du fonctionnement de la protection. Si le Moniteur est fermé, après son relancement, il sera possible d'obtenir des informations sur les logiciels fonctionnant dans le réseau à l'exception des informations sur les logiciels dont le fonctionnement a été terminé par échec lors du temps de l'inactivité du Moniteur (les logiciels en question ne seront pas affichés dans l'arborescence mais ils bloqueront des licences).

L'administrateur peut générer des rapports concernant l'utilisation des licences par les utilisateurs. Plus d'un modèle de rapports seront fournis, mais, l'utilisateur peut également créer ses propres modèles en fonction de ses besoins. Le rapport défini par l'utilisateur est affiché dans le tableau dans l'onglet Rapports et peut être imprimé. Le rapport par défaut contient la base de données entière (toutes les informations sont enregistrées dans une base MDB et disponibles à partir d'Access). Si l'option Logout Status est activée, cela signifie que l'application a envoyé une information au moment de sa fermeture (comportement standard). Si cette option est désactivée, cela signifie que le fonctionnement de l'application a été terminé avec échec ou que l'utilisateur a quitté application quand le Moniteur était inactif.

ATTENTION : Après une certaine période de temps, il est conseillé de supprimer les enregistrements inutiles dans la base de données. Vous pouvez le faire dans Access, directement dans la vue Requête (sélectionnez les enregistrements et appuyez sur le bouton Supprimer ou bien utilisez l'option « Sélectionner enregistrements à supprimer » qui permet de définir les conditions que les enregistrements à supprimer doivent satisfaire.

Si une licence n'a pas été donnée à l'application (logiciel **Robot Millennium** ou Robot Expert), un message est envoyé au moniteur, il sera affiché dans l'onglet Evénements.

Il est possible d'envoyer des messages aux utilisateurs. L'Utilitaire Moniteur Réseau est doté d'une boîte de dialogue permettant de spécifier le destinataire et le texte du message. La partie droite de la boîte de dialogue contient la liste de tous les utilisateurs de Robot ou seulement la liste des utilisateurs logués actuellement. Les messages envoyés à l'utilisateur lors de son travail sont affichés tout de suite (pour la version démo, les messages sont affichés au plus tard 5 minutes après l'envoi), tous les autres messages seront affichés lors du démarrage suivant de Robot.

*ATTENTION : Les messages peuvent être envoyés seulement aux utilisateurs du système **Robot Millennium**.*

Pour que les messages puissent être reçus, dans l'utilitaire Administrateur, dans l'onglet *Moniteur de licences*, il faut activer le champ *Gestion des messages* (cet onglet est disponible seulement pour l'Administrateur). **Pour obtenir la liste de tous les utilisateurs de Robot, il faut spécifier le chemin d'accès à la version serveur de Robot dans la boîte de dialogue Configuration.**

Pour que les logiciels Robot Expert puissent s'enregistrer dans le « Moniteur Réseau », il faut effectuer les opérations suivantes :

- Sur l'ordinateur sur lequel les logiciels Robot Expert seront utilisés, lancez l'utilitaire « Administrateur »



- Passez à l'onglet Robot Expert et mettez à jour l'adresse du Moniteur de Licences (Si le bouton est affiché en gris, cela signifie que la mise à jour a déjà été effectuée)

Lors de la mise à jour, une erreur peut se produire, cette erreur est due aux droits d'accès utilisateur insuffisants pour modifier les registres. Dans ce cas, la mise à jour doit être effectuée par un utilisateur disposant des droits d'administrateur pour l'ordinateur donné (il ne faut pas les confondre avec les droits de l'Administrateur du système **Robot Millennium**). Vous pouvez également effectuer la mise à jour en utilisant l'utilitaire RegEdit (disponible dans le système Windows 95/98/NT) : définissez la valeur de la clé « HKEY_LOCAL_MACHINE\SOFTWARE\RoboBAT\Protection\Net\LicenceServerName » égale à l'adresse actuelle du Moniteur de Licences (donnée au-dessus du bouton « Mettre à jour » dans l'onglet Robot Expert du logiciel Administrateur).

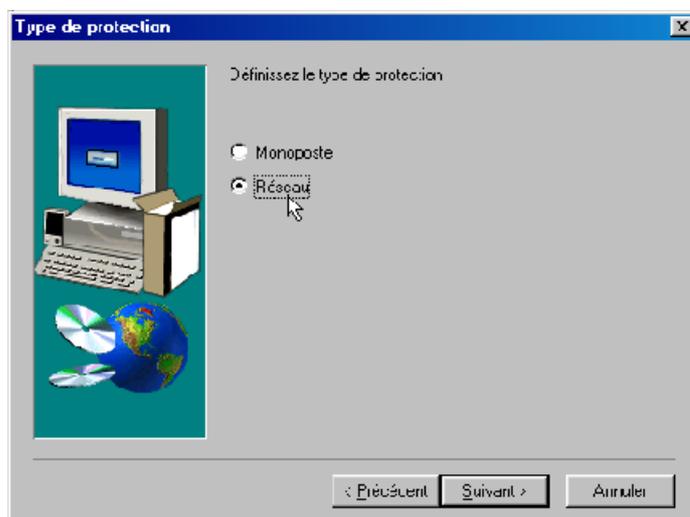
1.3. Autres installations

ROBOT Expert :

Robot Expert 16.1 est un outil qui installe et centralise l'utilisation des produits suivants :

- Calculette BA,
- Robot Murs de Soutènement Expert,
- Robot EC3 Expert,
- Robot EC4 Expert.

Si vous installez la version Réseau de Robot Expert 16.1 sur un poste où **Robot Millennium / Millennium Réseau** n'est pas installé, vous aurez à sélectionner Réseau dans la boîte de dialogue suivante pendant l'installation de Robot Expert 16.1 :



ATTENTION : Pour utiliser Robot EC4 Expert, il faudra aussi installer DAO (Data Access Object).

ROBOT CBS :

- Installation du programme Robot CBS

**Outils Béton Armé :**

- Robot Dalles
- Robot Mur
- Robin
- Apilog

Outils Réseau :

- Protection réseau
- Moniteur réseau

RCAD :

- RCAD Acier
- RCAD Béton

ESOP :

- Installation d'ESOP

Outils généraux :

- Support technique (Win 95 Uniquement)
- Solid DXF Converter
- Visionneuse VRML
- DAO
- Ainsi que d'autres fonctionnalités

1.3.1. Mise à jour du code de protection

La clé de protection livrée avec le logiciel Robot peut être modifiée à l'aide du code approprié. Cette situation peut arriver quand l'utilisateur achète de nouvelles options ou bien, quand la protection temporelle expire et l'utilisateur se décide à la prolonger. Le nouveau code de protection doit être saisi suivant la procédure décrite ci-dessous :

- lancez le logiciel *Robot Millennium*
- sélectionnez un type de structure quelconque p. ex. portique 2D
- dans le menu du logiciel Robot, sélectionnez l'option *Outils/Préférences*
- à partir de l'arborescence disponible dans la partie gauche de la boîte de dialogue *Préférences*, sélectionnez l'option *Protection du logiciel*
- saisissez le code de modification fourni par l'éditeur du logiciel Robot dans le champ *Code de modification*
- cliquez sur le bouton **Appliquer**.

Le logiciel affiche le message informant sur la fin de la mise à jour du code de protection du logiciel.

1.4. Génération du rapport d'installation

Une fois l'installation terminée, le rapport d'installation contenant les informations relatives au logiciel Robot, est généré automatiquement après le relancement du logiciel.

Plusieurs modes de génération du rapport d'installation :

1. Dans le menu, sélectionnez l'option *Aide (?) / Rapport d'installation*
2. Ouvrez la boîte de dialogue **Préférences**.
pour cela, sélectionnez dans le menu la commande *Outils / Préférences* ou cliquez sur l'icône  ; dans la boîte de dialogue qui s'ouvre, sélectionnez l'option *Protection du logiciel* et cliquez sur le bouton **Rapport d'installation**
3. Lancez l'option **Support technique**
pour cela sélectionnez dans le menu la commande *Aide (?) / Support technique* ou cliquez sur l'icône  ; après l'ouverture de la boîte de dialogue **Support technique**, sélectionnez les options *Fax* et *Maintenance* et cliquez sur le bouton **OK**.

ATTENTION : La génération du rapport d'installation peut demander un peu de temps. Une fois la génération terminée, le logiciel affichera le traitement de texte dans lequel le rapport généré sera présenté.



2. INTRODUCTION

2.1. Description générale du logiciel

Le système **Robot Millennium** est un progiciel CAO/DAO destiné à modéliser, analyser et dimensionner les différents types de structures. **Robot Millennium** permet de modéliser les structures, les calculer, vérifier les résultats obtenus, dimensionner les éléments spécifiques de la structure ; la dernière étape gérée par **Robot Millennium** est la création de la documentation pour la structure calculée et dimensionnée.

Les caractéristiques principales du progiciel **Robot Millennium** sont les suivantes :

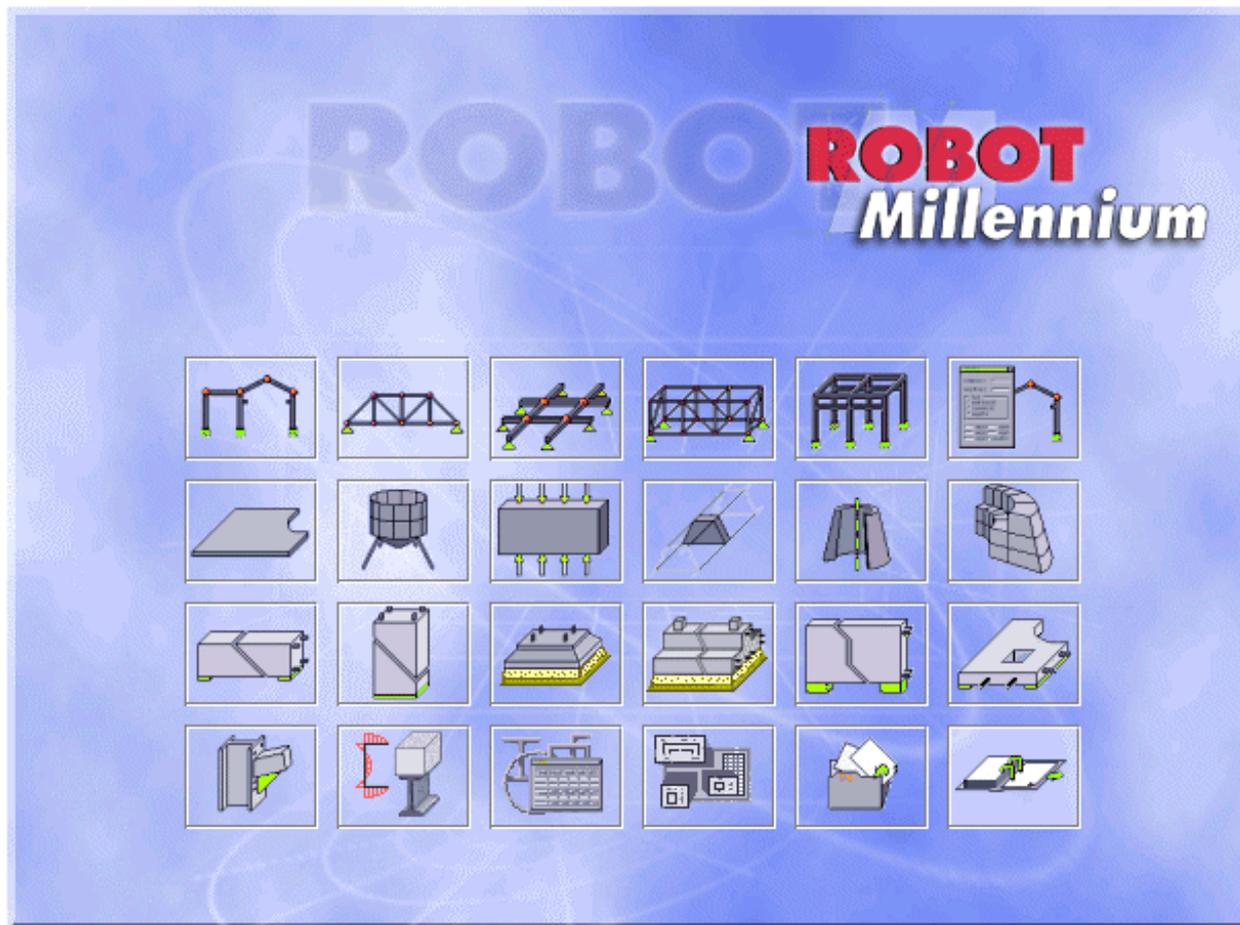
- définition de la structure réalisée en mode entièrement graphique dans l'éditeur conçu à cet effet (vous pouvez aussi ouvrir un fichier, p. ex. au format DXF et importer la géométrie d'une structure définie dans un autre logiciel CAO/DAO),
- possibilité de présentation graphique de la structure étudiée et de représentation à l'écran des différents types de résultats de calcul (efforts internes, déplacements, travail simultané en plusieurs fenêtres ouvertes etc.),
- possibilité de calculer (dimensionner) une structure et d'en étudier simultanément une autre (architecture multithread),
- possibilité d'effectuer l'analyse statique et dynamique de la structure,
- possibilité d'affecter le type de barres lors de la définition du modèle de la structure et non pas seulement dans les modules métier (très utile pour accélérer le dimensionnement),
- possibilité de composer librement les impressions (notes de calcul, captures d'écran, composition de l'impression, copie des objets vers d'autres logiciels).

Le système **Robot Millennium** regroupe plusieurs modules spécialisés dans chacune des étapes de l'étude de la structure (création du modèle de structure, calcul de la structure, dimensionnement). Les modules fonctionnent dans le même environnement.

Après le lancement du système **Robot Millennium** (pour ce faire, cliquez sur l'icône appropriée affichée sur le bureau ou sélectionnez la commande appropriée dans la barre des tâches), la fenêtre représentée ci-dessous est affichée. Dans cette fenêtre, vous pouvez définir le type de la structure à étudier, ouvrir une structure existante ou charger le module permettant d'effectuer le dimensionnement de la structure.

ATTENTION : Lors du premier lancement de ROBOT, le rapport d'installation est généré. Le rapport contient les informations sur le logiciel ROBOT. La génération du rapport d'installation peut demander un certain temps. Une fois la génération

terminée, le logiciel affichera le traitement de texte dans lequel le rapport généré sera présenté.

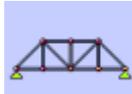


La signification des icônes (pour lesquels une info-bulle est affichée si vous positionnez le pointeur sur l'icône) affichés dans la fenêtre représentée ci-dessus est la suivante :

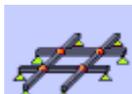
les onze premières icônes servent à sélectionner le type de structure :



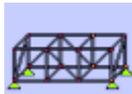
Etude d'un Portique Plan



Etude d'un Treillis Plan



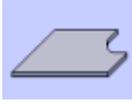
Etude d'un Grillage



Etude d'un Treillis Spatial



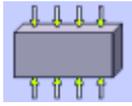
Etude d'un Portique Spatial



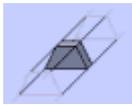
Etude d'une Plaque



Etude d'une coque



Etude en Contraintes Planes



Etude en Déformations Planes

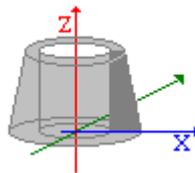


Etude d'une Structure Axisymétrique

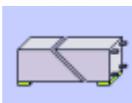


Modélisation en Volumique (solide)

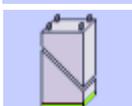
ATTENTION : Dans le type de structure axisymétrique, le solide de révolution est modélisé à l'aide de la coupe verticale plane par le solide (voir la figure ci-dessous). On admet que l'axe global Z est un axe vertical du solide. L'utilisateur définit la moitié de la coupe du côté positif de l'axe X. Pour indiquer la position de l'axe vertical de la coupe dans la structure axisymétrique, la vue de la structure contient les lignes de construction aux coordonnées $X=0$.



les six icônes suivantes permettent d'accéder directement aux modules métier béton armé :



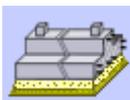
dimensionnement poutres BA



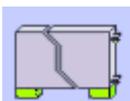
dimensionnement poteaux BA



dimensionnement semelles BA



dimensionnement longrines BA



dimensionnement poutres-voiles BA

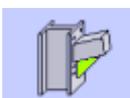


dimensionnement dalles BA

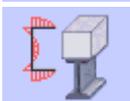


cette icône permet d'accéder aux structures paramétrables

Les deux icônes suivantes servent à sélectionner les modules :



dimensionnement assemblages acier



accès direct au module sections

De plus, les icônes suivantes sont disponibles :



gestionnaire de catalogues de profilés



éditeur de modèles de dessins traceur



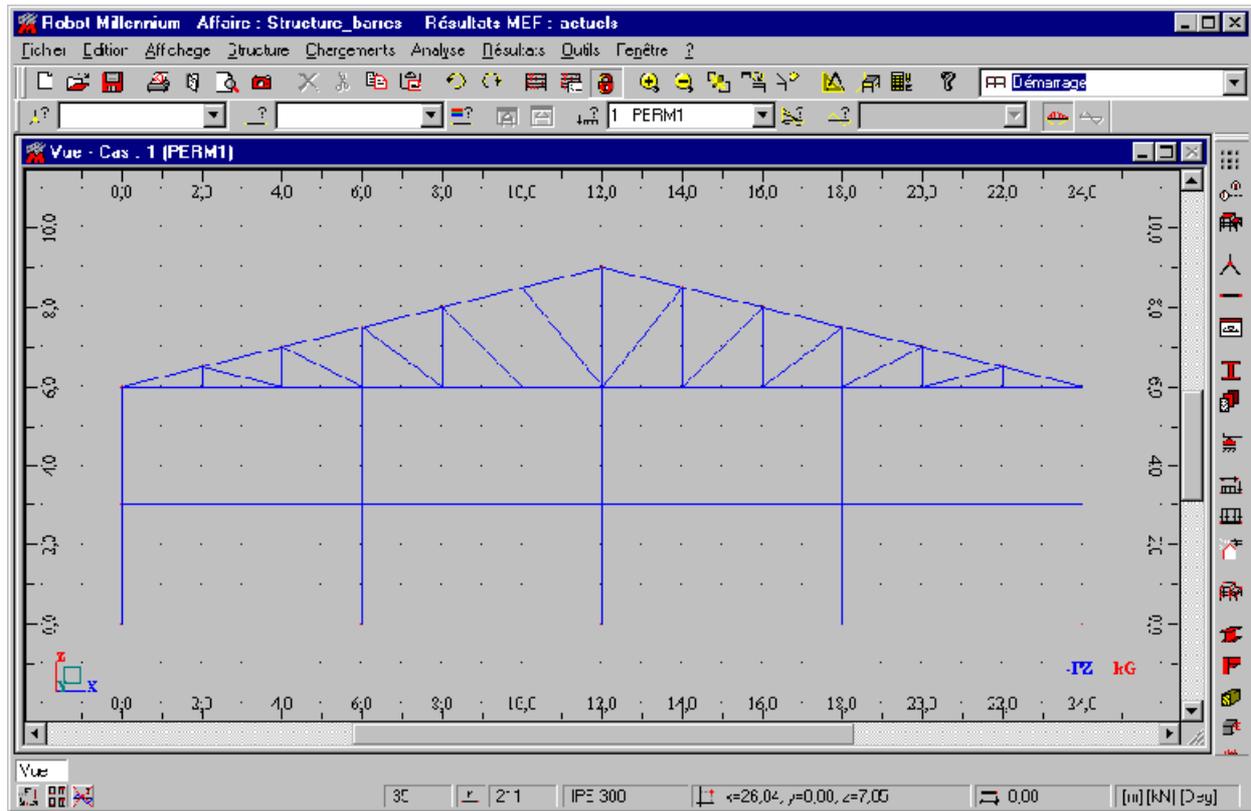
l'avant-dernière icône sert à ouvrir un fichier contenant une structure existante.



ce dernière icône permet de créer une nouvelle affaire.

Après la sélection de l'une de ces options, les paramètres du système **Robot Millennium** sont adaptés aux fonctions du module réglementaire sélectionné ou au type de structure sélectionné. En fonction de l'objectif et du mode de fonctionnement du module, le logiciel affiche soit la fenêtre de l'éditeur graphique dans laquelle vous pouvez effectuer la saisie, soit le bureau spécifique adapté aux fonctions du module (cela concerne les modules métier).

Les éléments principaux de l'écran sont représentés sur la figure ci-dessous, ils sont identiques pour la plupart des bureaux (celui-ci est le bureau de démarrage standard) :



Le bureau **Démarrage** se divise en plusieurs parties :

- la barre de titre sur laquelle les informations de base concernant l'affaire actuelle sont affichées (nom du projet, informations sur l'état des calculs de la structure : résultats actuels, non actuels, calculs en cours,
- les menus déroulants, les barres d'outils (y compris la barre d'outils affichée à droite de l'écran, qui regroupe les icônes le plus souvent utilisés) et la liste de sélection des bureaux prédéfinis du système **Robot Millennium**,
- la liste de sélection de nœuds, barres, cas de charges et modes propres,
- la zone graphique (fenêtre de l'éditeur graphique) qui sert à modéliser et visualiser la structure,
- la zone d'état se trouvant dans la partie inférieure de la fenêtre du système **Robot Millennium** affiche les informations suivantes : noms des fenêtres d'édition ouvertes (ou les visionneuses), coordonnées de la position du pointeur, unités utilisées et un groupe d'icônes sur lequel vous pouvez cliquer pour ouvrir les boîtes de dialogue de gestion les plus importantes ou consulter les informations à propos des ressources disponibles (**Affichage des attributs**, **Mode d'accrochage**, cf. fonctions expliquées ci-dessous).

Les fonctions des icônes affichées dans la partie gauche en bas de l'écran sont les suivantes :



- sélection du **Mode d'accrochage** du pointeur (cf. paragraphe 2.5.),
- ouverture de la boîte de dialogue **Affichage des attributs** (cf. paragraphe 2.2.5.),
- rétablissement des attributs à afficher par défaut.

Dans le cas où vous définissez la structure volumique, le logiciel affiche trois icônes supplémentaires dans la partie inférieure de l'écran :



rien



ombrage



ombrage rapide

ATTENTION : Les informations données dans le champ affiché en bas de l'écran dépendent du module dans lequel l'utilisateur travaille (des informations légèrement différentes seront données dans les modules de dimensionnement des structures en béton armé, par exemple).

Si, dans la fenêtre de l'assistant, vous sélectionnez un des icônes relatives aux modules métier (dimensionnement BA, dimensionnement acier, dimensionnement des assemblages acier), le logiciel ouvre le jeu de fenêtres et de tableaux prédéfini adapté aux fonctionnalités du module. (Pour obtenir plus d'informations relatives au système de bureaux prédéfinis disponible dans **Robot Millennium**, veuillez-vous référer au chapitre 2.2.1.)

2.2. Travail avec le système Robot Millennium principes généraux

Nous vous conseillons vivement de prendre connaissance des règles de base régissant le fonctionnement du système *Robot Millennium* :

- Les nouveaux nœuds **sont créés de façon automatique** lors de la définition des barres. Si vous créez une barre basée sur des nœuds existants, les nouveaux nœuds ne seront pas créés.
- La suppression d'un élément ne supprime pas les nœuds relatifs.
- Lors de l'affectation d'un attribut (appui, section, charge, épaisseur du panneau etc.), vous pouvez définir ses propriétés et ensuite sélectionner les barres/nœuds/panneaux/solides successifs auxquels vous voulez l'affecter. Parfois, il est commode de changer cet ordre d'opérations et effectuer la sélection avant de définir l'attribut (c'est ce qu'on appelle «effectuer une sélection préalable»). Si vous procédez de cette manière, l'attribut défini sera affecté aux barres/nœuds/panneaux/solides sélectionnés précédemment.
- Le type de barre peut être affecté dès l'étape de définition de la structure (poteau, poutre, etc.).
- Certaines opérations d'édition ne peuvent pas être annulées.

2.2.1. Système de bureaux

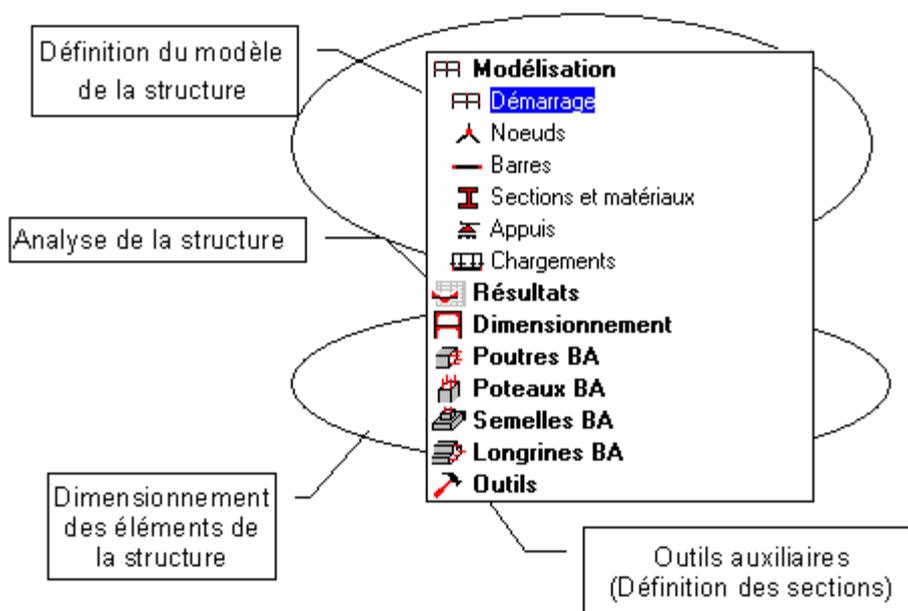
Le système *Robot Millennium* dispose d'un mécanisme de bureaux prédéfinis qui facilite l'étude des structures. Les bureaux de *Robot Millennium* sont des jeux de boîtes de dialogue, champs d'édition et de tableaux dont la disposition est prédéfinie et dont la fonction est d'optimiser la réalisation d'un type d'opération spécifique. Les bureaux disponibles dans le système *Robot Millennium* ont été créés pour vous faciliter l'exécution des opérations dont la fonction est de définir, calculer et dimensionner la structure. Afin d'assurer la stabilité des bureaux prédéfinis, les boîtes de dialogue et les tableaux ouverts de façon automatique lors de l'ouverture du bureau ne peuvent pas être fermés. La disposition des fenêtres et des boîtes de dialogue appartenant au bureau est enregistrée quand vous fermez le bureau, c'est à dire quand vous passez au bureau suivant. Lorsque vous appellerez à nouveau le bureau, la disposition que vous aviez définie sera restaurée.

Les bureaux prédéfinis dans *Robot Millennium* sont disponibles dans la zone de liste affichée dans la partie supérieure de la fenêtre du logiciel (cf. la figure ci-dessous).

Dans ce champ vous pouvez sélectionner un bureau défini dans le système Robot Millennium



Après un clic sur le champ de sélection des bureaux, la liste des bureaux est affichée. Si vous avez sélectionné un des modules standard du système *Robot Millennium* (par exemple Poutres BA), la liste ne contient pas les bureaux prédéfinis qui ne concernent pas l'étude d'exécution des poutres BA.

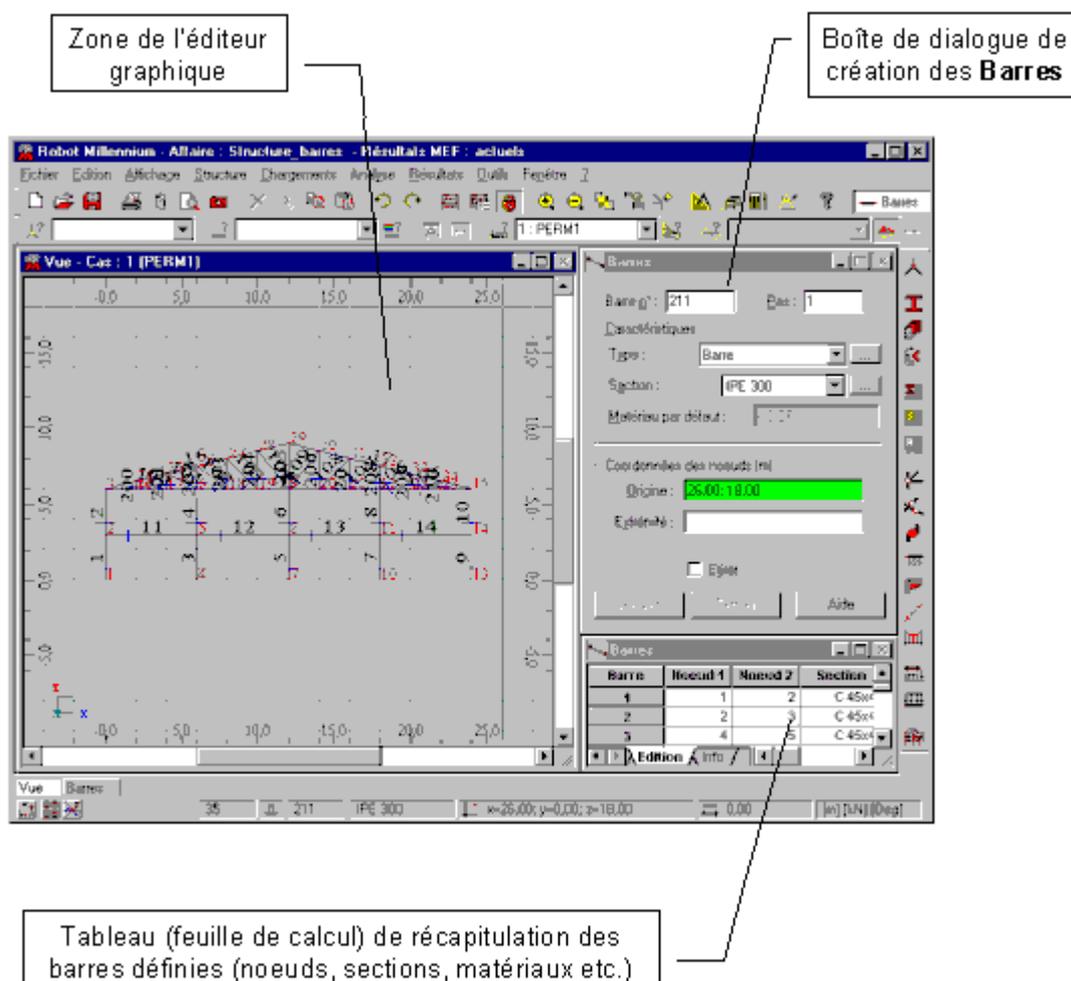


Remarque : les bureaux prédéfinis sont rassemblés dans des groupes de bureaux (Modélisation, Résultats, etc.).

Dans le système **Robot Millennium**, le mécanisme de bureaux prédéfinis a été créé afin de rendre la définition de la structure plus facile et plus intuitive. Evidemment, vous n'êtes pas obligé d'utiliser le mécanisme. En effet toutes les opérations effectuées dans le système **Robot Millennium** peuvent être réalisées sans recourir aux bureaux définis.

Afin d'apprécier les possibilités données par le mécanisme de bureaux prédéfinis, consultez la figure suivante qui présente la disposition des fenêtres, créée pour le bureau **BARRES**.

Dans ce bureau **BARRES**, la fenêtre se divise en trois parties principales :



1. la zone de l'éditeur graphique dans laquelle vous pouvez définir la structure,
2. la boîte de dialogue **Barres** dans laquelle vous pouvez définir les barres successives formant la structure (évidemment, pour les autres bureaux vous aurez des boîtes de dialogue différentes),
3. le tableau (feuille de calcul) dans lequel le logiciel affiche toutes les informations sur les barres définies (dans les autres bureaux, vous aurez les informations sur les autres objets tels que nœuds, charges, appuis etc.). Ce tableau vous permet de modifier les données

saisies, vous pouvez aussi copier le contenu du tableau vers un tableur (par exemple MS Excel).

En sélectionnant les bureaux successifs proposés par le système *Robot Millennium*, vous pouvez, de façon simple, définir, calculer et dimensionner une structure. Après le dimensionnement de la structure, la modification de certaines barres peut s'avérer nécessaire (par exemple par la modification de la section) ; ceci nécessitera le re-calcul de la structure entière. Le système de bureaux prédéfinis facilite considérablement et accélère l'accomplissement des étapes successives de l'étude de la structure : analyse, dimensionnement et modification de la structure dimensionnée.

2.2.2. Menus déroulants, menu contextuel, barres d'outils

Dans le système *Robot Millennium*, le menu principal comprend deux parties : les menus déroulants et les barres d'outils (encore appelées «palettes d'icônes») contenant les icônes appropriées. Vous pouvez utiliser l'un ou l'autre en fonction de vos habitudes et de vos préférences.

Les deux types de menus sont affichés à l'écran sous forme de bandes horizontales dans la partie supérieure de la fenêtre du logiciel (de plus, dans la plupart des bureaux du système *Robot Millennium*, une barre d'outils verticale est affichée à droite de l'écran). Les menus déroulants et les barres d'outils donnent l'accès aux fonctions principales accessibles dans le module actif. Bien que la liste des menus déroulants et la forme de la barre d'outils dépendent du module actif, les options de base sont accessibles dans chaque module.

Les deux types de menu sont représentés sur les figures ci-dessous, (à titre d'exemple, c'est le menu principal du bureau **DEMARRAGE** qui a été pris).

Menus Déroulants



Un clic gauche de la souris sur un des menus déroulants ouvre un sous-menu supplémentaire dans lequel les commandes spécifiques sont disponibles. Vous devez sélectionner le nom de la commande.

La liste des menus déroulants est organisée de façon hiérarchique. La sélection d'une option s'effectue par un clic du bouton gauche de la souris sur la commande sélectionnée. (Si la commande sélectionnée est mise en surbrillance, vous pouvez appuyer sur la touche <Entrée> pour l'exécuter. De même, vous pouvez activer une option en appuyant sur la lettre soulignée dans le nom de la commande voulue. Afin de naviguer dans le menu, vous pouvez utiliser les flèches disponibles au clavier. Après la sélection de certaines commandes affichées dans la liste des menus déroulants, le logiciel affiche un sous-menu contenant des options groupées par thème ; parfois une commande affichée dans le sous-menu affiche un sous-menu imbriqué.

Barre d'outils



La barre d'outils est un type de menu dans lequel toutes les options sont représentées de façon symbolique par des icônes. Le menu principal affiche seulement les icônes de base.

Les barres d'outils sont organisées de façon analogue à l'organisation des menus déroulants. Un clic du bouton gauche de la souris sur certains icônes de la barre d'icônes principale provoque l'exécution d'une opération (enregistrement, impression, aperçu de l'impression, copie, retour à la vue initiale etc.) ou ouvre une boîte de dialogue (type d'analyse) ou encore appelle une barre d'outils auxiliaire (définition de la structure, opérations d'édition graphique de la structure, outils).

Exemple : afin d'ouvrir la boîte de dialogue **Lignes de construction** dans laquelle vous pouvez définir les lignes de construction, il faut :

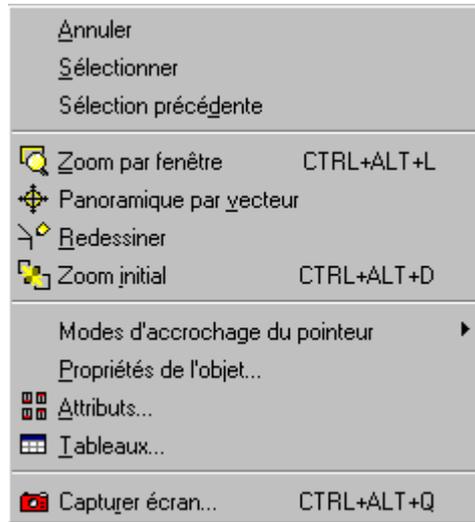
- dans le menu déroulant *Structure*, sélectionner la commande *Lignes de construction*,
- ou cliquer sur l'icône  affichée dans la barre d'outils verticale à droite de la fenêtre du logiciel (du bureau **DEMARRAGE**).

L'exécution des deux actions appelle la même boîte de dialogue.

*ATTENTION : dans le système **Robot Millennium**, la forme de la liste des menus déroulants varie en fonction des besoins des modules spécifiques (définition de la structure, consultation des résultats, dimensionnement). Le menu affiché à l'écran est le menu relatif à la fenêtre/boîte de dialogue active (tableau, éditeur graphique etc.). Afin de modifier l'aspect du menu, il faut activer une autre fenêtre, tableau, etc.*

Menu contextuel :

Lors du travail dans l'éditeur graphique ou dans un tableau, un clic sur le bouton droit de la souris ouvre un menu contextuel supplémentaire qui affiche les commandes les plus souvent utilisées. Par exemple, la figure ci-dessous représente le menu contextuel qui s'ouvre après un clic droit sur la zone graphique du bureau **DEMARRAGE** (ce menu est affiché pour les structures de type portique plan).



Les menus, menus contextuels, touches de raccourci clavier et les barres d'outils définis dans le système **Robot Millennium** peuvent être personnalisés. Vous pouvez le faire après avoir sélectionné une des commandes du menu déroulant *Outils/Personnaliser*. Le logiciel ouvre alors une boîte de dialogue permettant de personnaliser les menus, les menus contextuels, les touches de raccourci clavier et les barres d'outils selon vos habitudes et vos besoins.

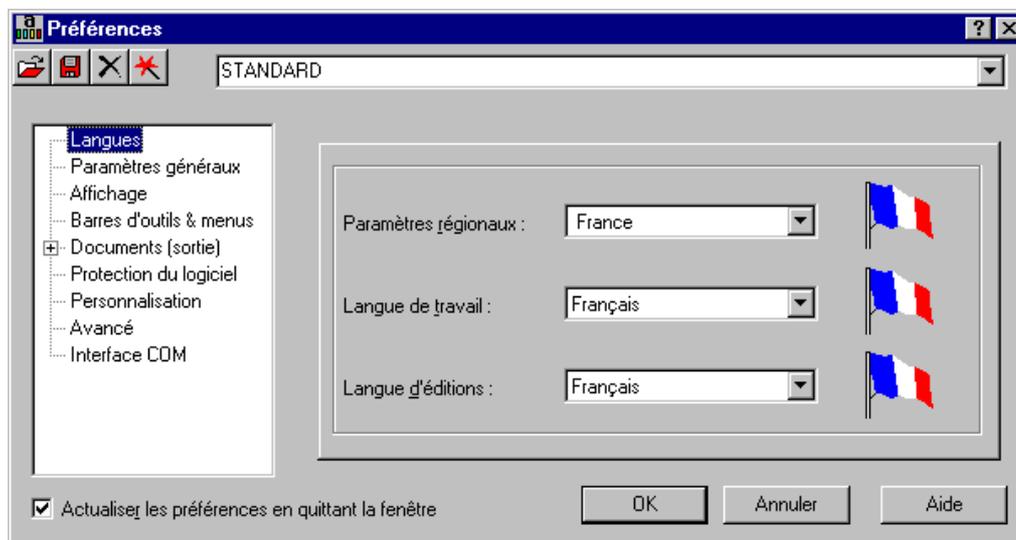
2.2.3. Préférences et Préférences de l'affaire

Afin de définir les paramètres de travail du système **Robot Millennium**, vous pouvez utiliser deux options : *Préférences* et *Préférences de l'affaire*.

Dans la boîte de dialogue **Préférences**, représentée sur la figure ci-dessous, vous pouvez définir les paramètres de base du logiciel. Afin d'ouvrir la boîte de dialogue **Préférences**, vous pouvez procéder de deux manières, à savoir :

- dans le menu déroulant *Outils*, sélectionner la commande *Préférences*,
- ou, sur la barre d'outils principale, cliquer sur l'icône **Outils** , puis dans la barre

d'outils **Outils** , cliquer sur l'icône **Préférences** .



La boîte de dialogue représentée ci-dessus se divise en plusieurs parties, notamment :

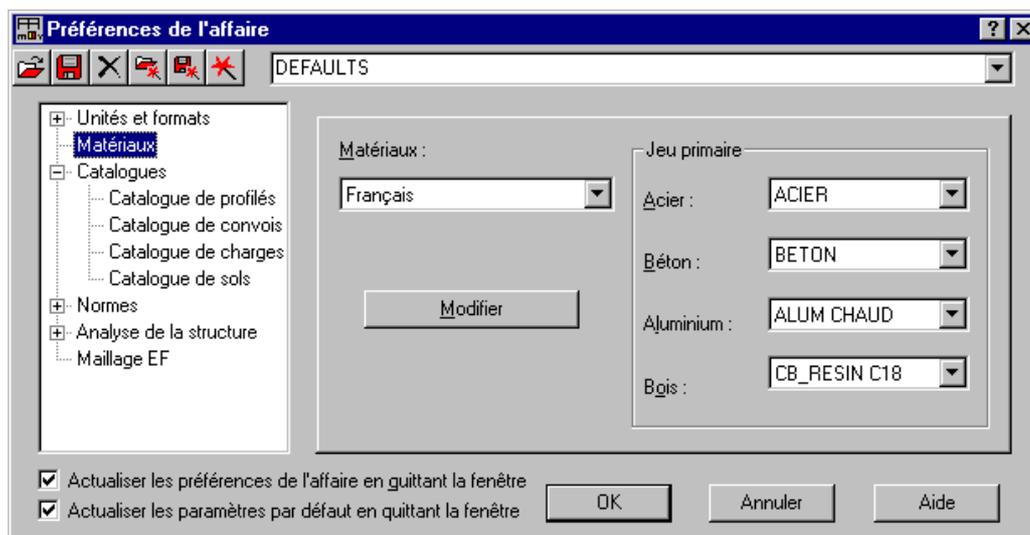
- la partie supérieure de la boîte de dialogue regroupe quatre icônes et le champ de sélection de fichiers de préférences, (par défaut le nom des préférences actuelles est affiché). Dans ce champ, vous pouvez sélectionner un fichier de préférences existant, pour cela, cliquez sur la flèche à droite de ce champ et sélectionnez les préférences appropriées à vos besoins dans la liste qui se déroule,
- la partie gauche de la boîte de dialogue **Préférences** contient une arborescence qui affiche la liste des options que vous pouvez personnaliser, pour cela, cliquez avec le bouton gauche de la souris sur l'option que vous voulez modifier :
 - **Langues** : sélection des paramètres régionaux (pays dont les normes, matériaux et règlements seront utilisés lors de la définition, des calculs et du dimensionnement de la structure), sélection de la langue de travail et de la langue des impressions,
 - **Paramètres généraux** : paramètres de l'enregistrement, nombre des dernières structures étudiées à afficher dans le menu fichier, créer une copie de sauvegarde.bak, astuces du jour au démarrage, effets son etc.,
 - paramètres de l'**Affichage** : sélection des couleurs et des types de polices pour chaque élément de l'écran,
 - **barres d'outils et menus** : sélection des types de menu et du type de barres d'outils,
 - paramètres de l'impression (**Documents (sortie)**) : sélection des couleurs et des polices à utiliser dans la documentation imprimée, échelle, épaisseur des traits,
 - paramètres de la **Protection du logiciel** : gestion de la protection, personnalisation ;
 - **Personnalisation** : permet d'apposer votre nom ;

- **Avancé** : options permettant de purger le dossier TEMP de l'ordinateur et de sélectionner les opérations d'édition basées sur le noyau ACIS qui servent à effectuer les opérations booléennes ;
- **Interface COM** : présentation des logiciels/modules supplémentaires enregistrés.
- la partie droite de la boîte de dialogue **Préférences** contient la zone dans laquelle vous pouvez définir les paramètres spécifiques du logiciel, l'aspect de cette zone varie en fonction de la sélection effectuée dans l'arborescence de gauche.

Dans la boîte de dialogue **Préférences de l'affaire** représentée sur la figure ci-dessous, vous pouvez définir les paramètres de base utilisés par le logiciel dans l'affaire actuelle. Afin d'ouvrir la boîte de dialogue **Préférences de l'affaire**, vous pouvez procéder de deux manières, à savoir :

- dans le menu déroulant **Outils**, sélectionner la commande **Préférences de l'affaire**,
- ou, sur la barre d'outils principale, cliquer sur l'icône **Outils** ,

d'outils **Outils** , cliquer sur l'icône **Préférences de l'affaire** .



L'aspect et le fonctionnement de cette boîte de dialogue sont analogues à ceux de la boîte de dialogue **Préférences**. Dans cette boîte de dialogue, **Préférences de l'affaire**, vous pouvez définir les options suivantes :



- **Unités et formats** des nombres : dimensions, forces, édition des unités,
- **Matériaux** : sélection des jeux de matériaux selon la liste de pays, possibilité de définir des matériaux utilisateur,
- **Catalogues de profilés** : sélection des catalogues de profilés à utiliser,
- **Catalogues de convois** : sélection des catalogues de convois à utiliser,
- **Catalogues de charges** : sélection des catalogues de charges utilisés dans l'option *Descente de charges* (charges sur structures),
- **Catalogues de sols** : sélection des catalogues contenant la liste de sols
- **Normes** : sélection des normes utilisées lors de la définition et du dimensionnement de la structure (charges climatiques, dimensionnement acier, dimensionnement béton armé, dimensionnement des assemblages),
- paramètres de l'**Analyse de la structure** : options de définition du mode de calcul en statique, définition des paramètres de base des calculs en dynamique ou non-linéaires, possibilité d'enregistrer les résultats de l'analyse sismique – combinaisons des cas sismiques)
- **Maillage EF** : paramètres de la génération du maillage par éléments finis pour les structures de type plaque et coque.

2.2.4. Sélection et filtres

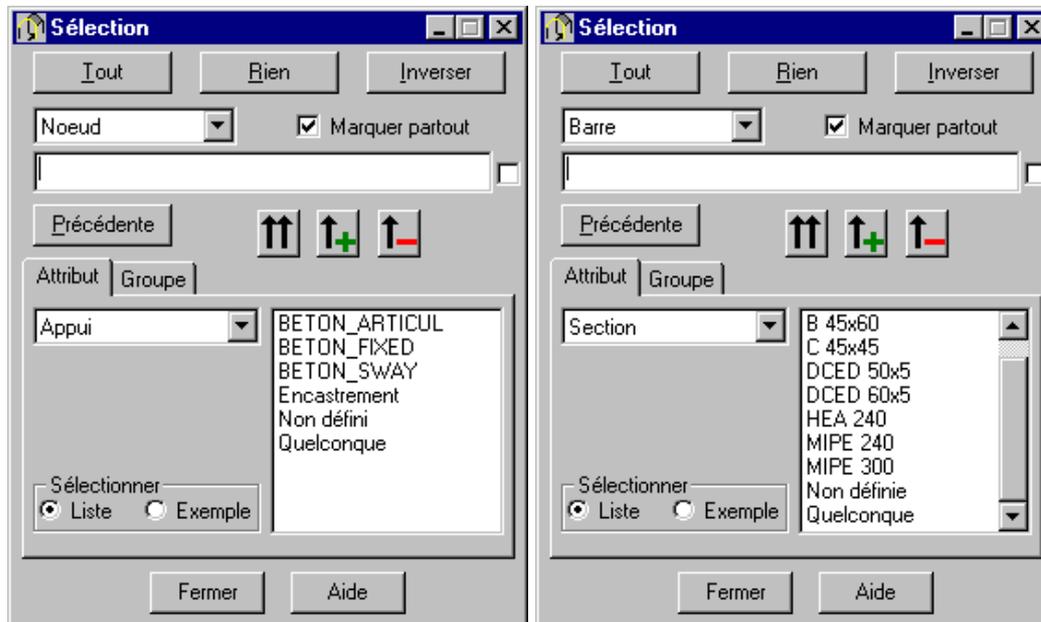
Lors du travail avec les différents modules de *Robot Millennium*, vous utiliserez assez souvent les options de sélection. Leur fonction est de définir la liste de nœuds et de barres sur laquelle vous effectuerez plus tard des opérations d'édition. Le procédé de sélection est de créer un ensemble de barres ou de nœuds qui restera actif jusqu'au moment où vous aurez effectué une sélection suivante. La sélection peut être effectuée de plusieurs façons :

- en mode graphique :
 - soit dans le menu déroulant *Edition/Sélection spéciale* puis cliquer sur le mode de sélection,
 - soit dans le menu contextuel (clic sur le bouton droit dans la fenêtre de la vue) puis cliquer sur *Sélectionner*,

Les captures par fenêtres, de la droite vers la gauche, sélectionnent tous les éléments pris (même en partie) dans le cadre, alors que les captures de la gauche vers la droite ne sélectionnent que les éléments compris entièrement dans le cadre,

- dans la boîte de dialogue *Sélection* (cette boîte de dialogue peut être appelée dans le menu déroulant *Edition/Sélectionner*)(cf. page suivante),
- dans les zones de liste déroulante de sélection de nœuds et de barres affichées dans la barre d'outils : dans ces champs vous pouvez saisir les barres/nœuds à sélectionner, sélectionner ou de sélectionner tous les nœuds/barres,
- dans les différents tableaux : mise en surbrillance des lignes appropriées avec la touche Ctrl ou en faisant glisser la souris.

La sélection est identique dans tous les bureaux, les tableaux et dans toutes les fenêtres de l'éditeur graphique. Après la sélection de barres et/ou nœuds effectuée dans l'éditeur graphique, la sélection sera mise en surbrillance dans le tableau de nœuds et de barres ; de même, une sélection de nœuds et/ou barres effectuée dans un tableau sera visualisée dans les fenêtres de l'éditeur graphique.



Dans cette boîte de dialogue vous pouvez définir la sélection de nœuds et/ou barres. Pour ce faire, vous pouvez utiliser les boutons affichés dans la partie supérieure de la fenêtre (Tout, Rien, Inverser, Précédente) ou les options affichées dans l'onglet *Attributs*. Les barres/nœuds sélectionnés seront inscrits dans la partie supérieure de la boîte de dialogue *Sélection*. Dans des situations spécifiques, cette boîte de dialogue peut être ouverte dans un mode spécial, par exemple celui de sélection de barres uniquement.

L'aspect de la partie inférieure de la boîte de dialogue *Sélection* varie en fonction de l'objet sélectionné.

Afin d'effectuer la sélection, vous devez effectuer les actions suivantes :

- désignez l'objet à sélectionner (nœud, barre, cas de charge, mode propre),
- dans le champ spécifique saisissez les numéros des objets à sélectionner ou utilisez à cet effet les options affichées dans la partie inférieure de la boîte de dialogue **Sélection**.

A droite du champ dans lequel la liste des nœuds sélectionnés est affichée, une case à cocher vous permet de choisir le mode de définition de la sélection. La case peut être cochée ou vide. Si la case n'est pas cochée, le champ de sélection de nœuds dans lequel l'appui quelconque est défini sera rempli par les numéros des nœuds dans lesquels un appui quelconque donné a été défini (cf. la figure ci-dessous).



Si la case est cochée, le champ de sélection des nœuds dans lequel un appui quelconque a été défini affichera le texte *Appui=Quelconque* (conf. la figure ci-dessous).



La différence dans le fonctionnement des deux boutons affichés dans la boîte de dialogue est que :

- un clic sur le bouton  ajoute les objets sélectionnés à la sélection actuelle,
- un clic sur le bouton  remplace la sélection actuelle par les numéros des objets sélectionnés.

Dans le logiciel, il faut distinguer la sélection des objets et les filtres qui définissent quels objets (nœuds, barres, cas de charge et modes propres) doivent être affichés. Le filtre est différent pour chaque fenêtre de l’éditeur graphique ou pour chaque tableau. L’application du filtre peut être effectuée dans les tableaux après l’ouverture de la boîte de dialogue **Filtres** (commande *Filtres* disponible dans le menu *Affichage*). Dans les fenêtres de l’éditeur graphique, les filtres peuvent être appliqués seulement aux cas de charges et aux modes propres.

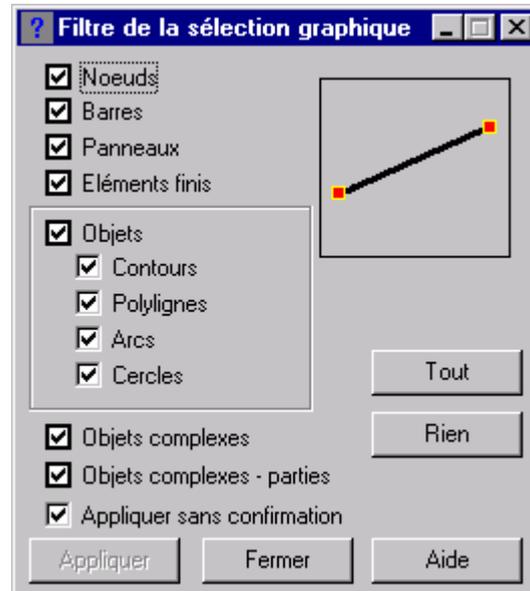
Afin d’appliquer les filtres dans les champs d’édition, il faut :

- ouvrir la boîte de dialogue **Sélection** et sélectionner les cas de charge ou les modes propres,
- sélectionner le cas de charge ou le mode propre voulu dans la liste de cas de charge et de modes propres affichés dans la barre d’outils.

Dans le logiciel, vous disposez également de l’option (*Résultats-filtres*), qui sert à la sélection globale des résultats obtenus pour les nœuds, barres, etc., définis dans la structure. La description de cette option est présentée dans le chapitre 4.3.

La description de l’utilisation des filtres dans les tableaux est donnée dans le chapitre 5.2.

L’utilisateur peut sélectionner les éléments de la structure à créer qui seront soumis à la sélection graphique sur l’écran graphique du logiciel. Cela est possible grâce à l’option *Filtre de la sélection graphique*. La boîte de dialogue s’ouvre après la sélection de la commande à partir du menu contextuel : *Edition/Sélection spéciale/Filtre de la sélection graphique*. Après la sélection de cette option, la boîte de dialogue présentée ci-dessous s’affiche.



Dans la boîte de dialogue ci-dessus, les options qui permettent de sélectionner les éléments de la structure qui pourront être sélectionnés sur l'écran graphique, sont disponibles. Si une option (par ex. nœuds) n'est pas cochée dans la boîte de dialogue, les nœuds de la structure ne seront pas sélectionnés sur l'écran graphique. Si l'option est cochée (elle est alors accompagnée d'un symbole) , lors de la sélection graphique, les nœuds de la structure sont sélectionnés.

2.2.5. Affichage des attributs de la structure

La boîte de dialogue *Affichage des attributs* sert à sélectionner les attributs de la structure qui seront affichés à l'écran.

La commande est accessible par :

- le menu déroulant *Affichage*, commande *Attributs...*,
- l'icône  se trouvant en bas, à gauche de l'écran.

Il apparaît alors la boîte de dialogue représentée ci-dessous :



La sélection d'un onglet se trouvant dans la partie supérieure de la boîte de dialogue actualise la liste d'options groupées par thème.

Vous pouvez sélectionner les onglets *Structure*, *Profilés*, *Charges*, *Avancés*, *EF*, *Arrêtes cachées* et *Autres*.

Chaque onglet regroupe les options permettant d'afficher les attributs spécifiques de la structure. La figure ci-dessus présente à titre d'exemple les options affichées dans la boîte de dialogue après la sélection de l'onglet *Structure*. Pour afficher les attributs de la structure à l'écran graphique, il faut activer les attributs appropriés dans les onglets de la boîte de dialogue et cliquer sur le bouton **Appliquer**.

La partie inférieure de la boîte de dialogue *Affichage des attributs* regroupe les boutons :

- **Tout** - Un clic sur ce bouton active toutes les options de la boîte de dialogue *Affichage des attributs* c'est-à-dire que tous les attributs définis dans la structure seront affichés.
- **Rien** - Un clic sur ce bouton désactive toutes les options de la boîte de dialogue *Affichage des attributs* c'est-à-dire qu'aucun attribut défini dans la structure ne sera affiché.
- **Par défaut** - Un clic sur ce bouton rétablit l'affichage standard des attributs de base de la structure, à savoir :

- Dans l'onglet *Structure* :
 - Structure
- Dans l'onglet *Autres* :
 - Lignes de construction
 - Description des lignes de construction
 - Grille
 - Règle
 - Objets en dehors du plan
- Dans l'onglet *EF* :
 - Contours du panneau
 - Numéros et descriptions des panneaux
 - Composant des contours
 - Éléments finis
- Dans l'onglet *Arêtes cachées*.
 - Rien
- De même, cette partie de la boîte de dialogue affiche l'option *Taille des symboles* permettant de définir la taille des attributs de la structure affichée à l'écran, la taille par défaut est égale à 3 (échelle de 1 à 10).

ATTENTION : Un clic sur le bouton  affiché dans le coin gauche en bas de l'écran permet de rétablir les paramètres par défaut pour les attributs de structure affichés à l'écran.

Remarques :

La taille des symboles peut également être modifiée par la suite à l'aide des touches «page supérieure» et «page inférieure».

2.2.6. Listes utilisées dans le logiciel

Lors du travail avec *Robot Millennium*, dans certains cas (définition des appuis, affectation des sections aux barres, définition des charges etc.) il est commode d'utiliser les listes de certaines grandeurs.

Pour faciliter la définition des listes de nœuds, barres, panneaux, objets, cas de charge, modes propres etc., vous pouvez utiliser les descriptions des listes ci-dessous.

Les listes des grandeurs peuvent être définies de plusieurs façons :

- vous pouvez spécifier tous les numéros appartenant à la liste :

2 3 6 7 12 14

- vous pouvez utiliser les définitions abrégées (commandes **A** et **PAS**):

6**A**10 désigne la chaîne de numéros : 6 7 8 9 10

6**A**10**PAS**2 désigne la chaîne de numéros : 6 8 10

- vous pouvez utiliser les expressions contenant des répétitions et le pas de la répétition (commande **R**) :

4**R**3 désigne la chaîne de numéros : 4 5 6 7 (par défaut, le pas est égal à 1),

4**R**3**PAS**2 désigne la chaîne de numéros : 4 6 8 10 (ici, la valeur du pas est égale à 2).

- vous pouvez exclure une partie de la liste - opération **EXC** :

1**A**58 **EXC** 44 49 52

désigne la liste des éléments suivants : 1**A**43 45**A**48 50 51 53**A**58

Dans la définition de la liste, la commande **EXC** peut être utilisée seulement une fois.

Dans le cas de la définition d'une liste des composants de l'objet générés à l'aide des options *Extrusion*, *Révolution*, *Extrusion suivant polyligne* la syntaxe suivante doit être respectée :

numobjet_partobjet(liste_de_parties_de_lobjet)

où :

numobjet - numéro de l'objet soumis aux opérations d'extrusion ou de révolution

partobjet - dans la présente version du logiciel, trois possibilités sont disponibles : coté (COTE), bord (BORD) et l'image de l'objet après la modification (REF)

liste_de_parties_de_lobjet - liste de composants de l'objet (les listes respectent les règles données ci-dessus).

A titre d'exemple, la syntaxe des opérations sur les listes est donnée ci-dessous :

2_REF(1,2,5)

1_COTE (3**A**7)

4_BORD(5**A**8,11).

2.2.7. Caractéristiques communes des boîtes de dialogue (pointeur de la souris, calculatrices)

Dans le système *Robot Millennium*, de nombreuses fonctionnalités ont été implémentées afin de faciliter votre travail lors de la définition de la structure. Le pointeur de la souris peut prendre des formes différentes en fonction de l'opération en cours d'exécution :

- lors de l'opération de sélection, le pointeur prend une forme spécifique ;
- lors de la définition des barres et des nœuds, le pointeur se transforme en une croix (mire) ;
- lors de l'affectation des attributs (appuis, section, relâchements etc.), le pointeur est accompagné du symbole de l'attribut à affecter.

De plus, lors de la définition des barres/nœuds, les champs appropriés des boîtes de dialogue *Nœuds* ou *Barres* affichent les coordonnées actuelles de la position du pointeur dans la fenêtre de l'éditeur graphique.

Dans les boîtes de dialogue, le champ actif est mis en surbrillance. Les champs qui n'affichent qu'une valeur numérique peuvent être mis en surbrillance en trois couleurs différentes : vert, jaune ou rouge.

- Si le fond du champ actif est vert, la valeur saisie est correcte ;
- Si le fond est jaune ou rouge, la valeur est incorrecte. Le jaune signifie que la valeur affichée dans le champ actif n'appartient pas au domaine conseillé mais elle reste acceptable ; le rouge signale que la valeur est inadmissible dans le logiciel.

Tous les champs d'édition affichés dans les boîtes de dialogue acceptent les formats des nombres définis dans la boîte de dialogue *Préférences* (unités, formats des nombres). Dans le cas où le champ d'édition accepterait seulement une valeur, vous pouvez saisir cette valeur accompagnée d'une unité quelconque qui, après que vous aurez appuyé sur la touche "=", sera convertie de façon automatique à l'unité par défaut définie dans le système *Robot Millennium*.

Exemple : 120mm = se transforme en 0,12 si l'unité courante est le mètre.

Dans le système *Robot Millennium*, une calculatrice intégrée est accessible. Vous pouvez la lancer soit après la sélection de la commande *Calculatrice* accessible dans le menu *Outils* soit par un double clic sur-le-champ d'édition affiché dans la boîte de dialogue. Dans les champs d'édition, vous pouvez utiliser la calculatrice des expressions arithmétiques intégrée dans le logiciel. Après avoir saisi l'expression dans le champ d'édition et après avoir appuyé sur la touche "=", la valeur de cette expression sera calculée.

2.2.8. Conventions des signes

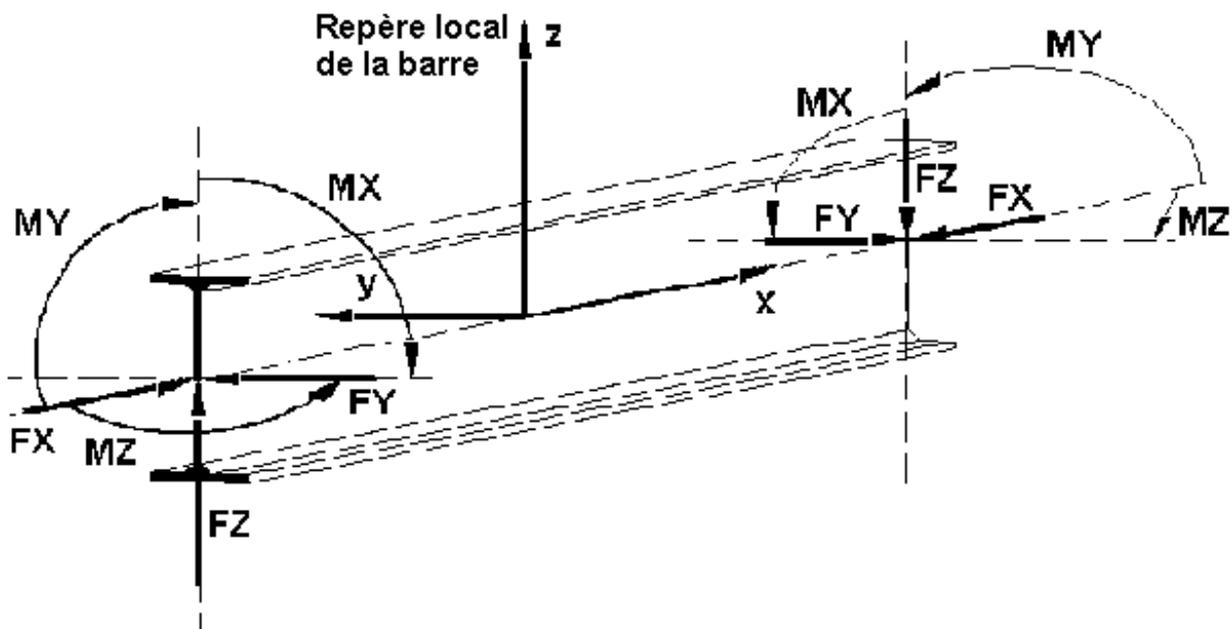
L'orientation des vecteurs et des déplacements positifs est conforme au sens des axes. L'orientation positive des angles, rotations et moments dans le repère local ou global sont définie d'après la règle du boulon fileté à droite. Cette convention définit les signes des efforts externes, forces nodales, déplacements et rotations. Toutes ses grandeurs sont utilisées lors de la définition de la structure, lors des calculs et pendant la présentation des résultats.

Pour définir les signes des efforts internes agissant dans les éléments spécifiques, vous pouvez adopter une convention de signes différente. Les conventions de signes utilisées dans le logiciel pour les efforts internes dans les éléments de type barre et pour les éléments finis surfaciques.

2.2.9. Conventions des signes - barres

Dans le logiciel, la convention de signes pour les éléments barres est basée sur la convention des forces sectorielles. Suivant cette règle, le signe des efforts sectoriels est le même que celui des forces nodales positives appliquées à l'extrémité de l'élément produisant les mêmes effets (il s'agit des efforts dont l'orientation est conforme à l'orientation des axes du système local). Par conséquent, les efforts de compression sont positifs et les efforts de traction sont négatifs. Les moments fléchissants positifs M_Y provoquent la traction des fibres de la poutre se trouvant du côté négatif de l'axe local z . Les moments fléchissants positifs M_Z provoquent la traction des fibres de la poutre se trouvant du côté positif de l'axe local « y ».

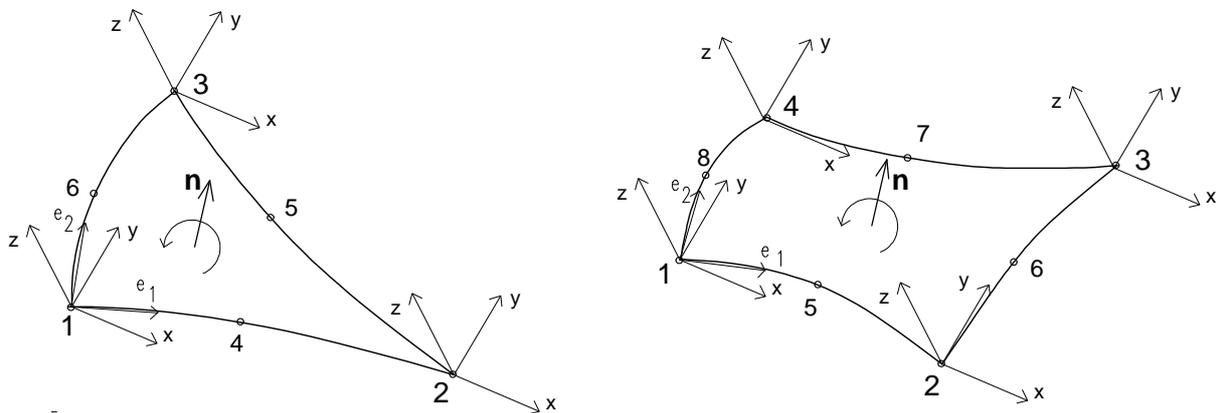
Pour la convention de signes décrite, les sens positifs des efforts sont représentés de façon schématique sur la figure ci-dessous.



2.2.10. Conventions des signes – éléments finis surfaciques

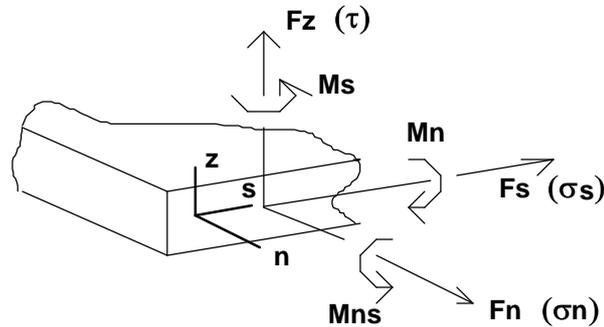
Vous n'êtes pas obligé de connaître le repère local de l'élément, car chaque nœud de l'élément de ce type possède son propre repère local. Pourtant il est important de connaître la direction du vecteur normal à la surface de l'élément fini (la même direction pour tous les éléments, si possible) car dans le cas contraire, la définition de la charge appliquée à l'élément peut être incorrecte (par exemple la pression perpendiculaire à la surface de l'élément de type coque).

L'orientation du vecteur normal (perpendiculaire à la surface de l'élément fini) est définie conformément à la règle du boulon fileté à droite (à partir du premier vers le dernier nœud de l'élément). Les repères locaux et l'orientation du vecteur perpendiculaire à l'élément sont représentés sur la figure ci-dessous ; les éléments finis à 6 et à 8-nœuds ont été pris à titre d'exemple.

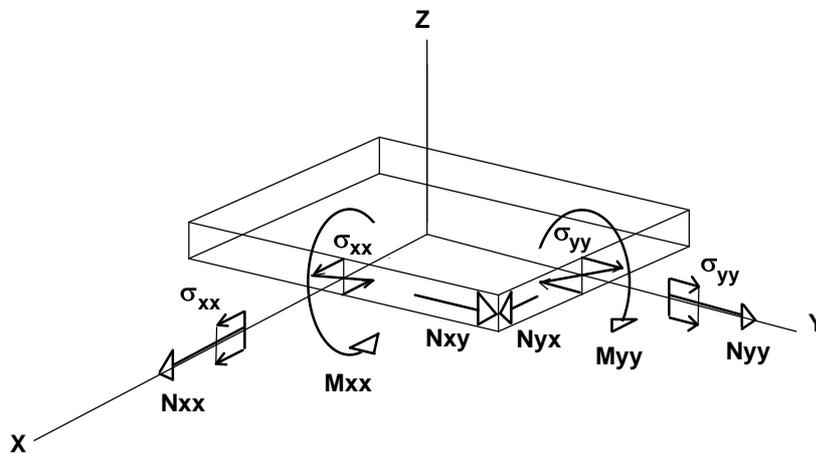


Pour les éléments finis, vous pouvez obtenir les contraintes et les efforts dans l'élément. Les grandeurs en question sont définies seulement par rapport à la direction locale normale et tangente à la section transversale. Si l'on prend les désignations suivantes : \mathbf{n} - vecteur normal à la surface de la section de l'élément, \mathbf{s} - vecteur tangent à la surface de la section et \mathbf{z} - ligne normale à la surface de l'élément, les trois vecteurs définis (\mathbf{n} , \mathbf{s} , \mathbf{z}) forment un repère cartésien selon la règle du boulon à filet droit. Les sens positifs des efforts, moments et contraintes agissant dans la section transversale donnée est définie conformément à l'orientation des vecteurs \mathbf{n} , \mathbf{s} , \mathbf{z} .

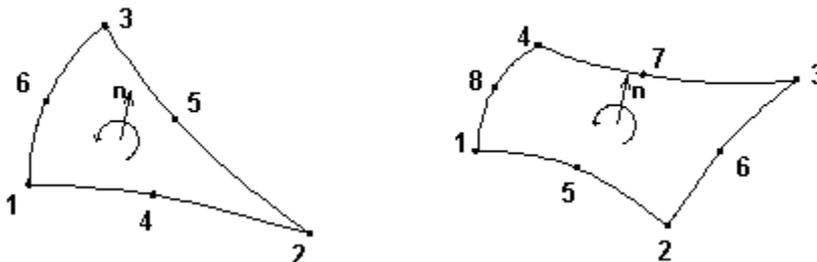
La convention décrite ci-dessus est représentée de façon schématique sur la figure suivante. Les efforts, moments et contraintes représentés sur le dessin ont le signe positif.



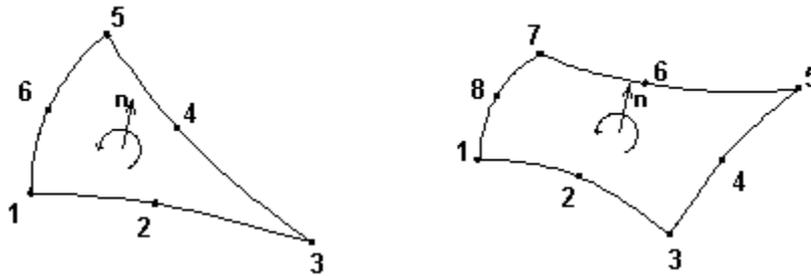
Les résultats obtenus pour les éléments finis surfaciques sont présentés dans les systèmes locaux pouvant être définis et modifiés par l'utilisateur dans chaque moment de la présentation des résultats. Par exemple, l'orientation positive des efforts et des contraintes dans le nœud est représentée sur la figure ci-dessous pour l'axe X pris comme direction de référence.



Dans la syntaxe du fichier texte, les éléments finis surfaciques à 6 et à 8 nœuds sont définis de la façon suivante : tout d'abord les nœuds aux sommets et, ensuite les nœuds au milieu des bords spécifiques des éléments finis surfaciques (conf. la figure ci-dessous).

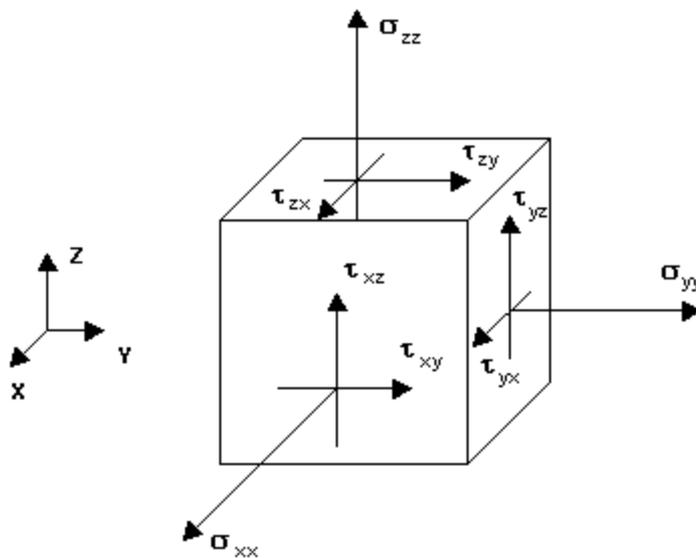


Lors de la présentation des résultats pour les éléments finis surfaciques à 6 et à 8 nœuds, un autre principe est adopté : les nœuds formant l'élément sont numérotés l'un après l'autre : nœud sommet, nœud au centre du bord, nœud sommet etc. (conf. la figure ci-dessous).



2.2.11. Conventions des signes – éléments finis volumiques

Les structures volumiques dans le logiciel Robot sont modélisés à l'aide des éléments finis volumiques isoparamétriques avec une approximation du champ des déplacements par les fonctions de forme du premier rang. La convention des signes est présentée de façon schématique sur la figure ci-dessous. La convention est présentée pour les contraintes ; les contraintes représentées sur le dessin ont le signe positif.



2.2.12. Liste de raccourcis clavier

Action	Raccourci clavier
Sélectionner tout	Ctrl + A
copier du texte ou une image	Ctrl + C
ouvrir un nouveau projet	Ctrl + N
ouvrir un projet existant	Ctrl + O
lancer l'impression	Ctrl + P
enregistrer le projet	Ctrl + S
couper du texte ou une image	Ctrl + X
répéter l'opération	Ctrl + Y
coller du texte ou une image	Ctrl + V
annuler l'opération	Ctrl + Z
afficher la vue axonométrique de la structure (3D XYZ)	Ctrl + Alt + 0
projeter la structure sur le plan XZ	Ctrl + Alt + 1
projeter la structure sur le plan XY	Ctrl + Alt + 2
projeter la structure sur le plan YZ	Ctrl + Alt + 3
faire un zoom avant sur la structure affichée à l'écran	Ctrl + Alt + A
revenir à la vue initiale (l'échelle et les angles initiaux sont utilisés)	Ctrl + Alt + D
activer/désactiver l'éclatement de la structure	Ctrl + Alt + E
faire un zoom défini par fenêtre	Ctrl + Alt + L
activer/désactiver la présentation des croquis des profilés sur la vue de la structure	Ctrl + Alt + P
Capter l'écran	Ctrl + Alt + Q
faire un zoom arrière sur la structure affichée à l'écran	Ctrl + Alt + R
activer/désactiver la présentation des symboles des profilés sur la vue de la structure	Ctrl + Alt + S
Effectuer une rotation continue de la structure autour de l'axe X	Ctrl + Alt + X
effectuer une rotation continue de la structure autour de l'axe Y	Ctrl + Alt + Y
effectuer une rotation continue de la structure autour de l'axe Z	Ctrl + Alt + Z
Supprimer du texte ou une image	Suppr
obtenir de l'aide à propos de l'option activée dans la boîte de dialogue	F1
appeler le traitement de texte	F9
réduire la taille des attributs de la structure affichés à l'écran (appuis, numéros de nœuds, barres, charges)	PgSuiv
agrandir la taille des attributs de la structure affichés à l'écran (appuis, numéros de nœuds, barres, charges)	PgPréc

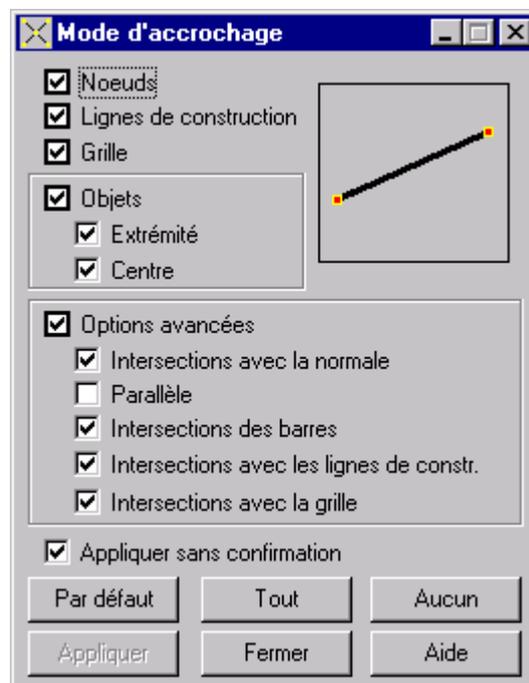
2.3. Mode d'accrochage du pointeur

Le mouvement du pointeur de la souris à l'écran graphique dépend du mode de pointeur. Les paramètres du mouvement du pointeur à l'écran graphique peuvent être définis dans la boîte de dialogue **Mode d'accrochage**.

La boîte de dialogue est accessible :

- après la sélection de la commande *Mode d'accrochage du pointeur* disponible dans le menu *Outils*
- après un clic sur l'icône **Mode d'accrochage du pointeur**  affichée dans le coin gauche en bas de l'écran.

Après la sélection d'une de ces options, le logiciel affiche la boîte de dialogue représentée ci-dessous.



La partie supérieure de la boîte de dialogue regroupe les trois modes de base de mouvement du pointeur :

- *Nœuds* - permet d'accrocher le pointeur de la souris seulement aux nœuds définis dans la structure. L'attention est attirée sur le fait qu'en ce mode, le pointeur n'est pas accroché aux objets de type polygones, contours etc. Pour obtenir cet effet, sélectionnez l'option *Objets*.
- *Lignes de construction* - permet d'accrocher le pointeur de la souris seulement dans les points d'intersection des lignes de construction définies par l'utilisateur (ATTENTION : les lignes de construction doivent être affichées à l'écran).

- *Grille* - permet d'accrocher le pointeur de la souris seulement dans les points de la grille affichée à l'écran (ATTENTION : la grille doit être affichée à l'écran). Le pas de la grille affichée à l'écran peuvent être modifié dans la boîte de dialogue **Espacement de la grille**.

La partie centrale de la boîte de dialogue regroupe les options de définition des paramètres du pointeur pour les objets (activation de l'accrochage aux barres, lignes, polylignes). Deux modes de pointeur sont disponibles :

- *Extrémités* - le pointeur est positionné aux extrémités des barres et des segments des objets. Si vous décochez la case *Extrémités*, l'option *Centre* ne sera pas disponible (elle ne peut pas être utilisée de façon indépendante).
- *Centre* - le pointeur est positionné dans les centres des barres et des segments des objets.

La zone située ci-dessous regroupe les options avancées de l'accrochage du pointeur. Les options en question permettent d'accrocher le pointeur dans les points d'intersection des barres et des normales. Une option utile est la possibilité de définir les lignes horizontales et verticales et de rechercher leurs intersections avec les barres ou lignes de construction.

Les modes suivants sont accessibles :

- *Intersections avec la normale* - pour déterminer les points d'accrochage du pointeur, le logiciel déterminera la ligne sortant du point sélectionné et normal aux barres et aux segments d'objets voisins.
- *Parallèle* - pour déterminer la ligne parallèle sortant du point origine de la barre et des segments des objets.
- *Intersections* - intersections des barres, segments des objets et extrémités des jarrets
- *Intersections avec la grille*, - intersections avec la grille affichée à l'écran (ATTENTION : la grille doit être visible !)
- *Intersections avec les lignes de construction* - Intersections avec les lignes de construction affichées à l'écran (ATTENTION : les lignes de construction doivent être visibles !)

La partie inférieure de la boîte de dialogue regroupe trois boutons :

- **Par défaut** - après un clic sur ce bouton, les options de base seront sélectionnées pour l'accrochage du pointeur, à savoir : *Nœuds, Lignes de construction, Grille, Objets - Extrémité, Options avancées - Intersections des barres*.
- **Tout** - après un clic sur ce bouton, toutes les options seront sélectionnées dans la boîte de dialogue **Mode d'accrochage**.
- **Aucun** - après un clic sur ce bouton, aucune option ne sera sélectionnée dans la boîte de dialogue **Mode d'accrochage**.



3. PRINCIPES GENERAUX DE DEFINITION DU MODÈLE DE LA STRUCTURE

3.1. Types de structures

Dans le système *Robot Millennium*, vous pouvez utiliser les éléments barres à deux nœuds, les éléments finis surfaciques utilisés pour la génération du maillage par éléments finis effectué pour les structures de type plaque et coque et les éléments volumiques utilisés pour la génération des structures volumiques. Vous pouvez définir les structures mixtes, les types d'éléments utilisés dépendent du type de la structure étudiée.

Actuellement, dans le système *Robot Millennium*, les types de structure accessibles sont les suivants :

- portique plan
- treillis plan
- portique spatial
- treillis spatial
- grillage
- plaque
- coque
- contrainte plane
- déformation plane
- structure axisymétrique
- structure volumique (solide)

De plus, le logiciel vous propose une importante bibliothèque de structures-types (structures à barres et structures de type plaque et coque), il suffit de saisir quelques paramètres caractéristiques (chapitre 3.14).

REMARQUE : Après l'import d'un fichier quelconque de type SSDNF, DXF, IGS, etc., il faut définir manuellement le type de structure. Le logiciel modifie automatiquement le type de structure (le type COQUE est défini).

3.2. Noeuds, barres

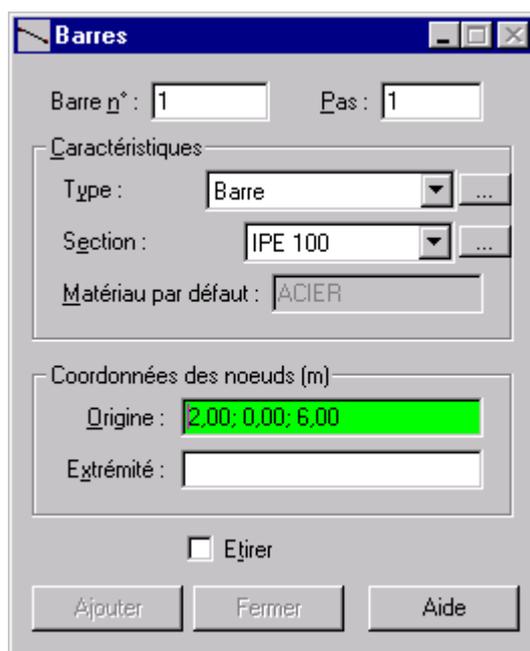
La définition de la structure à barre commence par la définition des nœuds et des barres. Il n'est pas nécessaire de définir les nœuds et ensuite les barres car la définition d'une barre provoque la création simultanée des nœuds à l'origine et à l'extrémité de la barre, par conséquent seule la définition des barres sera décrite.

Afin de créer les barres vous pouvez :

- sélectionner la commande *Barres...* dans le menu déroulant *Structure*,
- cliquer sur l'icône  affichée dans barre d'outils **Définition de la structure**,
- activer le bureau **BARRES**.

Si vous sélectionnez les bureaux **NOEUDS** ou **BARRES**, la fenêtre du logiciel sera divisée en trois parties : la fenêtre de l'éditeur graphique dans laquelle vous pouvez définir la structure, la boîte de dialogue *Nœuds* ou *Barres* et le tableau dans lequel les barres et / ou nœuds définis sont affichés.

Il apparaît alors la boîte de dialogue *Barres* représentée ci-après :



Le mode de définition des barres dépend du mode d'accrochage du pointeur.

Pour sélectionner le mode d'accrochage, placez le pointeur sur la fenêtre graphique et cliquez bouton droit, sélectionnez « mode d'accrochage » dans le menu contextuel.

Les modes d'accrochage accessibles sont :

- **Accrochage aux nœuds de la grille** - les coordonnées des nœuds de la grille sont définies (comportement analogique avec le mode **Aucun accrochage**) ;
- **Accrochage aux nœuds existants de la structure** - les numéros des nœuds de la structure sont définis ;
- **Accrochage aux lignes de construction** - les numéros de lignes sont définis
- **Accrochage automatique** – les nœuds peuvent être créés dans un lieu quelconque (**Robot Millennium** dispose d'un système élaboré de modes d'accrochage, par exemple normale à la barre et autres)

Hormis les informations sur le numéro de la barre et sur la position des nœuds à ses extrémités, dans la boîte de dialogue **Barres**, vous pouvez saisir des informations supplémentaires concernant les caractéristiques de la barre, à savoir :

- Type de barre
- Section transversale de la barre (profilé)
- Matériau par défaut (ce champ n'est pas accessible pour l'édition, il affiche le matériau défini pour la section de barre sélectionnée).

ATTENTION : Dans la partie supérieure de la boîte de dialogue, deux boutons  sont affichés (à droite des champs Type de barre et Section. Un clic sur un de ces boutons ouvre respectivement la boîte de dialogue **Type de barre** ou **Nouvelle section**. Dans ces boîtes de dialogue vous pouvez définir un nouveau type de barre ou une nouvelle section. Les sections et les types de barres définis sont ajoutés à la liste des sections et types de barre actifs.

Il existe plusieurs façons de définir un élément barre :

- dans la boîte de dialogue, vous pouvez saisir le numéro de la barre et les coordonnées du début et de la fin de la barre, puis appuyer sur le bouton **Appliquer** ;
- vous pouvez cliquer sur le champ *Origine*, passer à l'écran graphique et cliquer avec le bouton gauche de la souris sur le point définissant l'origine et sur le point définissant l'extrémité de l'élément barre.

Vous pouvez combiner les deux méthodes lors de la définition des éléments barres.

Dans le logiciel, deux options : *Info-nœud* et *Info-barre* sont disponibles.

L'option sert à présenter les données de base et les résultats de calculs pour un nœud spécifique de la structure. Dans la boîte de dialogue **Propriétés du nœud**, la modification des paramètres du nœud est impossible.

ATTENTION : La présentation des paramètres ne peut être effectuée que pour un seul nœud. Si vous avez sélectionné plusieurs nœuds, les informations présentées dans la boîte de dialogue **Propriétés du nœud** concerneront le nœud dont le numéro est le plus petit.

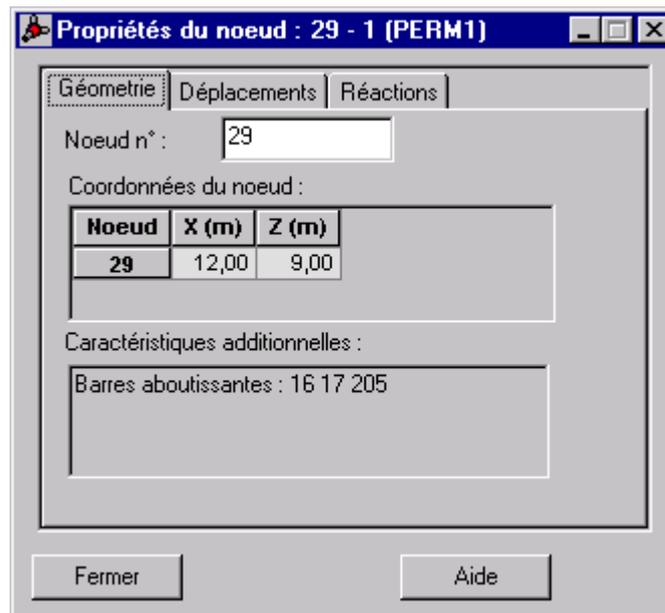
L'option est accessible après la mise en surbrillance (sélection) d'un nœud de la structure :

- à partir du menu *Résultats* sous-menu *Info*, option *Info-noeud* ou
- à partir du menu contextuel, commande *Propriétés de l'objet* (le menu contextuel s'ouvre dans la fenêtre graphique après un clic sur le bouton droit de la souris)

Sur la barre de titre de la boîte de dialogue, à côté de son nom (*Propriétés du nœud*), les informations suivantes sont affichées :

- numéro du nœud sélectionné
- numéro et nom du cas de charge sélectionné.

La boîte de dialogue **Propriétés du nœud** se compose de trois onglets : *Géométrie*, *Déplacements* et *Réactions*.



Le champ d'édition *Nœud n°* permet de sélectionner un nœud :

- en mode graphique, par un clic sur un nœud de la structure
- en mode texte, par la saisie du numéro de nœud dans le champ d'édition.

ATTENTION : Dans cette boîte de dialogue, l'édition du numéro de la barre n'est pas possible.

Sur l'onglet *Géométrie* présenté sur la figure ci-dessus, vous trouverez les informations de base sur le nœud sélectionné. Les autres onglets, à part le numéro du nœud, présentent les valeurs des déplacements ou des réactions calculées pour le nœud et le cas de charge sélectionné. Les déplacements sont présentés en forme de tableau. Si la sélection active contient plus d'un cas, le tableau affiche les valeurs extrêmes des déplacements.

ATTENTION : Le nombre de colonnes dans le tableau de déplacements et de réactions dépend du nombre de degrés de liberté dans le nœud pour le type de structure sélectionné.

L'option *Info-barre* sert à présenter les données de base et les résultats de calculs pour une barre spécifique de la structure. Dans la boîte de dialogue contenant les propriétés de la barre, il est possible de modifier certaines caractéristiques de la barre (type, section, matériau).

ATTENTION : La présentation des paramètres ne peut être effectuée que pour une seule barre.

L'option est accessible après la mise en surbrillance (sélection) d'une barre de la structure :

- à partir du menu *Résultats* sous-menu *Info*, option *Info-barre*
- ou
- à partir du menu contextuel, commande *Propriétés de l'objet* (le menu contextuel s'ouvre après un clic sur le bouton droit de la souris dans la fenêtre graphique).

Après la sélection de cette option, la boîte de dialogue contenant 5 onglets s'affiche sur l'écran : *Géométrie*, *Caractéristiques*, *NTM*, *Déplacements* et *Vérification*. Les deux premiers onglets présentent les informations générales sur la géométrie de la barre et sur les caractéristiques de la section transversale de la barre.

La partie supérieure des onglets *NTM* et *Déplacements* contient le diagramme de la valeur sélectionnée dans le champ *Diagramme*. Le diagramme ne peut présenter qu'une seule grandeur. Les diagrammes des grandeurs suivantes sont disponibles : forces FX, FY et FZ, moments MX, MY, MZ, contraintes Smax et Smin et déplacements. Les diagrammes sont redessinés si le cas de charge de la structure est changé.

ATTENTION : Le nombre de grandeurs accessibles dépend du type de structure.



Les options disponibles sur l'onglet Vérification dans la boîte de dialogue Propriétés de la barre servent à la vérification rapide de la résistance du profilé de la barre.

ATTENTION : Si les calculs de la structure n'ont pas été effectués (la barre de titre affiche l'information : Résultats MEF: non actuels), l'onglet n'est pas disponible.

Le contenu de l'onglet dépend du type de barre sélectionné : barre acier, aluminium ou bois barre BA (ferraillage théorique de la barre).

Le tableau peut afficher les valeurs de la grandeur sélectionnée ou bien les valeurs extrêmes. Si vous sélectionnez l'option *Valeur*, le logiciel affichera les valeurs de la grandeur sélectionnée dans le point aux coordonnées indiquées. Si le pointeur de la souris est mis dans le tableau sur-le-champ *dans le point* et, ensuite, déplacé vers le diagramme de la grandeur sélectionnée se trouvant dans la partie supérieure de la boîte de dialogue, le logiciel affiche une ligne verticale permettant de définir les valeurs des coordonnées pour lesquelles les valeurs seront présentées.

Si le pointeur de la souris est situé dans le tableau sur-le-champ *pour la barre* et, ensuite, déplacé vers la vue de la structure, la sélection d'une autre barre à l'aide de la souris entraîne la mise à jour du contenu de la boîte de dialogue ***Propriétés de la barre***.

Remarques :

Il ne faut pas définir les barres superposées, y compris les barres superposées partiellement. Les parties superposées sont supprimées dans la procédure de génération du modèle de calcul de la structure. Cette modification n'est pas représentée sur les vues de la structure. Pour détecter les barres en question avant de calculer la structure, utilisez la commande Vérifier structure disponible dans le menu déroulant *Analyse*.

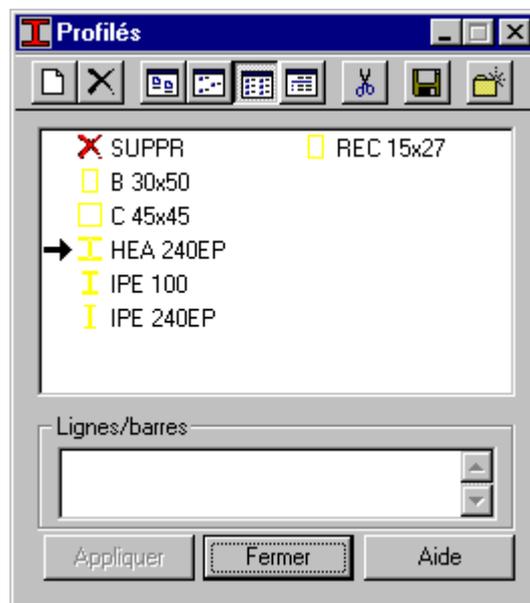
3.3. Sections de barres et matériaux

Après avoir défini la géométrie de la structure, vous devez affecter des sections aux barres si elles n'ont pas été affectées lors de la définition des barres.

Vous pouvez le faire de trois façons différentes :

- utilisez l'option *Barres* et sélectionnez le type de section approprié dans le champ *Section*
- sélectionnez la commande *Sections des barres...* dans le menu déroulant *Structure*, sous-menu *Sections* ;
- cliquez sur l'icône  affichée dans la barre d'outils **Définition de la structure**,
- Sélectionnez le bureau **SECTION ET MATERIAUX**.

Il apparaît alors la boîte de dialogue représentée ci-dessous :



La boîte de dialogue se compose de trois parties :

- les icônes de gestion
- le champ de liste active
- le champ de sélection actuelle (*Lignes/barres*) et les boutons standard (**Appliquer**, **Fermer**, **Aide**).

La partie supérieure de la boîte de dialogue contient les icônes représentées ci-dessous :

- =  - sert à définir un nouveau type de section
- =  - sert à supprimer le profilé sélectionné dans la liste active
- = , ,  et  - affichent la liste des sections actives en utilisant de grandes icônes, de petites icônes, une liste ou une liste détaillée.
- =  - supprime de la liste active les profilés non utilisés dans l'affaire.
- =  - enregistre dans le catalogue de profilés le profilé mis en surbrillance dans la liste active.
Le logiciel affiche alors la boîte de dialogue *Enregistrer dans le catalogue* dans laquelle vous pouvez sélectionner la base de données dans laquelle le profilé sera enregistré.
- =  - ouvre la boîte de dialogue *Gestionnaire de labels*

A l'occasion de la présentation de l'affectation des profilés aux barres, nous allons expliquer la méthode générale d'affectation des attributs dans la structure (appuis, excentremets, type de barre, etc.).

Le procédé d'affectation des profils aux barres de la structure est divisé en deux étapes :

1^{ère} étape : définition du type de profilé

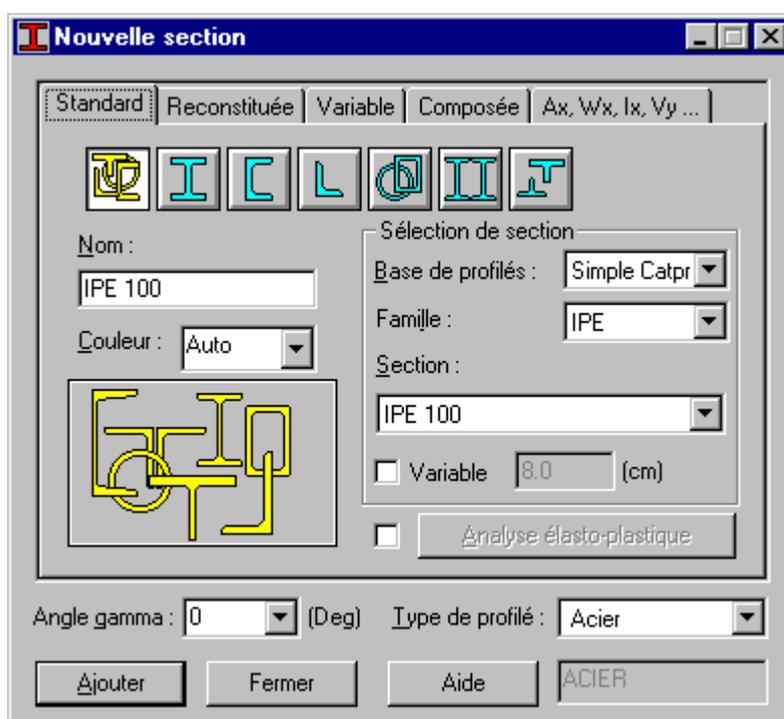
Si la liste de profilés active ne contient pas de type de profilé défini ou bien si vous voulez ajouter un profilé à la liste existante, il faut cliquer sur l'icône **Nouvelle section** : 

Deux situations sont alors possibles :

- Si aucun type de section n'est mis en surbrillance, un clic sur l'icône **Nouvelle section** ouvre la boîte de dialogue de définition des nouveaux types de profilés. Les champs du premier onglet proposent soit les paramètres du dernier profilé saisi (sauf le champ *Nom*) soit les paramètres par défaut ;
- Si un profilé est mis en surbrillance, un clic sur l'icône **Nouvelle section** ouvre la boîte de dialogue de définition des nouveaux types de profilés. L'onglet relatif au type de section mis en surbrillance sera activé. Tous les champs de l'onglet (à l'exception du champ **Nom**) proposent les paramètres d'après le type de profilé mis en surbrillance.

Vous pouvez également ouvrir la boîte de dialogue de définition des nouveaux profilés en faisant un double clic sur un élément se trouvant dans la liste des profilés actifs. Par conséquent, la boîte de dialogue **Nouvelle section** s'ouvre (veuillez vous référer à la figure ci-dessous), l'onglet correspondant au type de profilé sur lequel vous avez cliqué sera activé, le logiciel proposera les paramètres correspondants dans les champs d'édition. Après avoir effectué les modifications des paramètres du profilé, vous ajoutez ce profilé à la liste active (ou bien vous le mettez à jour) par un clic sur le bouton **Ajouter** ou en appuyant sur le touche <Entrée>.

Si le nom n'est pas modifié, le logiciel affichera un message d'avertissement. Cette option accessible dans la boîte de dialogue permet une modification facile des paramètres de la section. Les cinq onglets de cette boîte de dialogue sont : *Standard*, *Reconstituée*, *Composés*, *Variables* et *Ax, Wx, Ix, Vy*. L'onglet *Composés* sert à définir/sélectionner les profilés composés (profilés à plusieurs membrures). Les sections composées sont constituées de deux ou plusieurs membrures unies par des fourrures ou par des diagonales. Ces sections sont utilisées comme des profilés de fût de poteaux (profilés en U, profilés en I, cornières) ou comme des profilés de barres de diagonales (le plus souvent, des systèmes de cornières). La vérification réglementaire de la résistance des sections composées est effectuée de façon analogue avec celle des profilés à parois pleines avec la prise en compte de la rigidité équivalente dans la direction avec fourrures. La rigidité équivalente prend en compte l'influence des fourrures et l'élanement des membrures spécifiques. Lors de la vérification, la résistance des fourrures et des diagonales mêmes doit être vérifiée.



2^{ème} étape : Affectation de la section aux barres faisant partie de la structure

L'affectation d'une section aux barres de la structure peut être effectuée de plusieurs manières (en supposant que la liste de sections actives contienne au moins un type de barre) :

- Si avant l'ouverture de la boîte de dialogue **Section** aucune sélection n'a été effectuée, afin d'affecter une section il faut mettre en surbrillance le type de section voulu se trouvant dans la liste active, et ensuite déplacer le pointeur de la souris vers l'écran graphique et indiquer la barre (par un clic sur le bouton gauche de la souris) à laquelle vous voulez affecter la section. Après cela, la section est affectée ; le type de section affecté est mis en évidence sur la liste active (une flèche apparaît à gauche du symbole de



la section) ; quand le pointeur est situé hors de la boîte de dialogue (c'est-à-dire sur l'écran graphique) il prend la forme de l'icône de la section à affecter. Après le passage de la boîte de dialogue à l'écran, la barre la plus proche de la position du pointeur sera mise en surbrillance (le logiciel réagit ainsi lors de l'affectation aux objets d'un attribut quelconque) ;

- Si avant l'ouverture de la boîte de dialogue **Section** une sélection a été effectuée, lors de l'ouverture de la boîte de dialogue en question la liste des objets sélectionnés est affichée dans le champ du groupe *Sélection actuelle* ; afin d'affecter un type de section aux barres listées dans ce champ, vous devez mettre en surbrillance le type de section voulu se trouvant dans la liste active et ensuite appuyer sur la touche <ENTREE> ou le bouton **Appliquer**. Une fois cette opération effectuée, la section sera affectée.

ATTENTION : La liste des barres sélectionnées disparaît du champ d'édition Sélection actuelle.

Si avant l'ouverture de la boîte de dialogue *Section* aucune sélection n'a été effectuée et qu'il est nécessaire de l'effectuer avec la boîte de dialogue en question ouverte, vous devez activer le champ d'édition *Sélection active* (vous devez y placer le curseur). Par conséquent, si vous déplacez le pointeur en dehors de la boîte de dialogue (c'est-à-dire vers l'écran graphique), le mode de sélection sera activé. Vous pourrez alors sélectionner des barres quelconques de la structure, leurs numéros seront affichés dans le champ d'édition *Sélection actuelle*. Afin d'affecter un type de section aux barres listées dans ce champ, vous devez mettre en surbrillance le type de section voulu se trouvant dans la liste active et ensuite appuyer sur la touche <ENTREE> ou le bouton **Appliquer**. Une fois cette opération effectuée, la section sera affectée.

ATTENTION : La liste des barres sélectionnées disparaît du champ d'édition Sélection actuelle.

Après l'exécution de la commande, si vous voulez supprimer un profilé affecté à une barre de la structure, vous devez utiliser le profilé zéro (icône **Supprimer**) toujours présent dans la liste active. Le profilé zéro ne peut pas être modifié ; vous pouvez l'affecter à une barre de la même façon que pour un profilé réel.

Dans la boîte de dialogue ci-dessus, le bouton **Analyse élasto-plastique** est disponible (le bouton est disponible sur les onglets *Standard* et *Reconstitués*). Après un clic sur ce bouton, le logiciel ouvre la boîte de dialogue permettant de définir les paramètres de l'analyse élasto-plastique de la barre à profilé sélectionné.

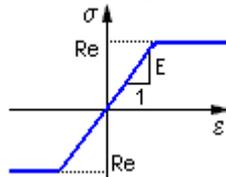
Pour le type de profilé sélectionné (p. ex. profilé en I), vous pouvez définir la division de la section. La division dépend du type de profilé ; d'habitude, elle est définie à l'aide du nombre de division sur la longueur de l'âme et de l'aile. On admet que pour les profilés standard, la division suivant l'épaisseur des parois n'est pas effectuée.

La partie droite de la boîte de dialogue, le champ affiche le matériau de base affecté au profilé sélectionné.

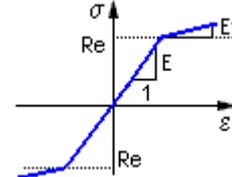
Dans la présente version du logiciel, seulement les types de matériau suivants sont disponibles : élasto-plastique parfait et élasto-plastique par écrouissage. La caractéristique contrainte - déformation pour les types de matériau ci-dessus est présentée sur les figures ci-dessous. La valeur de la contrainte limite est prise à partir de la résistance de calcul Re du matériau donné, définie dans la base de matériaux.

Modèle du matériau :

élasto-plastique idéal



élasto-plastique par écrouissage

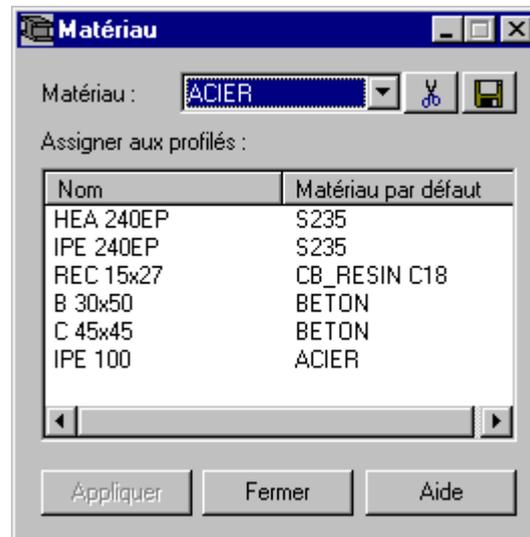


Si vous avez sélectionné le modèle élasto-plastique avec écrouissage, le champ d'édition $E/E1$ devient disponible ; dans ce champ, vous pouvez définir la valeur du paramètre de l'écrouissage plastique défini à l'aide du produit de la rigidité du matériau (module d'Young E) dans le domaine élastique et la rigidité dans le domaine plastique (pour cela, on prend le modèle linéaire du matériau).

La partie inférieure de la boîte de dialogue contient le champ de sélection dans lequel vous pouvez sélectionner le Mode de déchargement :

- élastique
- plastique
- endommagement
- mixte ; après la sélection de ce type de déchargement, le champ de définition du paramètre a devient disponible ; $0 < a < 1$.

Dans le bureau **SECTIONS ET MATERIAUX**, la boîte de dialogue supplémentaire **MATERIAUX** est affichée (veuillez vous référer à la figure ci-dessous). Cette boîte de dialogue est également disponible après la sélection de l'option à partir du menu (*Géométrie/Matériaux*) ou après un clic sur l'icône .



La partie supérieure de la boîte de dialogue *Matériaux* affiche la liste des matériaux disponibles dans le système *Robot Millennium*. Au-dessous de cette liste, le logiciel affiche la liste des sections contenant deux colonnes : la première colonne affiche les noms des sections définies, la deuxième colonne présente les matériaux par défaut qui leur ont été affectés. La liste affichée dans la boîte de dialogue *Matériaux* est la même que la liste des profilés actifs affichée dans la boîte de dialogue *Sections*. Après un clic sur le bouton **Enregistrer**, le logiciel affiche la boîte de dialogue permettant d'enregistrer le matériau dans la base. La partie centrale de la boîte de dialogue contient la liste de matériaux définis dans le logiciel. Après l'activation de cette boîte de dialogue, tous les matériaux qui ne sont pas enregistrés dans la base sont mis en surbrillance. Un clic sur le bouton **Enregistrer** permet d'enregistrer les matériaux dans la base actuelle.

Afin d'affecter un matériau par défaut au profilé donné, vous devez :

- mettre en surbrillance le profilé donné (cliquez deux fois sur le profilé voulu)
- sélectionner le matériau voulu dans la liste des matériaux disponibles
- cliquer sur le bouton **Appliquer**.

Lors de l'affectation des profilés aux barres de la structure, vous leur affectez simultanément le matériau défini pour les profilés donnés.

3.4. Panneaux

Pour les structures de type plaque et coque, le maillage par éléments finis est défini en deux étapes.

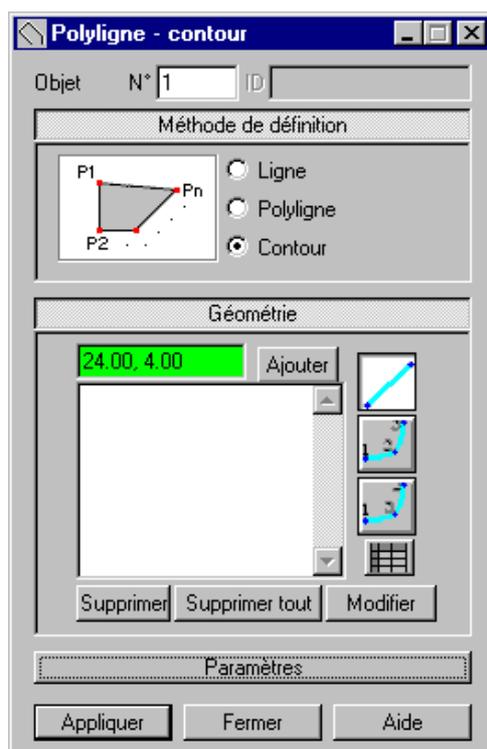
Lors de la première étape, vous devez définir les contours pour lesquels le maillage par éléments finis sera généré. Pour définir les contours, vous devez définir leurs bords (définition des contours, pour cela l'option *Polyligne - contour* est utilisé). Dans les contours sélectionnés sont définis les panneaux modélisant les planchers et les parois de la structure. Lors de la définition du panneau, certaines caractéristiques lui sont affectées (épaisseur, type de ferrailage).

Lors de la deuxième étape (après la définition du panneau et après le lancement des calculs de la structure), le maillage par éléments finis surfaciques est généré suivant les paramètres définis dans la boîte de dialogue *Préférences de l'affaire* (option *Maillage EF*).

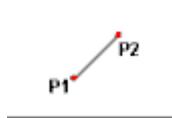
Pour définir les contours des panneaux pour les structures de type plaque et coque, vous pouvez utiliser l'option *Polyligne/Contour*.

La boîte de dialogue *Polyligne/Contour* est accessible par :

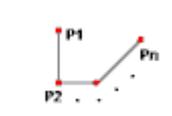
- le menu déroulant *Structures/Objet*, commande *Polyligne - Contour...*
- la barre d'outils, icône  (dans le bureau **GEOMETRIE**).



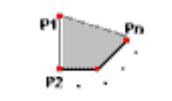
La partie *Méthode de définition* de la boîte de dialogue **Polyligne - contour** regroupe les options permettant de définir la méthode de définition de la ligne, ces options dépendent de la méthode sélectionnée. Les figures représentant les méthodes de définition des lignes de construction sont représentées ci-dessous :



Si vous sélectionnez cette option, la ligne sera définie par deux points (début et fin de la ligne).



Si vous sélectionnez cette option, une polyligne sera définie par les points successifs donnés.



Si vous sélectionnez cette option, un contour sera défini par les points successifs donnés.

L'onglet *Géométrie* définit le mode de tracé entre deux points :



Si vous sélectionnez cette option, une ligne droite sera définie entre les deux points.



Si vous sélectionnez cette option, un arc, construit à partir d'un troisième point, sera défini entre les deux points. (le troisième point définit l'extrémité de l'arc)



Si vous sélectionnez cette option, un arc, construit à partir d'un troisième point, sera défini entre les deux points. (le deuxième point définit l'extrémité de l'arc)

Les caractéristiques des arcs peuvent être modifiées à l'aide de l'onglet *Paramètre*.

Après la définition des contours, il faut définir les panneaux dans la structure :

Pour cela, vous devez utiliser l'option **Panneaux**. La boîte de dialogue **Panneaux** est accessible :

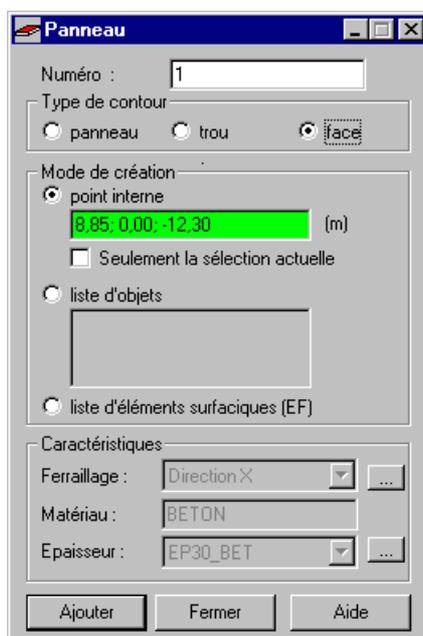
- par le menu déroulant *Structures*, commande *Panneaux...*
- par la barre d'outils, icône 

Pour définir le panneau, vous devez définir les paramètres suivants :

- numéro du panneau

- bords (contour) du panneau, les bords (contours) des trous et les bord des cotés (faces) dans le panneau.
Pour cela, vous pouvez procéder de trois manières :
 - ⇒ définissez le point interne du panneau/trou
 - ⇒ saisissez le numéro de l'objet
 - ⇒ saisissez la liste d'éléments finis surfaciques
- type de ferrailage du panneau
- matériau par défaut défini pour le type d'épaisseur du panneau sélectionné (l'information affichée dans ce champ ne peut pas être modifiée)
- épaisseur du panneau.

Si vous sélectionnez l'option *Face* dans la zone *Type de contour*, toutes les caractéristiques dans la zone *Caractéristiques* disponible dans la partie inférieure de la boîte de dialogue deviennent inaccessibles. L'activation de cette option permet de définir l'objet en tant que face (sans attribuer les propriétés comme type de ferrailage et épaisseur) ; vous pouvez utiliser cet objet pour la création d'une structure volumique (solides) - il peut être la face d'un objet volumique.



ATTENTION : Dans la partie inférieure de la boîte de dialogue, deux boutons (...) sont affichés (à droite des champs Ferrailage et Epaisseur). Un clic sur un de ces boutons ouvre respectivement la boîte de dialogue Nouveaux paramètres de ferrailage ou Nouvelle épaisseur, dans ces boîtes de dialogue vous pouvez définir un nouveau type de ferrailage ou une nouvelle épaisseur. Les types d'épaisseur et les types de ferrailage définis sont ajoutés à la liste des épaisseurs et des types de ferrailage de plaque et coque actifs.



Après la définition des panneaux et le lancement des calculs de la structure, le maillage par éléments finis est généré suivant les paramètres définis dans la boîte de dialogue **Préférences de l'affaire** (Option *Maillage EF*).

Le maillage par éléments finis est affiché si l'option *Maillage EF* est activée dans la boîte de dialogue **Affichage des attributs**.

La procédure de génération du maillage EF pour le contour donné peut être répétée plusieurs fois, néanmoins il faut être conscient du fait que le nouveau maillage supprime l'ancien.

Dans le logiciel, deux types d'éléments finis surfaciques sont disponibles :

- éléments triangulaires à 3 ou à 6 nœuds,
- éléments quadrangulaires à 4 ou à 8 nœuds.

Dans le logiciel **Robot**, il est recommandé d'utiliser les éléments surfaciques à 3 ou 4 nœuds. Dans le cas où vous utilisez les éléments surfaciques à 6 ou 8 nœuds pour la génération du maillage, les options suivantes peuvent fonctionner de façon incorrecte :

relâchements linéaires

opérations booléennes (coupure)

ajustement du maillage entre les panneaux et entre les panneaux et les barres.

Les fonctions utilisées lors de la génération du maillage par éléments finis créent les nœuds à l'intérieur du contour sélectionné et, ensuite, affectent les nœuds créés aux éléments finis surfaciques correspondants. Les nœuds à l'intérieur du contour sont créés suivant l'algorithme de triangulation de Delaunay ou la méthode de Coons.

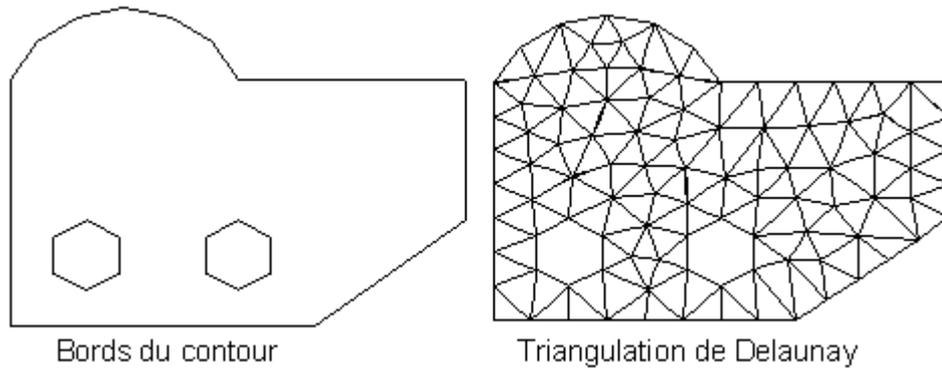
ATTENTION : Les exemples de la génération du maillage par éléments finis pour la structure de type plaque/coque sont présentés dans les annexes du présent manuel d'utilisation.

3.4.1. Types d'éléments finis surfaciques

Méthode de triangulation de Delaunay

La méthode de triangulation de Delaunay peut être utilisée pour générer un maillage par éléments finis sur une surface plane quelconque. Si la surface contient des trous, vous devez les définir en tant que bords du contour, les trous ne seront pas alors pris en compte lors de la génération du maillage par éléments finis. Après avoir sélectionné la méthode de Delaunay, vous devez définir le contour à base duquel le maillage par éléments finis sera généré.

Un maillage par éléments finis généré suivant la méthode de Delaunay est représenté sur la figure ci-dessous.



Pour la méthode de Delaunay, vous pouvez définir les paramètres suivants :

= méthode de génération des nœuds supplémentaires (méthode de Kang - émetteurs).

Les émetteurs sont des nœuds définis par l'utilisateur, dans la proximité de ces nœuds le maillage sera raffiné. Les paramètres de raffinement et les paramètres de Kang sont définis.

= paramètre H_0 définissant la longueur de la première onde

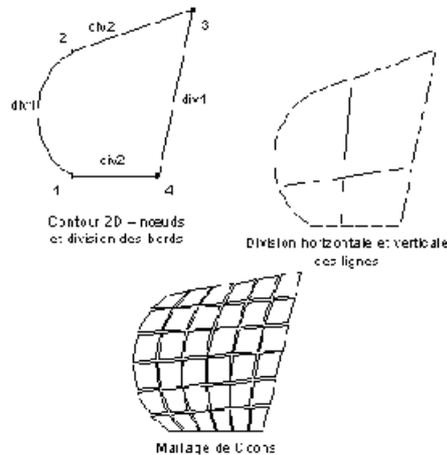
= paramètres de Kang (H_{max} , Q et k)

Les paramètres spécifiques de la méthode de Kang signifient :

1. H_{max} - longueur de la pénultième onde avant la limite de l'action de l'émetteur ;
2. Q - coefficient d'amplification d'onde (rapport entre la longueur de l'onde suivante et l'onde précédente) ;
3. k - actuellement, ce paramètre n'est pas utilisé.

Méthode de Coons

Les surfaces de Coons sont des surfaces 3D dont la base est constituée par des contours triangulaires ou quadrangulaires dont les côtés opposés se divisent en un nombre égale de segments. La forme des éléments créés correspond à la forme du contour pour lequel le maillage est généré. Le principe général de cette méthode consiste à relier par des lignes droites tous les points créés sur un côté du contour avec les points correspondants situés sur le côté opposé du contour. Les lignes « verticales » et « horizontales » créent deux ensembles de points. Le point de l'intersection de chaque paire des lignes « horizontales » et « verticales » définit la position finale du nœud à l'intérieur du contour (conf. la figure ci-dessous).



Après la définition du contour, vous devez définir les paramètres de la méthode de Coons, à savoir la forme du maillage par éléments finis (triangles seuls, quadrangles seuls, triangles et quadrangles) et les paramètres de la division : *division 1* et *division 2*.

Les paramètres de la division déterminent le nombre d'éléments qui seront créés sur le premier côté (entre le premier et le deuxième sommet du contour) et sur le deuxième côté du contour (entre le deuxième et troisième sommet).

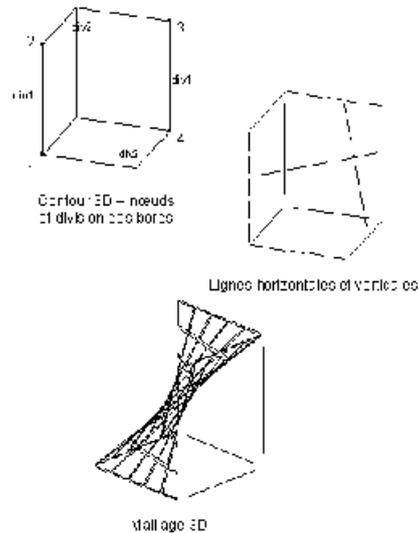
Les côtés opposés du contour seront divisés automatiquement de sorte que la division corresponde à la division effectuée pour le premier et pour le deuxième bord du contour.

Pour les contours triangulaires, le nombre de divisions du côté situé entre le troisième et le premier sommet du contour est le même que celui entre le deuxième et le troisième sommet.

Pour les contours quadrangulaires, le nombre de divisions du côté situé entre le troisième et le quatrième sommet du contour est le même que celui entre le premier et le deuxième sommet, le nombre de divisions du côté situé entre le quatrième et le premier sommet du contour est le même que celui entre le deuxième et le troisième sommet.

Si, par exemple, le nombre de divisions entre le troisième et le quatrième sommet du contour est supérieur à celui entre le premier et le deuxième sommet, le nombre de divisions provisoire que vous avez imposé sera agrandi de façon automatique.

La méthode de Coons peut être utilisée pour générer les maillages par éléments finis sur les surfaces 2D (les contours appartiennent à un plan donné, conf. la figure ci-dessus) de même que sur les surfaces 3D (les contours sont définis en 3D, conf. la figure ci-dessous).



Pour le maillage de Coons vous pouvez définir les paramètres suivants :

- = type de maillage par éléments finis (topologie de Coons)
- = paramètres de génération du maillage (*division 1* et *division 2*) décrits ci-dessus.

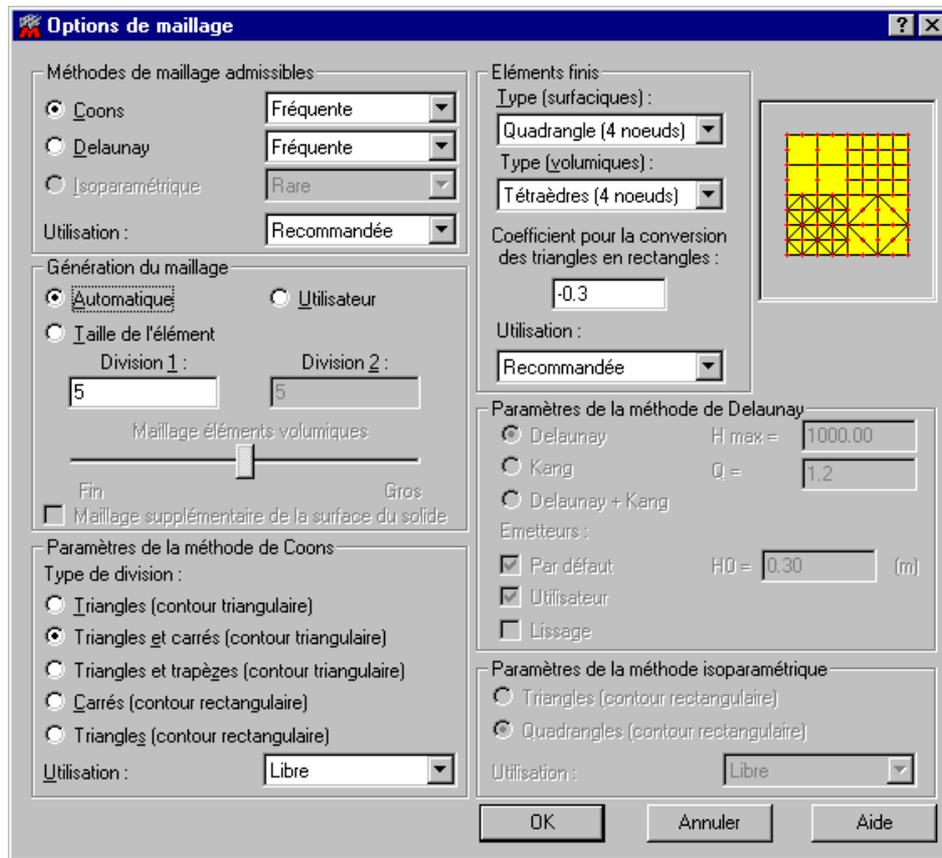
Dans le logiciel, l'option *Points principaux* du maillage est disponible. Cette option sert à définir les points du panneau étant la base pour la génération du maillage par EF à l'aide de la méthode de Coons. La commande est accessible par :

- le menu déroulant *Analyse*, sous-menu *Modèle de calcul*, commande *Points principaux du maillage*
- la barre d'outils, icône .

Paramètres de la génération du maillage par éléments finis

Après un clic sur l'option *Maillage EF* se trouvant dans l'arborescence dans la partie gauche de la boîte de dialogue *Préférences de l'affaire* (conf. le chapitre du présent manuel), ou après la sélection de la commande *Analyse/Modèle de calcul/Options de maillage*, la boîte de dialogue représentée ci-dessous est affichée à l'écran.

Remarque : La commande *Analyse/Modèle de calcul/Options de maillage* est disponible dans le menu pour les types de structures suivantes : plaque, coque et structure volumique.



Dans cette boîte de dialogue vous pouvez définir les paramètres du maillage EF à générer.

Dans la zone *Méthodes de maillage admissibles* vous pouvez sélectionner une des trois méthodes de génération du maillage :

- méthode de Coons
- méthode de Delaunay
- méthode isoparamétrique

De plus, pour chacune des méthodes, vous pouvez définir la fréquence de l'utilisation de la méthode lors de la génération du maillage : fréquente, rare ou jamais. Dans cette zone, vous pouvez définir le degré de l'obligation de l'utilisation de la méthode de génération du maillage par éléments finis. Si, par exemple, la méthode de Coons a été sélectionnée et son utilisation a été déclarée comme fréquente et imposée, l'algorithme de génération du maillage imposera la génération du maillage de Coons pour le contour sélectionné.

Dans la zone *Eléments finis*, vous pouvez sélectionner le type d'éléments surfaciques utilisés lors de la génération du maillage par éléments finis : triangles à 3 nœuds, triangles à 6 nœuds, quadrangles à 4 nœuds et quadrangles à 8 nœuds (voir le dessin ci-dessous).



Triangles à 3 et 6 nœuds



Quadrangle à 4 et 8 nœuds

Dans le logiciel Robot, il est recommandé d'utiliser les éléments surfaciques à 3 ou 4 nœuds. Dans le cas où vous utilisez les éléments surfaciques à 6 ou 8 nœuds pour la génération du maillage, les options suivantes peuvent fonctionner de façon incorrecte :

relâchements linéaires

opérations booléennes (coupure)

ajustement du maillage entre les panneaux et entre les panneaux et les barres.

De plus, dans cette zone vous pouvez sélectionner la nécessité de l'utilisation du type d'éléments surfaciques sélectionné. Si, par exemple, vous sélectionnez les triangles à 3 nœuds et l'utilisation libre, l'algorithme de génération du maillage utilisera un type d'éléments surfaciques quelconque.

Dans la zone *Génération du maillage* vous pouvez sélectionner le mode de maillage : automatique ou défini par l'utilisateur. De plus, pour la méthode de Coons et pour la méthode isoparamétrique, vous pouvez définir deux paramètres : **Division 1** et **Division 2**.

Il est également possible de saisir la valeur de la taille des éléments finis créés lors de la génération du maillage. Cela est possible grâce à l'option *Taille de l'élément*.

Dans la zone *Paramètres de la méthode de Coons*, vous pouvez sélectionner un des types de division suivants :

- triangles (contour triangulaire)
- triangles et carrés (contour triangulaire)
- triangles et losanges (contour triangulaire)
- carrés (contour rectangulaire)
- triangles (contour triangulaire)

De plus, dans cette zone, vous pouvez définir l'obligation de l'utilisation du type de division sélectionné pour la génération du maillage par éléments finis selon la méthode de Coons.

Dans la zone *Paramètres de la méthode de Delaunay*, vous pouvez sélectionner la méthode de génération du maillage :

- **Delaunay** - si vous sélectionnez cette méthode, le maillage sera généré suivant la méthode de Delaunay seule.
- **Kang** - si vous sélectionnez cette méthode, le maillage par éléments finis sera généré selon la méthode de Kang autour des émetteurs sélectionnés conformément aux paramètres de la méthode de Kang adoptés (H0, Hmax et Q)
- **Delaunay + Kang** - si vous sélectionnez cette méthode, le maillage par éléments finis sera généré selon la méthode de Kang dans les zones proches des émetteurs ; en dehors de ces zones, la méthode de Delaunay sera utilisée.

Si vous sélectionnez l'option lissage (elle est alors accompagnée du symbole ) , l'algorithme de lissage du maillage EF généré sera utilisé lors de la génération du maillage par éléments finis.

Options de génération et de modification du maillage par EF

Les options sont accessibles après un clic sur l'icône *Option de génération du maillage EF*  qui se trouve sur la barre d'outils standard. Un clic sur cette icône ouvre la barre d'outils auxiliaire présentée sur la figure ci-dessous



dont les icônes permettent de :

-  - générer le modèle de calcul, c'est-à-dire de créer le maillage pour les panneaux non figés
-  - définir les points caractéristiques du maillage EF utilisés lors de la génération du maillage suivant la méthode de Coons
-  - ouvrir la boîte de dialogue *Options de maillage* pour le panneau sélectionné
-  - figer le maillage pour un panneau donné – la sélection de cette option signifie que, lors de la génération du modèle de calcul, le maillage sur un tel panneau ne sera pas modifié
-  - libérer le maillage sur le panneau – la sélection de cette option signifie que le panneau sera pris en compte lors de la génération du modèle de calcul
-  - générer le maillage local – le maillage ne sera généré que pour les panneaux sélectionnés (*Attention* : si vous utilisez cette option, le maillage est figé)
-  - supprimer le maillage sur les panneaux sélectionnés



- définir les émetteurs utilisateur



- consolidation du maillage – cette boîte de dialogue permet de convertir les éléments triangulaires en éléments quadrangulaires pour les éléments finis sélectionnés.

ATTENTION : Les exemples de la génération du maillage EF pour les structures de type plaque/coque sont présentés dans les annexes du présent manuel d'utilisation.

3.4.2. Emetteurs, raffinement et consolidation du maillage par éléments finis

Les émetteurs sont des nœuds définis par l'utilisateur autour desquels le maillage est raffiné. C'est une option très importante lors des calculs des plaques/coques ou des structures volumique si l'utilisateur veut obtenir les résultats les plus exacts possibles dans les points caractéristiques de la structure (appuis, point de l'application des forces etc.).

L'option est disponible :

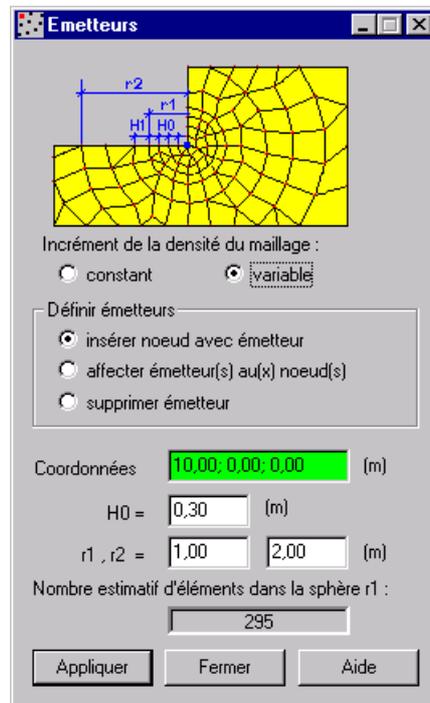
- par le menu principal, après la sélection de la commande *Analyse/Modèle de calcul/Emetteurs*.
- après un clic sur l'icône  affichée dans la barre d'outils.

Il existe deux méthodes de définition d'un émetteur qui dépendent de l'incrément de la densité du maillage des éléments finis :

incrément constant - cette méthode est utilisée dans les cas des structures de type plaque et coque

incrément variable - cette méthode est utilisée pour les structures volumiques.

Le logiciel affiche alors la boîte de dialogue représentée ci-dessous (l'aspect de la boîte de dialogue dans le cas où vous sélectionnez l'option *Incrément variable*) :



Dans cette boîte de dialogue, vous pouvez sélectionner une de trois options :

- insérer nœud avec émetteur - vous pouvez définir le nœud dans lequel sera placé l'émetteur à coordonnées données
- affecter émetteur(s) au(x) nœud(s) donné (s) - détermination d'un ou de plusieurs numéros de nœuds dans lesquels les émetteurs seront placés
- suppression de l'émetteur - définition d'un ou de plusieurs numéros de nœuds dans lesquelles sont positionnés les émetteurs à supprimer.

Les paramètres des options listées ci-dessus sont les suivants :

- insertion du nœud avec émetteur :
 - H0 longueur d'onde initiale (les autres paramètres de la génération du maillage autour de l'émetteur peuvent être définis dans la boîte de dialogue *Options de maillage*)
 - coordonnées - coordonnées de la position du nœud avec l'émetteur à paramètre H0 défini
- affectation de l'émetteur dans un ou plusieurs nœuds existants :
 - H0 longueur d'onde initiale du maillage (les autres paramètres de la génération du maillage autour de l'émetteur peuvent être définis dans la boîte de dialogue *Options de maillage*)
 - liste de nœuds - liste des numéros des nœuds dans lesquels l'émetteur à paramètre H0 donné sera placé

- suppression de l'émetteur :
liste de nœuds - liste des numéros de nœuds pour lesquels les émetteurs seront supprimés.

Après la sélection de l'option *variable*, vous avez accès à toutes les options concernant le maillage à incrément de densité constant. De plus, les champs d'édition suivants sont disponibles :

r1 - rayon de la sphère dans laquelle le maillage se caractérisera par la longueur initiale de l'onde H0

r2 - rayon de la sphère dans laquelle la densité du maillage sera réduite (c'est-à-dire, la réduction de la densité du maillage s'effectuera dans la zone entre les rayons r1 et r2)

nombre estimatif d'éléments dans la sphère r1 - ce champ est inaccessible ; le logiciel définit le nombre d'éléments après l'indication des coordonnées de l'émetteur et des valeurs H0, r1 et r2.

De même, lors de la génération du maillage par éléments finis surfaciques, les options *Consolidation* et *Raffinement du maillage* peuvent être utilisées (menu principal : *Analyse/Modèle de calcul*).

L'option *Consolidation* entraîne la conversion des éléments triangulaires sélectionnés en éléments quadrangulaires (le nombre d'éléments est réduit). Il est conseillé d'utiliser l'option *Consolidation* après la génération du maillage EF suivant la méthode de triangulation de Delaunay. Par conséquent, les éléments triangulaires sont convertis en quadrangles pour lesquels les résultats des calculs sont ordinairement plus exacts. Avant de lancer l'exécution de l'option *Consolidation* l'utilisateur doit définir les données suivantes :

- paramètre (coefficient) pour la conversion prenant les valeurs incluses dans le domaine $[-1, +1]$
- liste des éléments pour lesquels la consolidation sera effectuée.

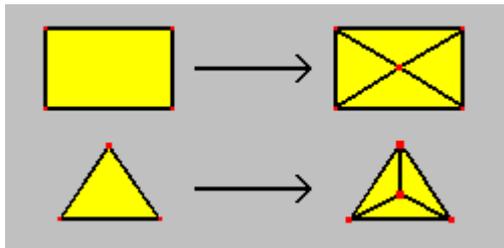
Si la valeur du coefficient pour la conversion est égale à +1, les quadrangles créés seront créés à base des éléments triangulaires dans toutes les parties possibles de la zone sélectionnée (pourtant, cela peut provoquer la génération de quadrangles à formes incorrectes et, par conséquent au mauvais conditionnement du système d'équations). Si la valeur -1 est prise pour le paramètre de pondération, dans le maillage par éléments finis triangulaires, la conversion des triangles en quadrangles sera effectuée seulement pour les triangles qui peuvent créer des éléments carrés.

L'application de l'option *Raffinement du maillage* entraîne l'augmentation de la densité du maillage par éléments finis dans la zone sélectionnée par l'utilisateur. En fonction des paramètres adoptés, le maillage par éléments finis quadrangulaires est divisé en éléments plus petits, triangulaires ou quadrangulaires.

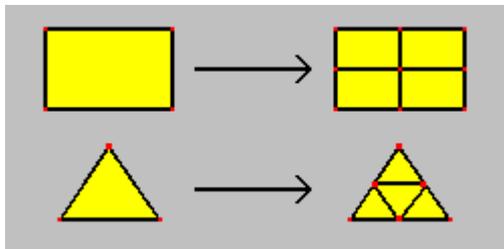
Pour raffiner le maillage par éléments, vous devez effectuer les opérations suivantes :

- sélectionner le type de raffinement
- définir la liste des éléments pour lesquels l'opération de raffinement sera effectuée.

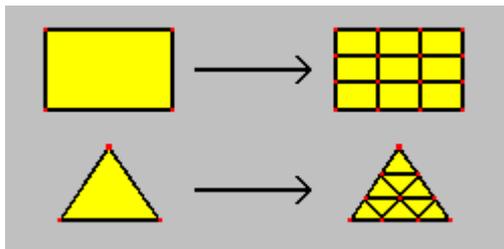
Dans le logiciel, trois types de raffinement sont disponibles :



Simple - les bords des éléments finis ne seront pas divisés



Double - chacun des bords de l'élément fini sera divisé en deux parties



Triple - chacun des bords de l'élément fini sera divisé en trois parties.

Le type de raffinement par défaut est le raffinement double.

Dans les deux boîtes de dialogue, l'option *Figé maillage EF pour les panneaux modifiés* est disponible.

Si cette option est active, le maillage sera figé c'est-à-dire que le maillage ne sera pas modifié lors de la génération du modèle de calcul.

Si cette option est inactive, le maillage pourra être modifié lors de la génération du modèle de calcul car le logiciel prendra les paramètres définis dans la boîte de dialogue **Options de maillage**.

Un clic sur l'icône *Vérifier la qualité du maillage* dans la barre ouverte par l'icône Options de génération du maillage EF  permet d'évaluer la qualité du maillage par EF pour les panneaux sélectionnés.

Chaque élément possède un coefficient de proportion qui définit la qualité de son maillage, c'est-à-dire si l'élément est bien paramétré ou non. Le coefficient est compris dans l'intervalle (0,1), où 1 décrit l'élément de type carré ou triangle équilatéral. Les valeurs plus basses sont prises par les éléments paramétrés d'une façon moins bonne, c'est-à-dire ceux dont la géométrie diffère du carré ou du triangle équilatéral. Pour les panneaux sélectionnés, deux coefficients sont vérifiés d'une façon globale :

- Q1 – coefficient pondéré qui prend en considération l'importance de l'élément liée à son aire de surface (plus l'aire de surface de l'élément est grande, plus le poids de sa qualité est grand dans le coefficient global Q1)
- Q2 – on prend en compte le nombre de triangles « bons » et « mauvais » sans accorder de l'importance à leur poids.

Les valeurs de deux éléments sont comprises dans l'intervalle (0,1). Si le coefficient va vers la valeur 1, cela signifie que la qualité du maillage est bonne ; s'il va vers 0, le maillage n'est pas satisfaisant. Le coefficient Q1 bas signifie que le maillage contient de grands éléments surfaciques mal paramétrés. Par contre, le coefficient Q2 bas vous indique que les éléments mal paramétrés sont nombreux par rapport au nombre total d'éléments. En même temps, vous pouvez trouver des éléments dont le coefficient de proportion est plus bas qu'une certaine valeur (champ *Précision* dans la boîte de dialogue *Qualité du maillage*).

ATTENTION : Les exemples de la génération du maillage par EF pour les structures de type plaque et coque avec la prise en considération de la consolidation et du raffinement du maillage sont présentés dans les annexes du présent manuel d'utilisation.

3.5. Epaisseurs des panneaux

Afin d'affecter l'épaisseur aux panneaux définis, vous devez effectuer une des actions suivantes :

- sélectionnez l'option *Panneaux* et sélectionnez l'épaisseur voulue dans le champ *Epaisseur*
- sélectionnez la commande *Epaisseurs EF...* dans le menu déroulant *Structure*, sous-menu *Caractéristiques*,
- cliquez sur l'icône  affichée dans la barre d'outils **Définition de la structure**

- passez au bureau **CARACTERISTIQUES** si la structure étudiée est de type plaque ou coque.

La boîte de dialogue *Nouvelle épaisseur* se compose de deux onglets : *Uniforme* et *Orthotrope*. Sur l'onglet *Uniforme*, vous pouvez définir les paramètres suivants :

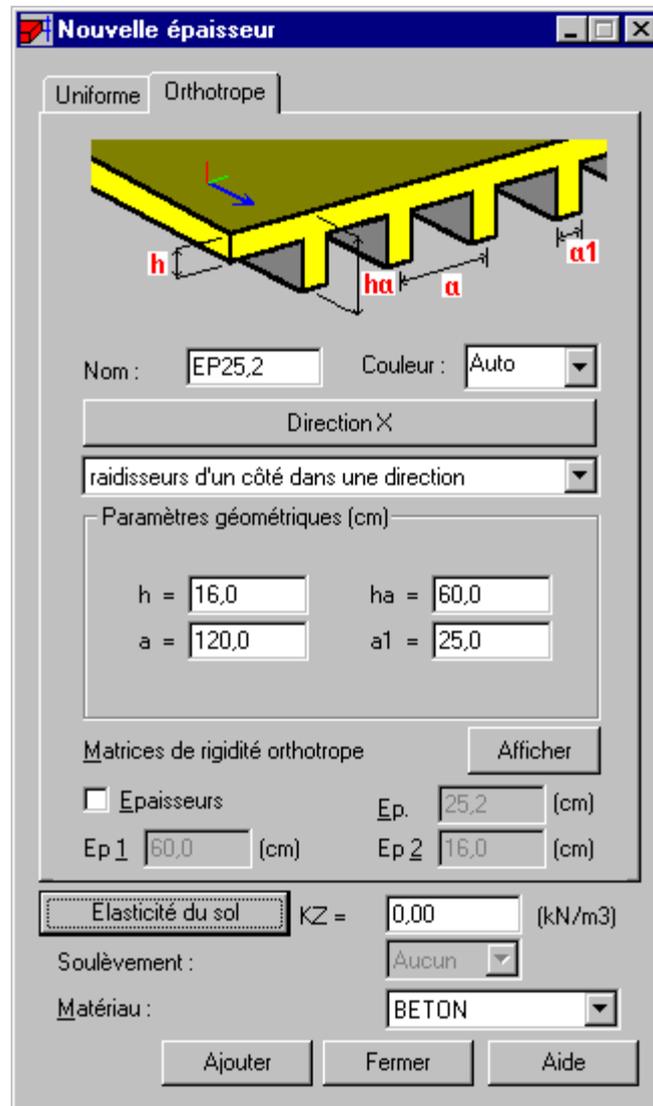
- épaisseurs :
 - constante à valeur dans le champ *Ep*
 - variable linéairement (paramètres définis dans les champs d'édition relatifs aux points P1 et P2)
 - variable définie par un point (paramètres définis dans les champs d'édition relatifs aux points P1, P2 et P3)
- valeur du coefficient **KZ** - coefficient d'élasticité de l'appui
- matériau.

De plus, pour chaque direction, vous pouvez définir le soulèvement de la plaque/coque du sol. Cette option n'est accessible que si vous avez défini le coefficient d'élasticité du sol. Il existe trois possibilités :

- Aucun - aucun soulèvement n'aura lieu
- “+” - le soulèvement sera effectué dans la direction conforme au sens de l'axe (p. ex. UX+)
- “-“ - le soulèvement sera effectué dans la direction inverse par rapport au sens de l'axe (p. ex. UZ-).

Les options qui sont disponibles sur l'onglet *Orthotrope* servent à prendre en considération l'orthotropie structurelle des plaques et des coques. L'orthotropie structurelle signifie l'hétérogénéité de la rigidité des plaques dans différentes directions causée par exemple, par les raidisseurs de la plaque. L'orthotropie prend en considération les différences de rigidité dans des directions perpendiculaires, mais elle ne prend pas en compte l'hétérogénéité du matériau. Toute hétérogénéité géométrique est prise en compte par les matrices de rigidité des éléments. La plaque dont l'épaisseur a été définie de la sorte est considérée comme une structure à épaisseur équivalente qui possède des rigidités différentes dans les directions perpendiculaires.

ATTENTION : Le changement local de rigidité des raidisseurs n'est pas pris en compte, la géométrie précise n'est pas affichée et elle n'est pas prise en considération lors du calcul du ferrailage.



Dans la boîte de dialogue ci-dessus, vous trouverez les options suivantes :

- bouton **Direction X** - un clic sur ce bouton ouvre la boîte de dialogue Direction de l'orthotropie, dans laquelle vous pouvez définir la direction principale de l'orthotropie
- liste déroulante contenant les types de géométries prédéfinies d'une plaque (raisseurs, planchers à caissons, grillages, orthotropie du matériau); l'utilisateur peut aussi définir la matrice d'orthotropie; après la sélection du type de géométrie de la plaque, les champs d'édition respectifs s'ouvrent et vous pouvez y définir les dimensions de la plaque
- bouton **Afficher** ou **Définir** - un clic sur ce bouton ouvre la boîte de dialogue *Matrices de rigidité orthotrope*
- option *Epaisseur* - si vous l'activez, les champs Ep, Ep1, Ep2 permettant de définir l'épaisseur deviennent actifs. L'épaisseur équivalente Ep sert à calculer le poids propre de la plaque. Les épaisseurs Ep1 et Ep2 servent à définir les épaisseurs équivalentes utilisées

lors du calcul des charges thermiques. Ces épaisseurs sont calculées automatiquement à la base des paramètres géométriques de la plaque.

ATTENTION : Le calcul du ferrailage pour ce type de plaques ne donnera pas de résultats corrects. Pour cela, il faudrait introduire un algorithme du ferrailage des plaques qui prend en considération la section en T ou en I. A cause de cela, le calcul du ferrailage pour ce type de plaques sera effectué comme pour la plaque uniforme à section constante.

Un clic sur le bouton **Elasticité du sol** ouvre la boîte de dialogue **Sols constructibles – calculs du coefficient K**. Cette boîte de dialogue sert de calculette pour définir la valeur du coefficient d'élasticité K pour le sol stratifié.

De même que dans la boîte de dialogue de définition des barres, appuis etc., le procédé de définition d'une épaisseur se divise en deux étapes :

- définition du type d'épaisseur de l'élément fini surfacique (panneau)
- affectation de l'épaisseur au panneau.

Afin de supprimer un type d'épaisseur affecté à un panneau faisant partie de la structure, vous devez utiliser l'épaisseur zéro (icône **Supprimer**) toujours présente dans la liste active. L'épaisseur zéro ne peut pas être modifiée ; vous pouvez l'affecter d'une façon semblable au mode d'affectation des épaisseurs réelles.

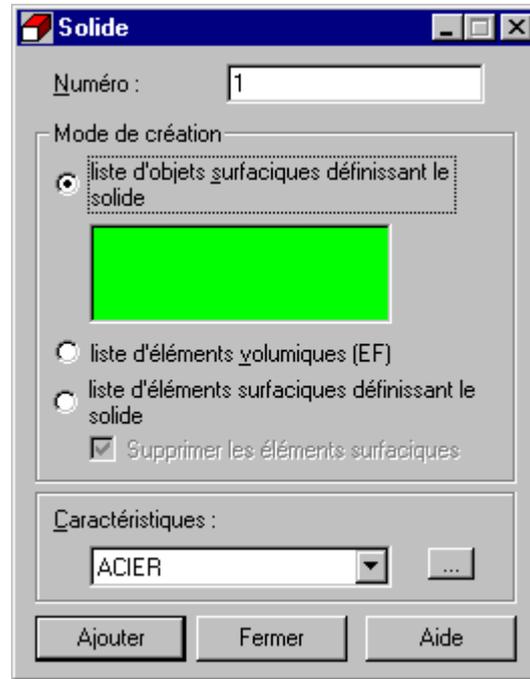
Après l'affectation d'une épaisseur, son symbole est affiché à l'écran graphique.

3.6. Solides (structures volumiques)

L'option sert à créer les éléments volumiques (solides). L'option est accessible par :

- le menu *Structure*, commande *Solides*
- la barre d'outils **Définition de la structure**, icône .

Après la sélection de cette option, la boîte de dialogue ci-dessous s'affiche.



Afin de définir un solide, vous devez saisir les informations suivantes :

- numéro du solide
- bords (contour) du solide. Vous pouvez l'effectuer de deux manières :
 - ⇒ par l'indication des objets volumiques définissant le contour du solide
 - ⇒ par l'indication de la liste d'éléments finis volumiques
 - ⇒ par l'indication de la liste d'éléments surfaciques (p. ex. après l'ouverture d'un fichier DXF contenant la géométrie de la structure) définissant le contour du solide. Si l'option Supprimer éléments surfaciques est activée, le logiciel supprimera de la structure les éléments surfaciques définissant le contour du solide
- caractéristiques du solides.

*ATTENTION : Dans la partie inférieure de la boîte de dialogue, le bouton (à droite du champ Caractéristiques) est disponible. Un clic sur ce bouton ouvre la boîte de dialogue **Définition des caractéristiques des solides**. Dans cette boîte de dialogue, vous pouvez définir les caractéristiques physiques des solides. Les types de caractéristiques des solides définis sont ajoutés à la liste des caractéristiques actives.*

Le volume des solides est créé par l'indication de leurs faces et bords (définition des contours du volume). Vous pouvez définir les solides de deux façons :

- saisir la liste des objets surfaciques définissant la surface extérieure du solide

- saisir les numéros des éléments finis volumiques générés. Cette option ne peut être utilisée qu'après la création du maillage par éléments finis.

ATTENTION : Si vous créez l'objet de type solide à l'aide de l'option liste d'éléments volumiques, le maillage par éléments finis ne peut pas contenir des inclusions (c'est-à-dire, les trous dans les solides sont interdits). La solution consiste à créer deux solides qui ne contiennent pas d'inclusions.

ATTENTION : Si la structure contient une barre dont le nœud aboutit au nœud d'un élément volumique, la barre travaille comme si le nœud commun de la barre et de l'élément volumique était une rotule.

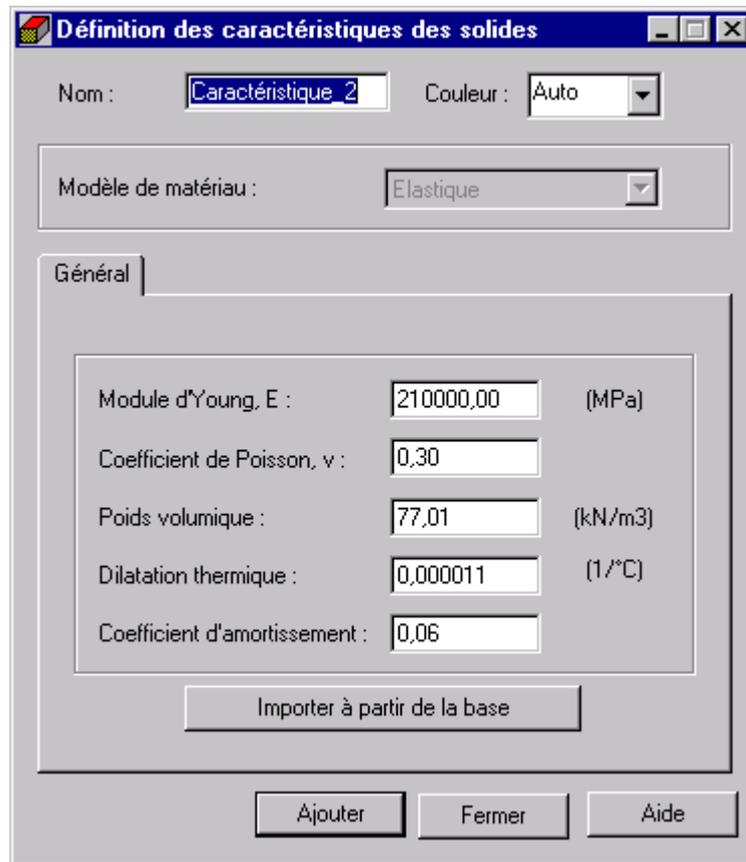
L'option *Caractéristiques des solides* sert à affecter les caractéristiques aux éléments volumiques de la structure (solides). L'option est accessible par :

- le menu *Structure*, sous-menu *Caractéristiques*, commande *Caractéristiques des solides*
- la barre d'outils **Définition de la structure**, icône 
- la sélection du bureau **CARACTERISTIQUES** - le bureau est accessible pour le type de structure : solide (structure volumique).

Après la sélection de cette option, la boîte de dialogue présentée sur la figure ci-dessous s'affiche.



Après un clic sur l'icône **Définir une nouvelle caractéristique** dans la boîte de dialogue ci-dessus, la boîte de dialogue présentée sur la figure ci-dessous s'affiche.



Afin de définir un nouveau type de caractéristiques des solides, il faut :

- saisir le nom du type de caractéristiques à définir
- sélectionner la couleur pour le type de caractéristiques définies
- saisir le modèle de matériau (dans la présente version, c'est le matériel élastique)
- définir les paramètres caractérisant le modèle de matériau.

Un clic sur le bouton **Importer à partir de la base** ouvre la boîte de dialogue auxiliaire dans laquelle vous pouvez sélectionner le matériau disponible dans les bases de données. Après la sélection du matériau, les paramètres sont saisis dans les champs correspondants de la boîte de dialogue Définition des caractéristiques des solides.

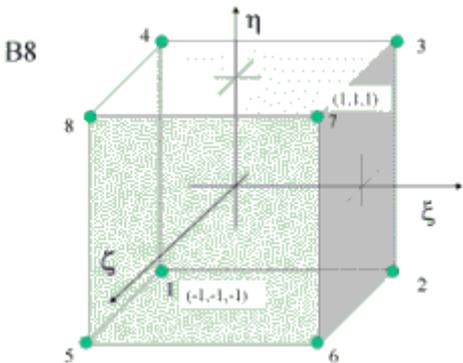
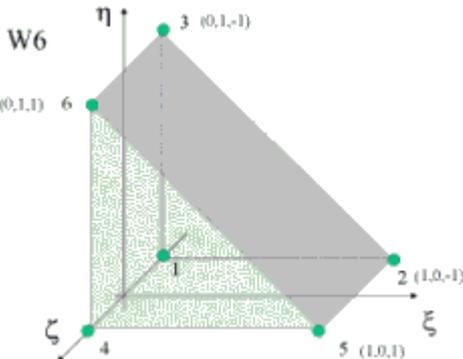
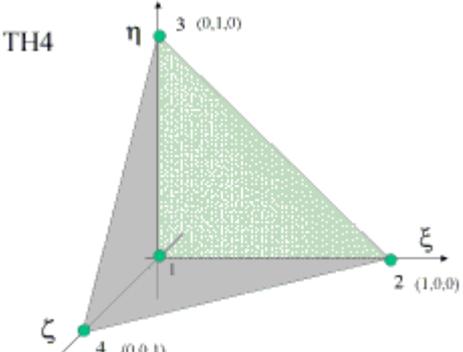
Après la définition des paramètres et un clic sur le bouton **Ajouter**, le type de caractéristiques définies sera ajouté à la liste des types de caractéristiques actifs.

3.6.1. Description des éléments finis volumiques

Pour modéliser les structures volumiques, Robot utilise les éléments finis volumiques isoparamétriques avec une approximation du champ de déplacement par les fonctions de forme du premier ordre.

Les types d'éléments suivants sont disponibles : parallélépipède B8, prisme W6 et tétraèdre T4.

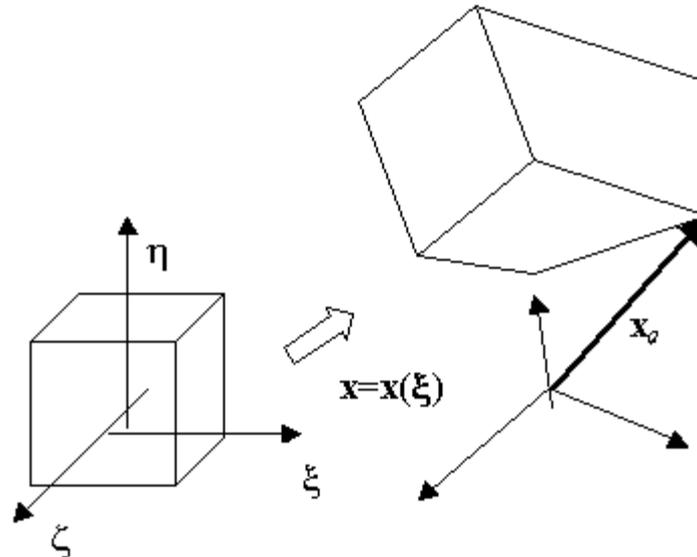
Les fonctions de forme avec la numérotation des nœuds définie sur les éléments 3D modèles sont données dans le tableau ci-dessous.

Élément modèle	Fonctions de forme $N_i = N_i(\xi, \eta, \zeta)$ for 3D elements $i = 1, Nen$
	$Nen = 8$ $N_i = \frac{1}{8}(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta)(1 + \zeta_i \zeta)$
	$Nen = 6$ $N_i = \frac{1}{2}(1 + \zeta_i \zeta) \cdot N_{k(i)}^{T6}(\xi, \eta)$ <p>where $k(i) = ((i - 1) \bmod 3) + 1$</p> $N_1^{T6} = 1 - \xi - \eta$ $N_2^{T6} = \xi$ $N_3^{T6} = \eta$
	$Nen = 4$ $N_1 = 1 - \xi - \eta - \zeta$ $N_2 = \xi$ $N_3 = \eta$ $N_4 = \zeta$

La description de la géométrie de l'élément, la définition des déformations, contraintes, matrices de rigidité et masses ainsi que du vecteur des forces dans l'élément pour tous les types d'éléments sont effectuées de la façon suivante :

- **Géométrie de l'élément**

La géométrie de l'élément est définie par la projection isoparamétrique de l'élément modèle sur un élément quelconque.



$$\mathbf{x}(\xi) = \sum_{a=1, N_{en}} \mathbf{x}_a N_a(\xi)$$

- **Champ de déplacement à l'intérieur de l'élément**

$$\mathbf{u} = [u, v, w]^T$$

$$\mathbf{u}(\xi) = \sum_{a=1, N_{en}} \mathbf{u}_a N_a(\xi)$$

- **Définition des déformations**

$$\mathbf{e} = [\varepsilon_{xx}, \varepsilon_{yy}, \varepsilon_{zz}, \gamma_{xy}, \gamma_{xz}, \gamma_{yz}]^T$$

$$\mathbf{e}(\?) = \mathbf{B}(\?)\mathbf{u} = \sum_{a=1, Nen} \mathbf{B}_a(\?)\mathbf{u}_a,$$

où les matrices \mathbf{B} sont calculées en tant que :

$$\mathbf{B} = [\mathbf{B}_a], \quad \mathbf{B}_a = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_a}{\partial x} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_a}{\partial y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial N_a}{\partial z} \\ \frac{\partial N_a}{\partial y} & \frac{\partial N_a}{\partial x} & 0 \\ \frac{\partial N_a}{\partial z} & 0 & \frac{\partial N_a}{\partial x} \\ 0 & \frac{\partial N_a}{\partial z} & \frac{\partial N_a}{\partial x} \end{bmatrix}, \quad a = 1, Nen$$

Les fonctions de forme dérivées dans les éléments de la matrice \mathbf{B} sont calculées en tant que :

$$\frac{\partial N_a}{\partial \mathbf{x}} = (\mathbf{J}^{-1})^T \frac{\partial N_a}{\partial \xi}, \quad \mathbf{J} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial x}{\partial \zeta} \\ \frac{\partial y}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \zeta} \\ \frac{\partial z}{\partial \xi} & \frac{\partial z}{\partial \eta} & \frac{\partial z}{\partial \zeta} \end{bmatrix}$$

- **Contraintes (élasticité linéaire)**

$$\mathbf{s} = [\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}, \sigma_{xy}, \sigma_{xz}, \sigma_{yz}]^T,$$

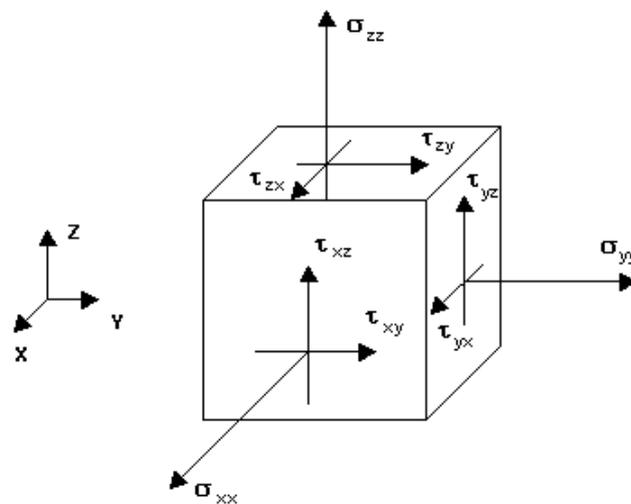
$$\mathbf{s} = \mathbf{D}(\mathbf{B}\mathbf{u} - \varepsilon^o),$$

où ε^o représente les déformations imposées (influences thermiques, de contraction), et \mathbf{D} est une matrice constitutive; la matrice constitutive \mathbf{D} (matériau linéairement élastique, isotrope) est présentée ci-dessous :

$$\mathbf{D} = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\nu}{1-\nu} & \frac{\nu}{1-\nu} & 0 & 0 & 0 \\ & 1 & \frac{\nu}{1-\nu} & 0 & 0 & 0 \\ & & 1 & 0 & 0 & 0 \\ & & & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} & 0 & 0 \\ & \text{sym.} & & & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} & 0 \\ & & & & & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} \end{bmatrix}$$

Convention des signes

Les structures volumiques dans le logiciel Robot sont modélisés à l'aide des éléments finis volumiques isoparamétriques avec une approximation du champ des déplacements par les fonctions de forme du premier rang. La convention des signes est présentée de façon schématique sur la figure ci-dessous. La convention est présentée pour les contraintes ; les contraintes représentées sur le dessin ont le signe positif.



3.7. Opérations sur les objets 2D (extrusion, révolution, union) et 3D (congé 3D et chanfrein)

Le système *Robot Millennium* dispose des options permettant de créer des éléments 3D simples à la suite de l'extrusion ou de la révolution des objets 2D créés préalablement.

L'option *Extrusion* est disponible :

- après la sélection de la commande *Extrusion* accessible dans le menu *Structure/Objets*.
- après un clic sur le bouton **Extrusion** disponible dans la boîte de dialogue *Objets - opérations et modifications* (avant d'effectuer cette opération, un objet doit être sélectionné).

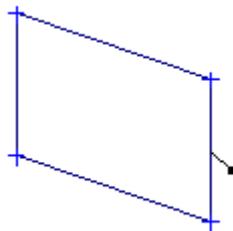
ATTENTION : L'option est disponible pour les structures de type plaque, coque et structure volumique.

Il existe deux méthodes de définition de l'extrusion de l'objet 2D ou 3D (solide) :

- La première méthode consiste à définir les trois coordonnées du vecteur définissant la direction de l'extrusion et la longueur de l'extrusion.
- La deuxième méthode de définition de l'opération d'extrusion consiste à sélectionner l'axe du repère global qui définira la direction de l'extrusion, de même vous devez spécifier la longueur de l'extrusion de l'objet.

Pour effectuer l'opération d'extrusion suivant la méthode de définition du vecteur :

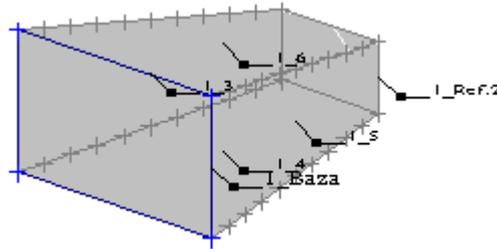
1. définissez un objet 2D, par exemple un rectangle (conf. la figure ci-dessous)



2. sélectionnez cet objet
3. ouvrez la boîte de dialogue *Extrusion*
4. définissez les paramètres de l'opération d'extrusion ; pour le rectangle défini, prenez les paramètres suivants : Extrusion suivant le vecteur donné à coordonnées (0,10,0), nombre des divisions égal à 10, options Base inférieure et Base supérieure désactivées, facteur d'échelle égal à 0.5, option Nouvel objet désactivé.

5. cliquez sur le bouton **Appliquer** pour effectuer l'opération d'extrusion pour le rectangle défini.

A la suite de cette opération, l'objet représenté sur la figure ci-dessous sera généré.



L'option *Révolution* sert à créer des éléments volumiques simples en utilisant la révolution des objets 2D ou 3D autour de l'axe sélectionné.

L'option est disponible :

- après la sélection de la commande *Révolution* accessible dans le menu *Structure/Objets*.
- après un clic sur le bouton **Révolution** disponible dans la boîte de dialogue *Objets - opérations et modifications* (avant d'effectuer cette opération, un objet doit être sélectionné).

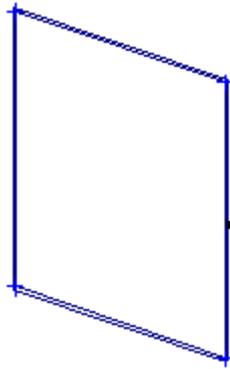
Pour effectuer l'opération de révolution (rotation) de l'objet 2D donné, vous devez définir les paramètres suivants : axe de rotation (début de l'axe et fin de l'axe), la valeur de l'angle de rotation, nombre de divisions, base supérieure, base inférieure, échelle et nouvel objet.

A titre d'exemple, une description de l'opération de révolution d'un carré est donnée ci-dessous.

Pour effectuer l'opération de révolution du carré :

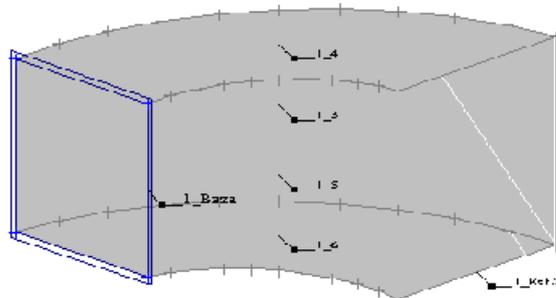
1. définissez l'objet 2D (carré) à sommets aux coordonnées suivantes :

(0,0,-6), (0,0,0), (6,0,0), (6,0,-6), conf. la figure ci-dessous.



2. sélectionnez cet objet
3. ouvrez la boîte de dialogue **Révolution**
4. définissez les paramètres de l'opération de révolution ; pour le carré défini on prendra les paramètres suivants : début de l'axe (12,0,0), fin de l'axe (12,0,-6), angle égal à -90° , nombre de divisions égal à 10, options Base inférieure et Base supérieure désactivées, échelle égale à 1.2, option nouvel objet désactivée
5. cliquez sur le bouton **Appliquer** pour effectuer l'opération de révolution pour le carré défini.

A la suite de cette opération, l'objet représenté sur la figure ci-dessous sera généré.



Lors de la génération des objets à l'aide des options décrites, les éléments formant l'objet sont créés ; (bord, base, côté), ils sont signalés de façon appropriée. La syntaxe des listes pour les éléments composant l'objet a été présentée dans le chapitre 2.2.6.

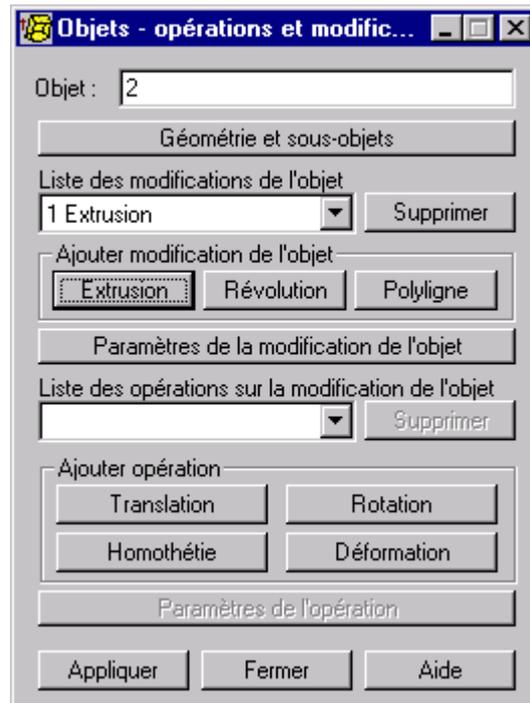
Pour éditer et modifier les objets définis à l'aide des opérations d'extrusion ou de révolution, vous pouvez utiliser l'option *Objets – opérations et modifications*.

L'option est disponible après la sélection de la commande *Modifier objets* accessible dans le menu *Edition/Modifier sous-structure*.

La boîte de dialogue se divise en quatre parties :

- champ *Objet* présentant le numéro ou l'identificateur de l'objet créé/sélectionné

- zone *Géométrie et sous-objets*
- zone *Paramètres de la modification de l'objet*
- zone *Opérations sur la modification de l'objet.*



Un clic sur le bouton **Géométrie et sous-objets** ouvre la boîte de dialogue *Polyligne - contour*.

Dans cette boîte de dialogue vous pouvez définir l'objet qui sera soumis aux modifications et/ou opérations sur les modifications données.

La partie de la boîte de dialogue *Paramètres de la modification de l'objet* regroupe les options permettant de sélectionner la modification de l'objet ou de définir les paramètres de la modification.

Dans le logiciel, trois types de modification de l'objet sont disponibles : *Extrusion*, *Révolution* et *Extrusion suivant polyligne*. Après un clic sur un des boutons disponibles dans la boîte de dialogue *Ajouter la modification de l'objet*, la modification sélectionnée vient s'ajouter à la liste définissant les étapes successives de la modification de l'objet 2D défini.

Les opérations de modification effectuées sur l'objet défini peuvent être supprimées.

- Après la sélection de la modification de l'objet



- Après la modification de l'objet dans la liste et après un clic sur le bouton **Supprimer** disponible à côté de la *Liste de modifications de l'objet*, la modification sélectionnée est supprimée de la liste.

- Après la sélection de la modification de l'objet et un clic sur le bouton **Paramètres de la modification de l'objet**, la boîte de dialogue *Objets - opérations et modification* est agrandie et les paramètres de la modification sélectionnée sont affichés (*Extrusion, Révolution ou Extrusion suivant polyligne*).

Les paramètres des modifications mentionnées ont été décrits à l'occasion des opérations spécifiques, à savoir extrusion, révolution et extrusion suivant polyligne.

Après la définition de la modification de l'objet, un clic sur le bouton **Appliquer** entraîne la réalisation de la modification de l'objet conformément aux paramètres des modifications définies.

La zone *Opérations sur les modifications de l'objet* regroupe les options permettant de sélectionner les opérations effectuées sur les modifications de l'objet définies dans la partie supérieure de la boîte de dialogue.

Ces options permettent aussi de définir les paramètres des opérations sur la modification.

Dans le logiciel, quatre types de modification de l'objet sont accessibles : *Translation, Rotation, Homothétie et Déformation*.

Après un clic sur un des boutons disponibles dans la zone *Ajouter opération*, l'opération sur la modification sélectionnée dans la partie supérieure de la boîte de dialogue sera ajoutée à la liste définissant les opérations successives sur la modification de l'objet 2D défini.

Les opérations sur la modification de l'objet peuvent être supprimées.

Après la sélection de la modification de l'objet, un clic sur le bouton **Supprimer** disponible à côté de la *Liste de modifications de l'objet*, la modification sélectionnée est supprimée de la liste.

Après la sélection de la modification de l'objet et un clic sur le bouton **Paramètres de l'opération**, la boîte de dialogue *Objets - opérations et modification* est agrandie et les paramètres de l'opération sur la modification sélectionnée sont affichés (*Translation, Rotation, Homothétie et Déformation*).

Les paramètres de la translation et de la rotation sont les mêmes que ceux de l'extrusion et de la révolution. L'opération d'homothétie permet de définir le(s) coefficient(s) de mise à l'échelle de l'objet pour les axes spécifiques du système de coordonnées. Si la valeur de l'échelle est supérieure à 1.0, l'objet sera agrandi dans la direction donnée, si la valeur de l'échelle est inférieure à 1.0, l'objet sera réduit dans la direction donnée.

L'opération de déformation permet d'effectuer la translation des points caractéristiques de l'objet lors de sa modification (par exemple, pour un objet rectangulaire, ses sommets peuvent être déplacés).

Autrement dit, si l'objet sur lequel l'extrusion est effectuée est un carré, après une définition convenable des paramètres de la déformation, il peut devenir un trapèze après l'extrusion.

Après la définition de la modification de l'objet et de l'opération sur la modification de l'objet, un clic sur le bouton **Appliquer** entraîne la réalisation des opérations définies et la modification de l'objet conformément aux paramètres adoptés.

L'option *Union des objets* sert à créer des objets complexes à base des objets 2D définis préalablement. L'option est disponible dans le menu, après la sélection de la commande : *Structure/Objets/Union des objets* ou par un clic sur l'icône  dans la barre ouverte par l'icône.

L'option est disponible seulement pour deux types de structure plaque/coque et structure volumique. Après la sélection de cette option, la boîte de dialogue ci-dessous s'affiche à l'écran.



ATTENTION : *L'aspect de la boîte de dialogue et les opérations booléennes disponibles dépendent de la méthode de création des objets booléens sélectionnée. Vous pouvez sélectionner la technologie ACIS Kernel (voir **Préférences / Avancé**) ou les mécanismes internes du logiciel Robot.*

ATTENTION : *L'utilisation de la technologie ACIS n'est pas recommandée pour les types de structures suivantes : plaque, contrainte plane, déformation plane et structures axisymétriques.*

Les options disponibles dans cette boîte de dialogue permettent d'effectuer l'union des objets 2D et 3D définis (tubes, parallélépipèdes, arcs etc.) en objets complexes. Pour les objets 2D, les opérations seront effectuées pour les surfaces et non pas pour les objets volumiques (3D).

Dans le logiciel, les opérations suivantes sur les objets définis préalablement sont disponibles :

- opérations booléennes à deux arguments – intersection, disjonction (séparément pour les structures surfaciques et volumiques), réunion, soustraction
- opérations booléennes à un argument - réunion, disjonction, intersection
- coupure.

Les opérations énumérées ci-dessus sont effectuées au moyen des mécanismes internes du logiciel **Robot**. Parmi les opérations booléennes effectuées au moyen du noyau ACIS, les types d'opérations booléennes suivants sont disponibles : intersection, réunion, partition, soustraction, inclusion et partition (les trois derniers types sont disponibles uniquement pour les opérations à deux arguments).

Afin de pouvoir effectuer les opérations booléennes à l'aide des modules ACIS Kernel, vous devez activer l'option *Noyau géométrique ACIS* dans la boîte de dialogue **Préférences/Avancé** (ATTENTION : l'option Noyau géométrique ACIS est disponible dans la boîte de dialogue, si l'option ACIS Kernel est accessible dans la protection du logiciel **Robot**).

Lors de l'utilisation de la technologie ACIS, vous devez vous rendre compte des limitations suivantes :

- il est impossible de modifier l'opération booléenne effectuée, c'est-à-dire, après avoir effectuée une opération quelconque (p. ex. découpage d'un trou dans le solide), vous ne pouvez plus modifier/corriger les paramètres de l'opération ; à cet effet, vous pouvez annuler l'opération à l'aide de l'option UNDO ou effectuer des opérations booléennes supplémentaires qui permettront de revenir à l'état initial de la structure
- il est impossible d'unir les éléments de type plaque avec les éléments de type coque (la coque ne peut pas ni pénétrer le solide ni être contiguë au solide).

L'activation de l'option *Noyau géométrique ACIS* influence le fonctionnement des options disponibles dans le logiciel **Robot**, à savoir : *Congé 3D* et *Chanfrein*. Ces options sont

accessibles dans le menu *Géométrie/Objets* ou par un clic sur les icônes appropriées :  et . Elles servent à créer les arcs (congés) entre les bords des faces constituant l'objet 3D ou les chanfreins entre deux bords des faces constituant l'objet 3D.

Dans la présente version du logiciel **Robot**, vous disposez des options d'édition utilisant la technologie ACIS, à savoir :

- Congé 3D
- Chanfrein
- Union des objets
- Union des faces

- Déplacement des faces
- Courbure des objets
- Etirement des objets
- Torsion des objets
- Voilement des objets.

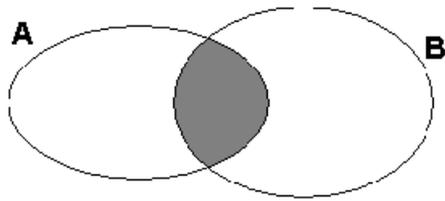
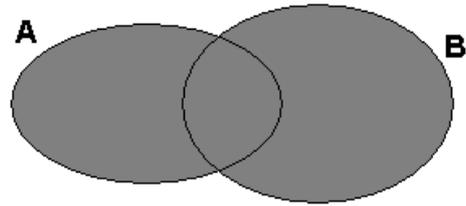
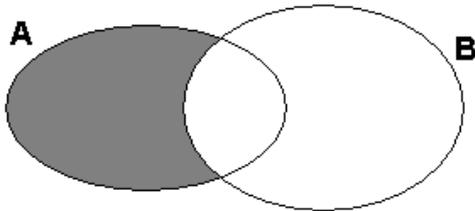
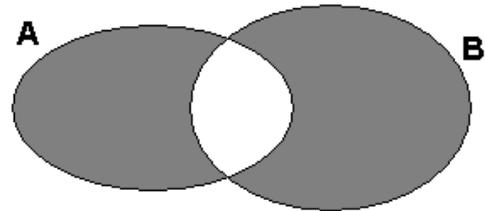
De plus, les options ci-dessous ont été complétées des opérations sur les bords des objets utilisant la technologie ACIS (elles ne fonctionnent que si les bords des objets ont été sélectionnés)

- extrusion
- extrusion suivant polyligne
- révolution
- suppression
- opération de transformation disponibles (y compris la transformation multiple).

ATTENTION : Dans le cas où vous effectuez l'union des objets surfaciques (de type plaque ou coque), il ne faut pas utiliser le maillage par la méthode de Coons ; pour ce type d'objets, vous devez utiliser la méthode de Delaunay.

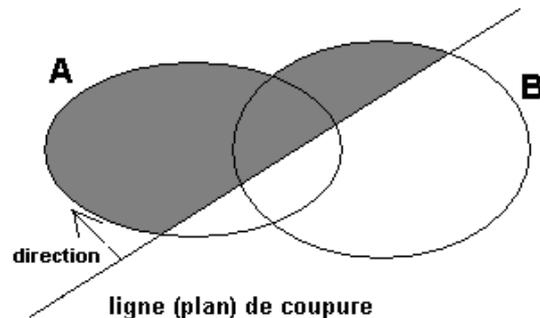
Afin d'effectuer les opérations booléennes (à un ou deux arguments), il faut :

- définir le numéro de l'objet complexe qui sera créé à la base des objets sélectionnés
- sélectionner une opération à un ou à deux arguments
- sélectionner le type de l'opération booléenne (intersection, disjonction, réunion, soustraction) – voir les figures ci-dessous
- définir la liste des objets qui seront pris en compte lors de la création de l'objet complexe
- cliquer sur le bouton **Appliquer**.

intersection $A \cap B$ somme $A \cup B$ différence $A - B$ disjonction exclusive $A \text{ ou } B$, c-à-d
 $A \text{ ou } B = (A \cup B) - (A \cap B)$

L'opération coupe permet de définir les parties des surfaces des objets sélectionnés qui se trouveront d'un des côtés du plan défini. Le résultat de cette opération est un objet « découpé » dans les objets sélectionnés par le plan défini ; la définition de la direction permet de déterminer quelle partie des objets sélectionnés sera « découpée ».

L'exemple de cette opération est présenté sur la figure ci-dessous. Deux objets A et B seront soumis à l'opération de la coupe. La ligne (plan) de coupe et la direction (un point quelconque sur un des côtés de la ligne ont été définies. Le résultat de cette opération est l'objet présenté en gris comme sur la figure ci-dessous.



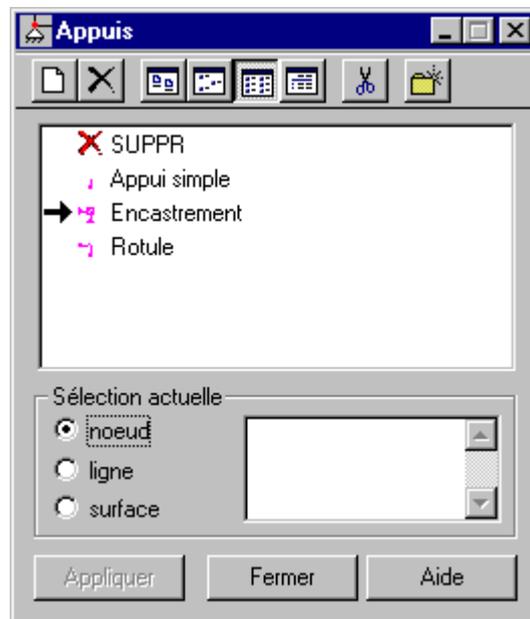
PS : Prendre plutôt l'exemple de l'intersection de deux cylindres et de la coupe d'un cylindre par un plan (ce sera plus parlant).

3.8. Appuis

Afin d'affecter les appuis aux nœuds d'appui de la structure, vous pouvez procéder de plusieurs manières, à savoir :

- dans le menu déroulant *Structure*, sélectionner la commande *Appuis...*
- dans la barre d'outils **Définition de la structure**, cliquer sur l'icône 
- sélectionner le bureau prédéfini **APPUIS**.

Il apparaît alors la boîte de dialogue représentée ci-dessous :



Le type d'appui sélectionné peut être affecté aux objets suivants :

- nœuds (points)
- lignes (bords des contours) - concerne les structures de type plaque et coque et les structures volumiques
- surfaces - concerne les structures de type plaque et coque et les structures volumiques.

De même que dans la boîte de dialogue de définition des autres attributs de la structure, le procédé de définition d'un appui se divise en deux étapes :

Définition du type d'appui

Si la liste active d'appuis ne contient pas d'appui défini ou bien si vous voulez ajouter un appui type à la liste existante, il faut cliquer sur l'icône **Définir un nouveau type d'appui**. Deux situations sont alors possibles :

Si aucun type d'appui n'est mis en surbrillance, un clic sur l'icône **Nouvel appui** ouvre la boîte de dialogue de définition des nouveaux types d'appuis; la boîte de dialogue de définition d'appuis s'ouvre alors ; ses champs proposent soit les paramètres du dernier appui saisi (sauf le champ *Nom*) soit prennent les paramètres par défaut ;

Les types d'appui suivants sont disponibles :

- Appui rigide (avec la possibilité de modéliser le soulèvement de l'appui)
- Appui élastique
- Appui avec amortissement.
- Appui non-linéaire

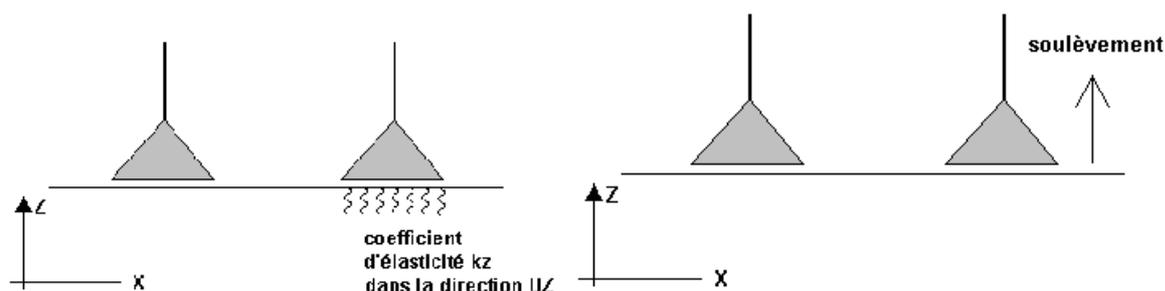
La définition d'un nouveau type d'appui comprend la sélection des degrés de liberté bloqués dans le nœud (UZ, RX, RY, RZ) et éventuellement, la définition, par exemple, du coefficient de sol Winkler KZ pour cet appui, de la valeur des coefficients d'élasticité du sol dans une direction appropriée (dans le cas de l'appui élastique), ainsi que des coefficients d'amortissement (dans le cas de l'appui avec amortissement) ou les appuis avec le modèle de non-linéarité défini. Les appuis peuvent être définis dans le repère global ou local.

L'option permet de définir le comportement non-linéaire des appuis, relâchements et nœuds compatibles. Elle peut être utilisée dans tous les types de structure. L'option est lancée à partir de l'onglet *Non-linéaire* dans les boîtes de dialogue de définition des appuis, relâchements et nœuds compatibles.

Il est possible de définir la dépendance non-linéaire entre la force (moment) et le déplacement (rotation) pour les directions sélectionnées (degrés de liberté). Ces dépendances sont définies séparément pour chaque direction (pas d'interaction). Dans la présente version du logiciel, les types de non-linéarités suivants sont disponibles : linéaire, bilinéaire, parabolique, parabolique suivant EC2, plasticité idéale, plasticité par écrouissage, écart/crochet et fonctionnel.

De plus, pour chaque direction, vous pouvez définir le soulèvement de l'appui. Trois possibilités sont disponibles : Aucun - le soulèvement ne se produira pas, "+" - le soulèvement se produira dans la direction conforme à l'orientation de l'axe (par exemple UX+), le soulèvement se produira dans la direction inverse à l'orientation de l'axe (par exemple UZ-). Si le soulèvement a été défini pour l'appui (par exemple, le soulèvement dans le sens de l'axe Z c'est-à-dire UZ+), il est également possible de définir, par

exemple, le coefficient de sol Winkler KZ pour cet appui, pourtant, il ne faut pas oublier que le coefficient de l'élasticité du sol sera alors défini seulement pour le sens inverse au sens du soulèvement (c'est-à-dire pour UZ-) - voir les dessins ci-dessous :

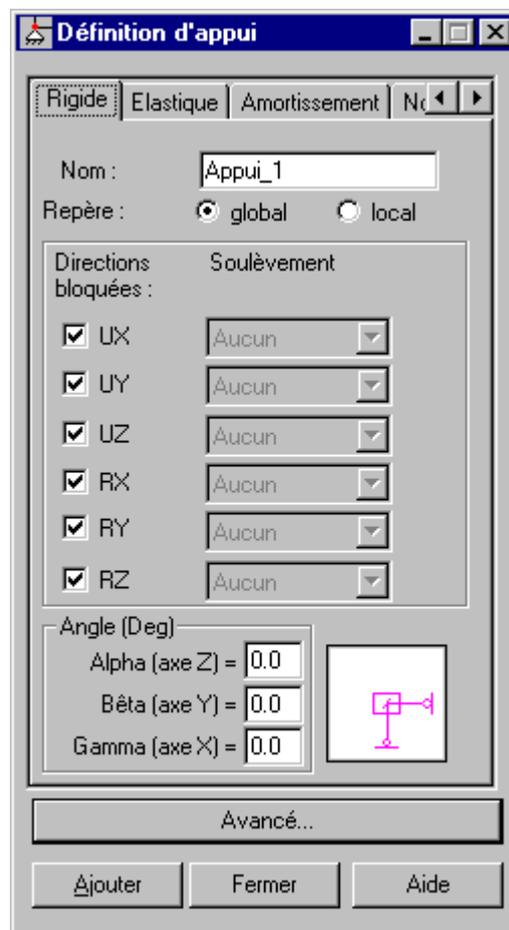


Dans la partie inférieure de la boîte de dialogue le bouton Avancé est disponible. Après un clic sur ce bouton, le logiciel affiche la boîte de dialogue supplémentaire **Définition de l'appui - avancé**, dans laquelle vous trouverez les options qui servent à définir les paramètres spécifiques des appuis utilisés lors de la modélisation et de l'analyse des structures en béton armé. Les options de cette boîte de dialogue sont utilisées dans le module de calcul du ferrailage des dalles BA.

L'onglet *Elastique* contient le bouton **Coefficient d'élasticité** ; un clic sur ce bouton ouvre la boîte de dialogue **Sols constructibles – calculs du coefficient K**. Cette boîte de dialogue sert de calculette pour définir la valeur du coefficient d'élasticité K pour le sol stratifié.

1. Si un type d'appui est mis en surbrillance, un clic sur l'icône Nouvel appui ouvre la boîte de dialogue de définition des nouveaux types d'appuis, les champs de la boîte de dialogue en question prennent les paramètres de l'appui mis en surbrillance (sauf le champ Nom).

Vous pouvez également ouvrir la boîte de dialogue de définition d'appuis en faisant un double clic sur un élément se trouvant dans la liste des appuis actifs.



Par conséquent la boîte de dialogue *Définition d'appuis* s'ouvre ; tous ses champs prennent les valeurs du type d'appui sur lequel vous avez cliqué.

Après avoir effectué les modifications des paramètres de l'appui, vous l'ajoutez à la liste active (ou bien vous le mettez à jour) par un clic sur le bouton **Ajouter** ou en appuyant sur le bouton <Entrée>.

Si le nom n'est pas modifié, le logiciel affichera un message d'avertissement. Cette option accessible dans la boîte de dialogue permet une modification facile des paramètres de l'appui.

Affectation de l'appui aux nœuds de la structure

L'affectation d'un nouvel appui dans la structure peut être effectuée de façon analogue au mode d'affectation des sections.

Afin de supprimer un appui affecté à un nœud de la structure, vous devez utiliser l'appui zéro (icône **Supprimer**) toujours présent dans la liste active. L'appui zéro ne peut pas être modifié : vous pouvez l'affecter d'une façon semblable au mode d'affectation des autres attributs de la structure.

Après l'affectation de l'appui, son symbole est dessiné à l'écran graphique.

3.8.1. Définition des appuis élastiques (sols stratifiés)

Dans le logiciel **Robot**, il est possible de définir les valeurs équivalentes du coefficient d'élasticité du sol stratifié. Lors de l'installation du logiciel **Robot**, l'assistant d'installation installe également la calelette des sols permettant de calculer le coefficient équivalent pour le sol stratifié.

Le coefficient d'élasticité peut être utilisé dans la définition :

- de l'appui élastique
- du sol élastique pour les barres
- du sol élastique pour les panneaux.

La calelette permet de calculer le coefficient d'élasticité directement à partir du profil géotechnique du sol stratifié défini.

La calelette permet de :

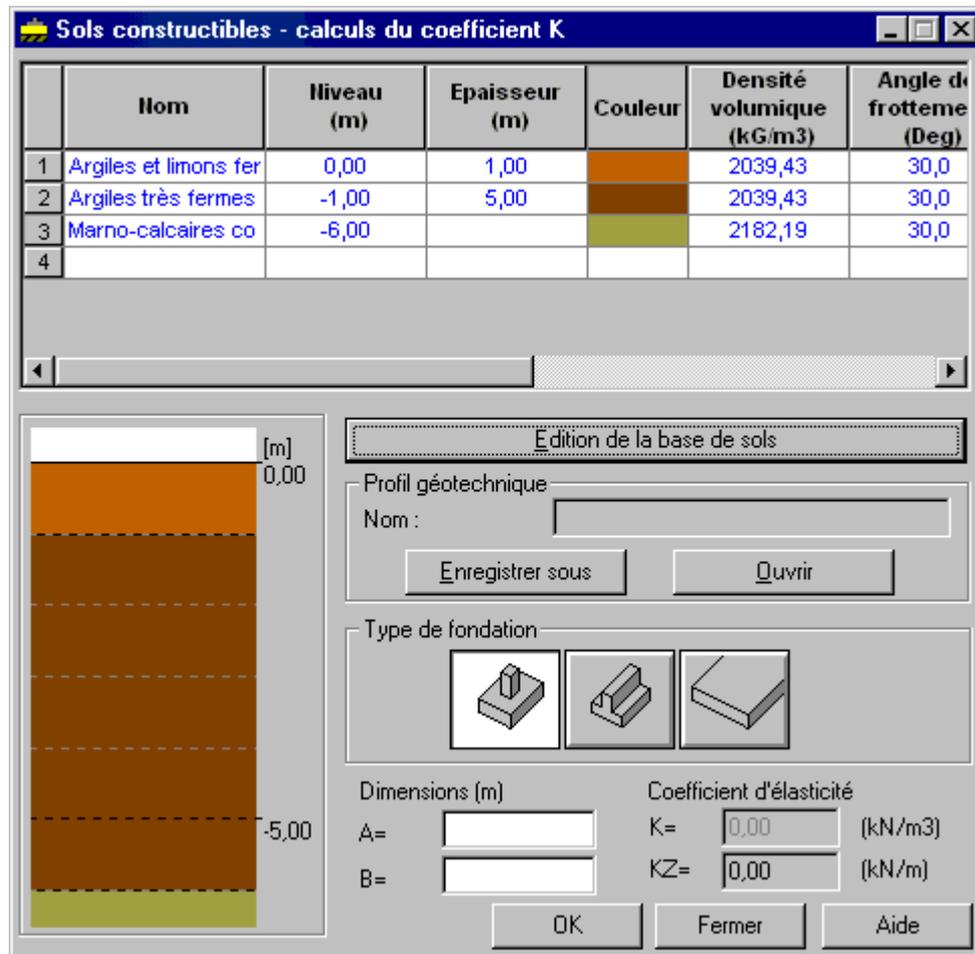
- définir le profilé du sol à partir de la base du sol disponible contenant les caractéristiques des sols
- enregistrer et ouvrir le profil géotechnique défini par l'utilisateur
- calculer le coefficient d'élasticité pour le profil défini
- transférer la valeur calculée vers les boîtes de dialogue de définition de l'appui ou du sol.

Cette option fonctionne comme un outils indépendant qui permet de calculer le coefficient de poussée du sol pour la fondation défini et pour le sol. Le profil enregistré peut être utilisé dans les calelettes BA et dans la calelette de longrines.

La calelette est disponible par :

- le menu *Outils / Sols constructibles*
- un clic sur l'icône  *Sols constructibles* disponible dans la barre d'outils *Outils*
- un clic sur l'icône de la calelette disponible sur le bureau de votre ordinateur
- la sélection de l'option *Sols constructibles - calculs du coefficient K* disponible dans le groupe de programme créé lors de l'installation de **Robot**
- après un clic sur le bouton **Coefficient d'élasticité** disponible dans quelques boîtes de dialogue du logiciel **Robot** (la boîte de dialogue *Nouvel appui*, *Nouveau type de sol élastique*, *Nouvelle épaisseur*).

Après le lancement de la calelette, la boîte de dialogue présentée sur la figure ci-dessous s'affiche. Cette boîte de dialogue (module) sert à calculer le coefficient équivalent.



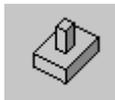
Dans la calculette, le coefficient K est calculé à partir des valeurs moyennes des contraintes sous la fondation pour la surface unitaire. La calculette détermine également le coefficient KZ équivalent pour la fondation aux dimensions données.

Afin de définir le coefficient équivalent K pour le sol stratifié, il faut :

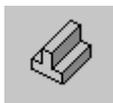
- dans le tableau disponible dans la partie supérieure de la boîte de dialogue, définir les paramètres des couches successives du sol (vous disposez des sols définis dans la base de sols sélectionnée dans la boîte de dialogue *Préférences de l'affaire* du logiciel *Robot*) - les couches successives seront présentées de façon schématique dans la partie inférieure gauche de la boîte de dialogue.

Après avoir sélectionné le type de sol dans la liste déroulante disponible dans la colonne *Nom*, vous devez définir le niveau de la couche du sol donnée ; cela est défini par deux paramètres : *Niveau* ou *Epaisseur*; les autres paramètres sont pris à partir de la base de sols

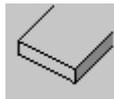
- sélectionner le type de fondation :



semelle isolée aux dimensions *A* et *B* ; l'unité du coefficient KZ est (force/longueur) ; la valeur calculée $KZ = K * A * B$ peut être utilisée lors de la définition du coefficient d'élasticité dans la boîte de dialogue de définition des appuis



semelle filante aux dimensions A (longueur de la semelle) et B (largeur de la semelle) ; l'unité du coefficient KZ est (force/longueur²) ; la valeur calculée $KZ = K * B$ peut être utilisée lors de la définition du coefficient d'élasticité dans la boîte de dialogue de définition du type de sol élastique



radier de fondation aux dimensions $A \times B$; l'unité du coefficient K est (force/longueur³) ; la valeur calculée $KZ = K$ peut être utilisée lors de la définition du coefficient d'élasticité dans la boîte de dialogue de définition du type d'épaisseur du panneau

- définir les dimensions du type de fondation sélectionné
- après la définition des dimensions, appuyer la touche **Tab** ou **OK** - dans le champ $K =$ la calculatrice donne la valeur du coefficient équivalent pour le sol stratifié.

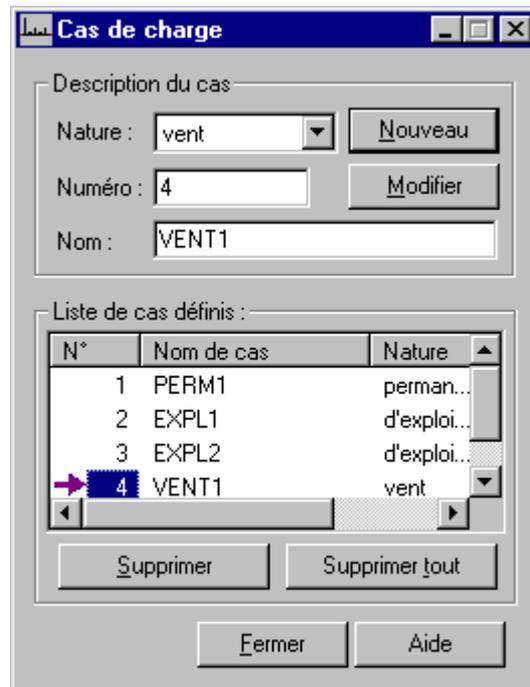
Un clic sur le bouton **OK** permet de transmettre la valeur calculée du coefficient K vers le champ d'édition disponible dans la boîte de dialogue *Nouvel appui*, *Nouveau type de sol élastique* ou *Nouvelle épaisseur* (à moins que la boîte de dialogue soit ouverte et le champ d'édition de définition du coefficient d'élasticité soit disponible).

ATTENTION : Le transfert des valeurs du coefficient K se fait uniquement vers les champs d'édition KY , KZ dans les boîtes de dialogue ci-dessus. Les valeurs du coefficient d'élasticité doivent être transférées vers la boîte de dialogue appropriée, conformément au type de fondation sélectionné.

Le profil géotechnique défini peut être enregistré sur votre disque dur ; un clic sur le bouton **Enregistrer sous** permet d'enregistrer le profil dans le fichier *.mdb (base de données). Le champ *Nom* présente le nom du profil géotechnique courant avec le chemin d'accès complet. Un clic sur le bouton **Ouvrir** permet d'ouvrir le fichier avec les paramètres du profil géotechnique définis.

3.9. Chargements

Afin de définir des charges appliquées à la structure, la solution la plus facile est de sélectionner le bureau prédéfini **CHARGEMENTS**. L'écran sera divisé en trois parties : l'éditeur graphique permettant la définition de la structure, la boîte de dialogue *Cas de charge* représentée ci-dessous et le tableau de définition des charges pour les cas de charge créés.



Dans la boîte de dialogue représentée sur la figure ci-dessus, vous devez définir les cas de charge pour la structure étudiée. Pour chaque cas de charge, il faut donner la nature, le numéro et le nom (le logiciel propose le nom par défaut de cas de charge). Après un clic sur le bouton *Nouveau*, le cas de charge sera défini et ajouté à la liste de cas définis affichée dans la partie inférieure de la boîte de dialogue *Cas de charge*.

Les paramètres du cas de charge défini pour la structure peuvent être modifiés. Pour cela, vous pouvez utiliser le bouton **Modifier**. Pour modifier les paramètres du cas de charge défini pour la structure :

- dans la liste des cas de charge définis, sélectionnez le cas de charge dont vous voulez modifier les paramètres
- changez le numéro, le nom ou la nature du cas de charge
- cliquez sur le bouton **Modifier**.

Pour les cas de charges définis dans le système *Robot Millennium*, vous pouvez définir les natures suivantes, par exemple : poids propre, permanentes, exploitation, vent, neige, thermiques, accidentelles et sismiques.

Après avoir défini les cas de charges, vous devez passer au tableau affiché dans la partie inférieure du bureau **CHARGEMENTS**, dans ce tableau vous pouvez définir les charges appliquées à la structure pour chaque cas de charge défini.

Vous pouvez le faire de deux façons :

1. Passez au tableau affiché dans la partie inférieure du bureau **CHARGEMENTS** dans lequel vous pouvez choisir les charges agissant dans les cas de charge définis.

Cas	Type de charge	Liste							
1	poide propre	1.A0	-Z	MEMO					
2	charge uniforme	2	PX=C,0	PZ=-3E,00	global	non projetés	absolues	EE=0,0	MEMO :
2	charge trapézoïdale	1	X1-C,0	PX1-0,0	PZ1- 2E,00	X2-1,00	PX2-0,0	PZ2- 10,00	local

Afin de définir les charges sollicitant la structure pour un cas de charge spécifique, il faut effectuer les actions suivantes :

- Cliquez le bouton gauche de la souris sur le champ *Cas de charge* et sélectionnez dans la liste affichée le cas de charge voulu défini dans la boîte de dialogue *Cas de charge*.
- Pour le cas de charge sélectionné, définissez le type de la charge sollicitant la structure. Après un clic sur la colonne *Type de charge*, la liste des types de charge disponibles dans le système *Robot Millennium* est affichée, à savoir pour les :

- ◆ Portiques ou treillis plans ou spatiaux des forces appliquées :

aux nœuds : nodales, déplacements imposés et masse ajoutée,

sur les barres : uniforme, trapézoïdale, concentrée, couple, dilatation, charge thermique, charge surfacique et masse ajoutée,

le poids propre de la structure

- ◆ Pour les structures type plaques et coques des forces appliquées :

aux nœuds : nodales, déplacements imposés et masse ajoutée,

sur une surface uniforme, surfacique, linéaire, surfacique thermique, pression

le poids propre sur la structure entière ou sur des éléments sélectionnés

- Afin de sélectionner les barres/nœuds auxquels la charge sera appliquée, il faut cliquer sur-le-champ approprié de la colonne *Liste* et, ensuite, sélectionner les barres/nœuds voulus (dans la zone de travail de l'éditeur graphique ou à l'aide de la commande *Sélectionner* disponible dans le menu contextuel de l'éditeur graphique).

Après la sélection du type pour la charge appliquée, la ligne correspondante du tableau de charges sera adaptée au type de charge sélectionné, c'est-à-dire que seules les colonnes nécessaires à la définition du type de charge sélectionné seront affichées ; par exemple, pour une charge uniforme appliquée à un portique plan, le logiciel affichera les colonnes de

définition de charges en directions x et z (respectivement, les valeurs p_x et p_z) et les colonnes dans lesquelles vous pouvez définir si la charge doit être appliquée dans le repère local ou le repère global et si la charge doit être projetée ou non projetée.

2. Pour obtenir le même effet, vous pouvez ouvrir la boîte de dialogue **Charge** servant à définir les charges pour les cas de charge créés.

La boîte de dialogue **Charge** est accessible après la sélection de la commande *Définir charges* affichée dans le menu *Chargements* ou par l'icône **Charge** dans le bureau prédéfini **CHARGEMENTS**.

ATTENTION : La commande Définir charges est inactive si aucun cas de charge n'a été sélectionné.

Il apparaît alors la boîte de dialogue représentée sur la figure ci-dessous.



La partie supérieure de la boîte de dialogue affiche deux informations :

- le cas de charge sélectionné (nom et numéro) pour lequel la charge sera définie
- le type de charge appliqué aux barres/nœuds de la structure.

La boîte de dialogue comprend quatre onglets : *Nœuds*, *Barres*, *Surface* et *Poids propre*.

Après la sélection de l'onglet *Nœuds*, le logiciel affiche les icônes ci-dessous :



ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir les valeurs des forces nodales



ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir les valeurs des déplacements imposés des nœuds d'appui



ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir les valeurs des masses (poids) ajoutées



ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir les valeurs des forces dans le point appliquées à la structure (l'option est disponible pour les structures de type plaque et coque).



supprime le type de charge nodale sélectionné. Afin de supprimer une charge appliquée à la structure, vous devez sélectionner le type de charge à supprimer et sélectionner les nœuds pour lesquelles vous voulez supprimer les charges.

ATTENTION : L'icône **Masse Ajoutée** devient disponible après la définition d'un cas dynamique et après la sélection de ce cas.

Après la sélection de l'onglet *Barres*, le logiciel affiche les icônes ci-dessous :



ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir les valeurs de la charge uniforme



ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir les valeurs de la charge trapézoïdale



ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir les valeurs des forces concentrées appliquées en un point quelconque



ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir les valeurs de la dilatation



ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir les valeurs de la charge thermique



ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir les valeurs des charges surfaciques



ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir les valeurs des masses (poids) ajoutées sur barres



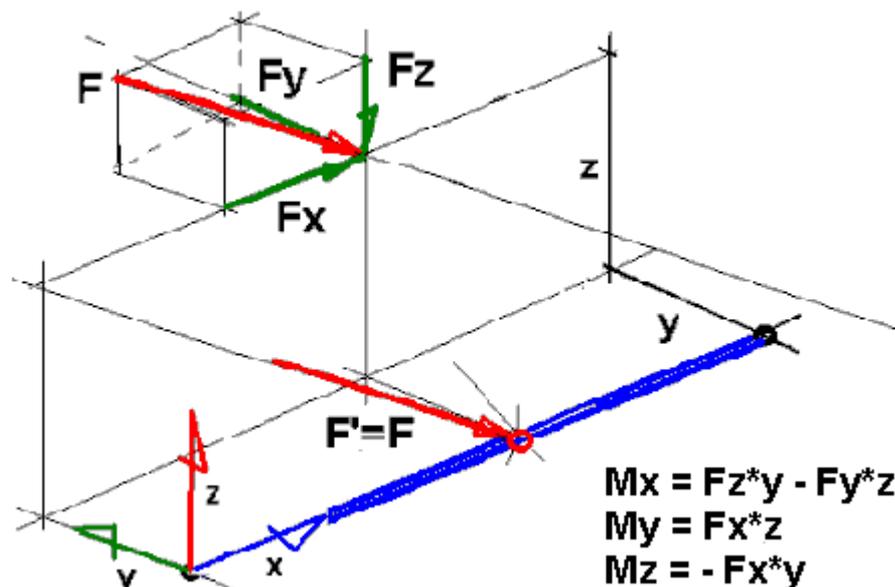
supprime le type de charge sur barres sélectionné. Afin de supprimer une charge appliquée à la structure, vous devez sélectionner le type de charge à supprimer et sélectionner les barres pour lesquelles vous voulez supprimer les charges.

*ATTENTION : L'icône **Masse sur barres** devient disponible après la définition d'un cas dynamique et après la sélection de ce cas.*

Dans le logiciel, vous pouvez prendre en considération les charges qui ne sont pas appliquées sur l'axe de la barre (charges excentrées). Si de tels excentrements géométriques sont présents sur l'axe de la barre, le point d'application de la force est défini par rapport au repère local de l'élément. Cette fonction permet de définir les forces appliquées à la barre avec un certain désaxage par rapport à l'axe longitudinal de la barre. La position (distance de la force par rapport de l'axe longitudinal de la barre) est définie dans le repère local de la barre.

Les charges excentrées peuvent être définies pour les types de charge suivants : force (concentrée) et moment appliqués à un point sur la barre (charge sur barre), charge uniforme sur barre. L'option est accessible par un clic sur le bouton **Charges excentrées** dans les boîtes de dialogue des types de charges ci-dessus mentionnées.

Les charges excentrées définies sont réduites à l'axe de la barre (voir la figure ci-dessous définissant la charge par la force concentrée) : La force concentrée doit être répartie en forces composantes, dans la direction du repère local des axes de l'élément F_x , F_y , F_z . Ensuite, vous pouvez calculer les moments supplémentaires en repère local : $M_x = F_z * y - F_y * z$, $M_y = F_x * z$ i $M_z = F_x * y$.



Après la sélection de l'onglet *Surface*, le logiciel affiche les icônes ci-dessous :



ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir les valeurs de la charge uniforme appliquée aux éléments finis surfaciques



ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir les valeurs de la charge linéaire appliquée aux éléments finis surfaciques



ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir les valeurs de la charge surfacique variable définie par 3 points, appliquée aux éléments finis surfaciques



ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir les valeurs de la pression hydrostatique appliquée aux éléments finis surfaciques



ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir les valeurs de la charge uniforme appliquée au contour défini



ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir les valeurs de la charge surfacique variable définie par 3 points appliquée au contour défini



ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir les valeurs de la charge thermique appliquée aux éléments finis surfaciques



ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir les valeurs de la charge linéaire appliquée aux bords définis



supprime le type de charge surfacique sélectionné.

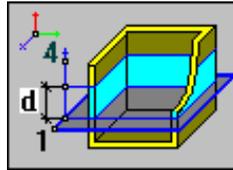
Afin de supprimer une charge appliquée à la structure, vous devez sélectionner le type de charge à supprimer et sélectionner les éléments pour lesquels vous voulez supprimer les charges.

ATTENTION : Dans le cas des structures volumiques (solides), la boîte de dialogue contient l'option Charges sur les solides. Si vous cochez cette option, les charges définies seront appliquées aux structures volumiques.

Le logiciel vous offre la possibilité de définir les parties des panneaux auxquelles le type de charge sur EF sélectionné sera appliqué. A cet effet, vous disposez de l'option *Limitations géométriques*. L'option est disponible après un clic sur le bouton **Limitations géométriques** affiché dans les boîtes de dialogue de définition des charges surfaciques uniformes, charges surfaciques définies par trois points, charges par pression uniforme et hydrostatiques et charges thermiques sur EF. L'option est également accessible dans le tableau de chargements (après un clic sur le bouton **Limitations**), si vous avez choisi un des types de charge énumérés ci-dessus.

La charge sera appliquée à la partie sélectionnée du panneau (objet) ; cette partie est déterminée par la direction définie par le plan (le point définit la couche dans laquelle agissent les charges définies).

La figure ci-dessous présente une telle couche d'épaisseur qui sera sollicitée par une charge.



Après la sélection de l'onglet *Poids propre*, le logiciel affiche les icônes ci-dessous :



un clic sur cette icône applique automatiquement la charge par poids propre à tous les éléments de la structure. La charge par poids propre agit dans la direction de l'axe Z du repère global, son sens est contraire au sens de cet axe.



un clic sur cette icône ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir la direction de l'action du poids propre.



supprime la charge par poids propre.

Afin de supprimer une charge par poids propre appliquée à la structure, vous devez sélectionner les éléments pour lesquels vous voulez supprimer les charges en question.

Il arrive souvent que le poids propre soit affecté aux barres/panneaux de la structure avant que vous définissiez toutes les barres/panneaux de la structure étudiée. En conséquence, le poids propre n'est pas affecté aux barres/panneaux qui ont été définis après l'affectation du poids propre. En effet, la structure sollicitée en partie par le poids propre sera prise en compte dans le calcul. De même, si vous effectuez l'opération d'édition (translation, rotation, etc.) à l'aide de l'option *Extrusion* active : les barres créées à la suite de cette opération ne sont pas non plus sollicitées par le poids propre.

Afin de faciliter la prise en compte du poids propre pour la structure entière, les attributs : *Structure entière* et *Partie de la structure* ont été ajoutés à la ligne du tableau de chargement définissant la charge par le poids propre. Si dans le tableau, l'option *Structure entière* est active, lors de la génération des données de calcul pour toutes les barres/panneaux de la structure, le poids propre est ajouté automatiquement. L'attribut *Structure entière* peut être défini de deux manières :

- dans la boîte de dialogue *Poids propre* : si l'utilisateur clique sur l'icône servant à l'affectation du poids propre à la structure entière (toutes les barres/panneaux), cela signifie que le poids propre sera automatiquement affecté à la structure entière

- dans le tableau de chargements : en sélectionnant l'option *Structure entière* dans la ligne qui définit le cas de charge par le poids propre (c'est la valeur par défaut de l'attribut).

Dans le logiciel **Robot**, il est possible de générer les charges dues à la précontrainte dans les éléments BA (béton précontraint). Les calculs des pertes dans les éléments précontraints peuvent être effectués d'après les normes suivantes :

- norme polonaise PN-B-03264:1999
- norme EuroCode 2 (ENV 1992-1 : 1999)
- norme américaine ACI 318-99
- norme française BAEL 91.

Après la sélection d'une des normes ci-dessus (options *Préférences de l'affaire / Normes*), sélection de l'élément de la structure BA et sélection de l'option *Analyse / Analyse des éléments précontraints* dans le menu, **Robot** appelle la feuille de calcul du système **ESOP** permettant le calcul et la génération des charges dues à la précontrainte. Les données relatives à l'élément sélectionné dans la structure (longueur de l'élément et dimensions de la section) sont transférées dans la feuille de calcul ; après les calculs effectués dans la feuille de calcul **ESOP**, la structure est modifiée (des cas de charge sont ajoutés).

*ATTENTION: Pour que la liaison entre les logiciels **Robot** et **ESOP** soit opérationnelle, il faut que les deux logiciels soient installés sur le disque dur. Si le système **ESOP** n'est pas disponible lors de la sélection de la commande *Analyse / Analyse des éléments précontraints*, le logiciel affiche un message stipulant que l'installation du système **ESOP** est nécessaire.*

Actuellement, trois feuilles de calcul sont disponibles pour les structures précontraintes (béton à cordes d'acier). Les feuilles de calcul en question assurent le calcul et la génération des charges dues à la précontrainte avec la prise en compte des pertes immédiates, à savoir:

- pertes dues au frottement du câble contre les parois du chemin
- pertes dues au glissement du câble dans l'ancrage
- pertes dues à la déformation élastique du béton

Les informations détaillées sur le mode de fonctionnement des feuilles de calcul en question sont disponibles dans les descriptions de celles-ci dans le logiciel **ESOP** (aide en ligne).

Après la définition du type de charge, vous pouvez affecter des charges aux barres/nœuds de la structure de trois façons :

- saisissez les numéros des barres/nœuds/panneaux dans le champ *Appliquer à* et cliquez sur le bouton **Appliquer**
- affectez la charge définie aux barres/nœuds/panneaux spécifiques de la structure (le pointeur prend alors la forme du symbole de la charge)

- effectuez la sélection graphique des barres/nœuds/panneaux de la structure et cliquez sur le bouton **Appliquer**.

Si les charges sont définies sur le bureau Chargements du logiciel Robot, dans le coin bas droit de l'écran graphique, la légende des types de charges définis jusqu'alors est affichée.

La légende contient (la taille de la description des symboles dépend de la taille de la police choisie) : le symbole de la charge et les unités utilisées lors de la définition de la charge.

Dans le tableau ci-dessous, nous présentons les symboles utilisés pour les types de charges correspondants :

SYMBOLE	TYPE DE CHARGE
-PZ	pois propre (dans ce cas, c'est le poids dans la direction de l'axe Z - sens inverse par rapport au sens de l'axe).
	charge uniforme
	force concentrée
	moment
	déplacement imposé, dilatation
	charge thermique
	charge surfacique
	charge roulante
	masses (poids)

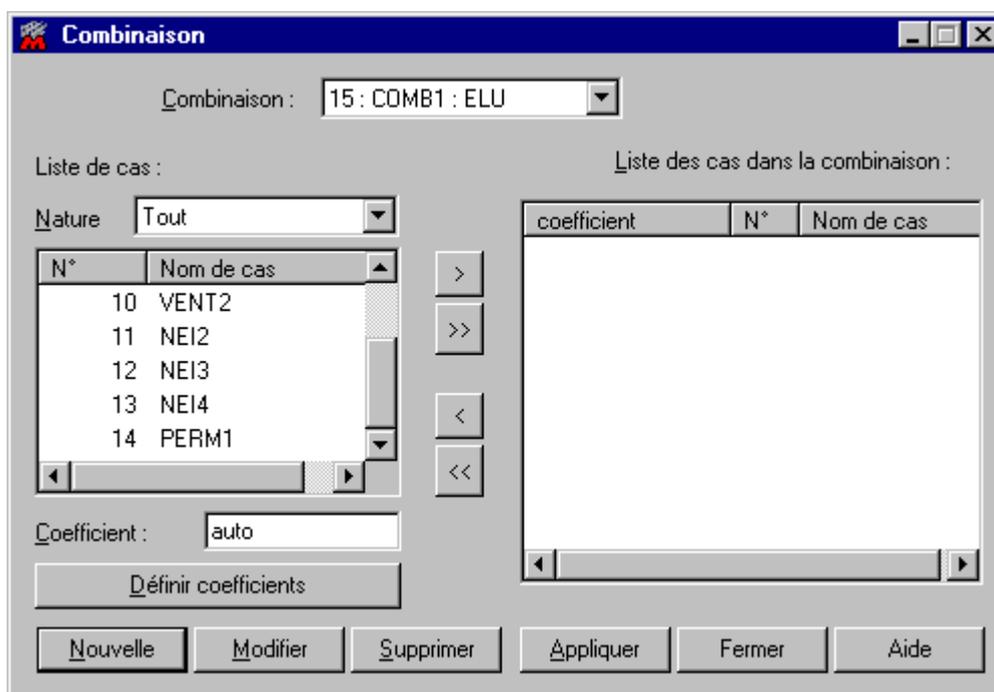
ATTENTION: *Les symboles des types de charges définis peuvent être aussi présentés sur l'écran graphique (sur le bureau quelconque de Robot), si vous avez activé l'option Symboles disponible dans l'onglet Charges de la boîte de dialogue **Affichage des attributs**.*

A la fin de chaque enregistrement de charge, le champ *Memo* est disponible. Ce champ permet d'ajouter une description à chaque charge (l'utilisateur peut saisir une description supplémentaire de la charge active p. ex. *les charges sont transmises sur la barre de la structure de type toiture*

Dans le tableau de chargement, un champ *Memo* vous permet de saisir un texte de description des charges que vous définissez de façon à mieux contrôler les valeurs numériques entrées.

3.9.1. Combinaisons de charges

Le système *Robot Millennium* permet aussi de créer une combinaison de cas de charge créés. Pour ce faire, il faut sélectionner la commande *Combinaisons* disponible dans le menu *Chargements* ou par l'icône **Combinaison** dans le menu *Chargements*. Après la sélection du type de combinaison (ELU, ELS, accidentelle) et de la nature de combinaison, il faut donner le nom de la combinaison et définir les cas de charge agissant dans la combinaison et leurs coefficients respectifs. Après la sélection du type général de combinaison, le logiciel affiche la boîte de dialogue *Combinaison* affichée sur la figure ci-dessous.



Le champ situé à gauche de la boîte de dialogue affiche tous les cas de charge définis. Afin de créer une combinaison de cas de charge, vous devez mettre en surbrillance les cas de charge voulus et, ensuite, cliquer sur le bouton .

Les cas de charge sélectionnés et les coefficients correspondants définis pour la nature de charge (vous pouvez aussi définir le coefficient de façon manuelle dans le champ *Coefficient*) seront transférés dans le champ à droite de la boîte de dialogue ; par conséquent, la combinaison sera définie.

La création d'une nouvelle combinaison de cas de charges s'effectue après un clic sur le bouton **Nouvelle**.

Vous pouvez aussi modifier une combinaison existante ; pour ce faire, cliquez sur le bouton **Modifier**.

La modification de la combinaison est effectuée de la même façon que la définition de la combinaison.

Le statut « auto » du champ coefficient permet l'attribution automatique de pondérations par rapport aux natures utilisées.

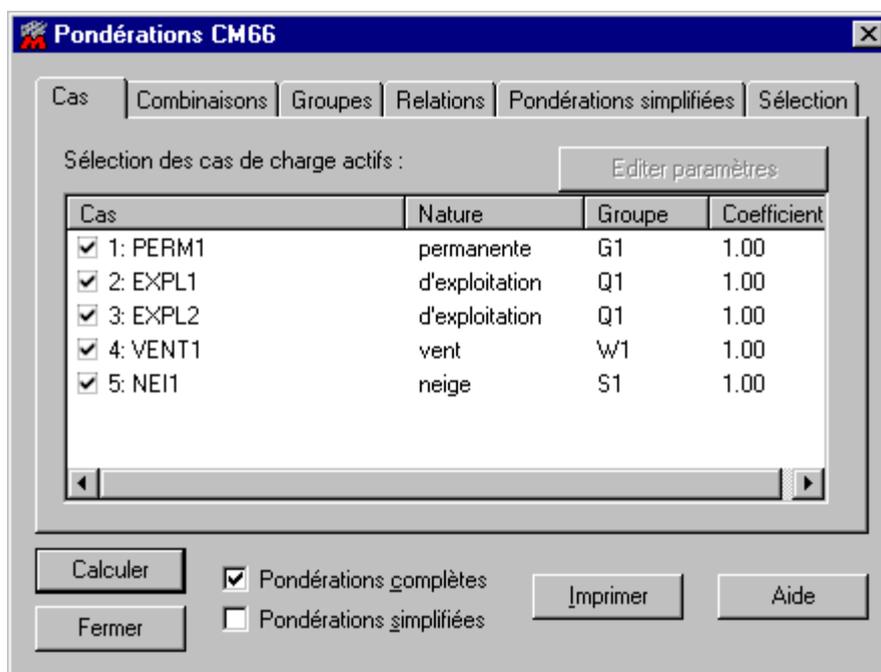
Vous pouvez visualiser et/ou modifier ces coefficients « automatiques » en cliquant sur le bouton **définir coefficient**.

3.9.2. Pondérations

Dans le logiciel **Robot Millennium**, l'option *Pondérations* sert à créer les combinaisons des cas de charges définies pour la norme sélectionnée (pour sélectionner la norme, utilisez la commande *Préférences de l'affaire*, option *Pondérations*).

L'option est disponible après la sélection de l'option *Pondérations* accessible dans le menu *Chargements*.

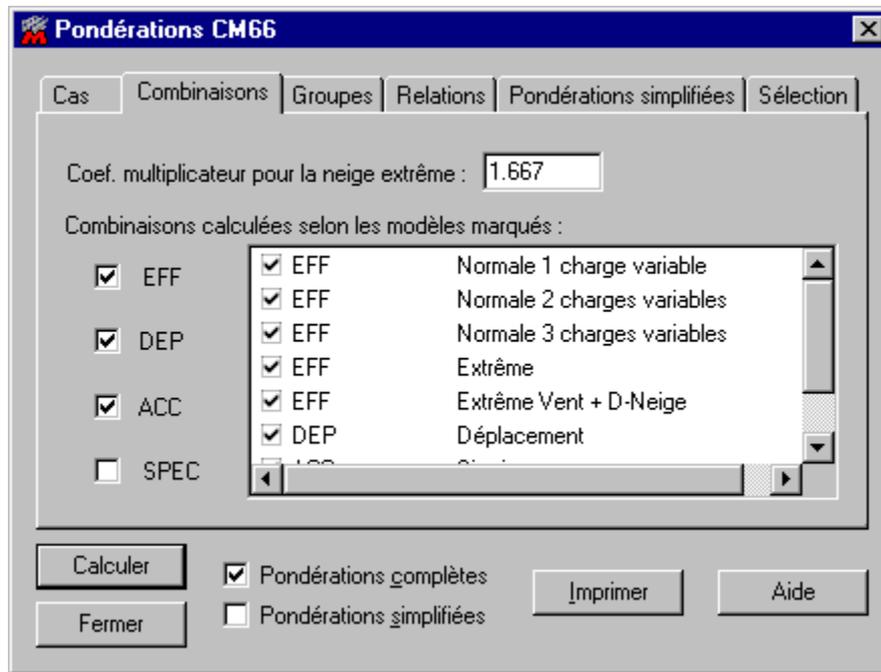
Dans le système **Robot Millennium**, le but des pondérations automatiques est de vous faciliter la définition et le calcul des combinaisons sélectionnées. La boîte de dialogue comprend six onglets : *Cas*, *Combinaisons*, *Groupes*, *Relations*, *Pondérations simplifiées* et *Sélection*. Après la définition des paramètres de création des combinaisons réglementaires (cas de charge, modèles de combinaisons, relations supplémentaires éventuelles etc.), cliquez sur le bouton **Calculer**. Les calculs actuels des pondérations consistent à définir toutes les combinaisons possibles (théoriquement admissibles) des cas de charge. En vue d'une analyse plus détaillée des combinaisons réglementaires, les cas ELS (ELU, accidentels) sont créés, ils permettent d'exploiter les résultats séparément pour chaque combinaison créée de même que pour les combinaisons composantes mêmes. Les cas en question sont aussi utilisés dans les calculs réglementaires. Pour la présentation des maxima et des minima dans les tableaux, les cas désignés comme ELS+, ELS- (ELU+, ELU-, ACC+, ACC-) sont créés, ce qui permet d'afficher les valeurs extrêmes correspondantes. Le fait d'avoir sélectionné le cas ELS, ELS+, ELS- n'a aucune importance pour la présentation graphique (diagrammes).



L'onglet *Cas* représenté sur la figure ci-dessus sert à sélectionner les cas de charge définis pour la structure, les cas de charge sélectionnés seront pris en compte lors de la création des pondérations. Le champ *Sélection des cas de charge actifs* affiche la liste des cas de charge définis et leurs natures. Pour chaque cas de charge défini par la nature sélectionnée, les coefficients spécifiques sont définis, ces coefficients sont utilisés lors de la création de la combinaison.

Par défaut, tous les cas de charge affichés dans le champ *Sélection des cas de charge actifs* sont sélectionnés (le nom et le numéro de chaque cas sont accompagnés du symbole ✓). Si vous voulez qu'un cas de charge ne soit pas pris en compte lors de la définition des pondérations, il suffit de cliquer du bouton gauche de la souris sur le nom du cas en question.

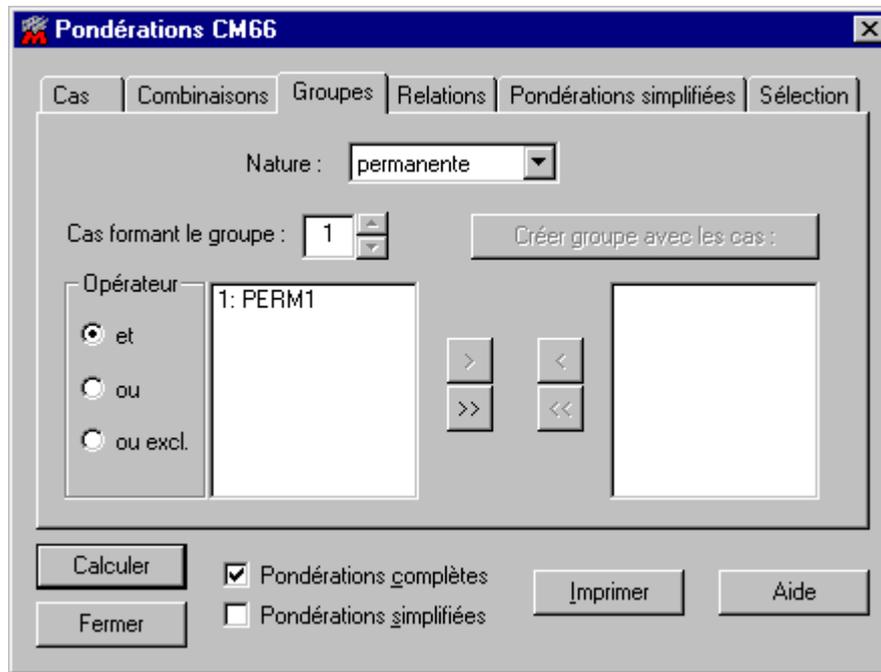
L'onglet *Combinaisons* sert à définir les types des pondérations à créer.



Les procédures numériques permettent de calculer plus d'une dizaine de types de combinaisons (modèles) décrits dans les fichiers de règlements. En fonction du règlement de la combinaison sélectionné et du nombre de coefficients etc., les règlements en question sont regroupés dans les modèles et utilisés dans les différentes normes suivant le principe : le règlement pour les combinaisons des charges permanentes, variables, accidentelles et sismiques. Le fichier de règlement définit quels sont les règlements à utiliser par le logiciel. ATTENTION : la présente version du logiciel **Robot** contient une application supplémentaire **PondEdit** (dans le répertoire *SYSTEM / EXE* du logiciel **Robot**) permettant d'éditer ou de créer les fichiers de règlement.

De même que pour la définition du nombre de cas actifs, avant de calculer les pondérations, vous pouvez décider quels modèles seront exclus. Si vous gardez tous les cas actifs, la liste complète des combinaisons sera créée selon chacun des modèles sélectionnés.

L'onglet *Groupes* sert à définir et à visualiser les groupes des cas de charge liés par des relations logiques.



Dans la présente version du logiciel, toutes les charges permanentes forment un groupe de charges « conjointes » (agissant simultanément). Les charges de neige et vent forment des groupes de cas « disjoints » pour lesquels la présence d'un des cas exclut la présence d'un autre. Toutes les autres charges variables sont des charges pour lesquelles les relations entre les charges spécifiques n'existent pas.

Le logiciel crée les relations et les groupes mentionnés de façon automatique. Cette approche résout de façon automatique le problème de combinaisons obligatoires. Pour les combinaisons plus avancées, vous pouvez utiliser les options disponibles dans l'onglet *Relations*. Les options en question permettent de créer des relations logiques entre les groupes de cas de la même nature.

Les opérateurs logiques utilisés sont **ET**, **OU** et **ET/OU** (conjonction ou disjonction). Lors de la création des relations, vous pouvez utiliser les parenthèses pour inclure ou exclure des groupes de cas sélectionnés.

Pour expliquer le fonctionnement des opérateurs spécifiques, l'exemple bref est présenté ci-dessous.

Supposons que trois groupes de cas de charge soient définis pour la structure (G1, G2 et G3). Le fonctionnement des opérateurs logiques est le suivant :

- **ET** - si vous sélectionnez cet opérateur, l'action de toutes les charges sera simultanée (la structure sera chargée simultanément par les cas de charge appartenant aux groupes G1, G2 et G3) ;

De façon symbolique, on peut le représenter comme :
G1 G2 G3

- OU - si vous sélectionnez cet opérateur, l'action des charges appartenant aux groupes spécifiques s'exclura mutuellement (la structure sera chargée soit par les cas de charge du groupe G1 soit par ceux du groupe G2 soit par ceux du groupe G3) ;

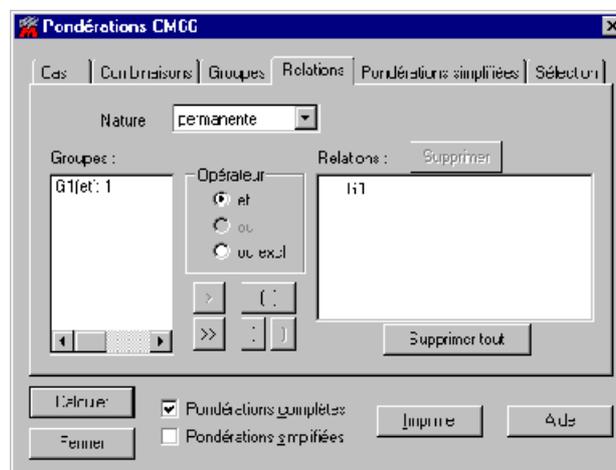
De façon symbolique, on peut le représenter comme :

G1
G2
G3

- ET/OU - si vous sélectionnez cet opérateur, toutes les combinaisons de groupes de cas de charge seront admissibles ;

De façon symbolique, on peut le représenter comme :

G1
G2
G3
G1 G2
G1 G3
G2 G3
G1 G2 G3.



Pour les affaires plus complexes (plus de 10 cas de charge pour lesquels les pondérations sont créées), la génération des pondérations peut durer longtemps, par conséquent le mécanisme de génération des pondérations simplifiées a été créé. Ce mécanisme permet de générer les combinaisons extrêmes en fonction d'une grandeur voulue ou d'une combinaison de grandeurs. A cet effet, vous pouvez utiliser les options accessibles dans l'onglet *Pondérations simplifiées*.

Dans une telle situation, vous devez définir le nombre de points et la grandeur (effort, moment, contrainte) décisive. Le logiciel déterminera quelles sont les combinaisons fournissant de telles valeurs, seules les combinaisons trouvées seront enregistrées comme pondérations pour la barre sélectionnée. Pour l'interaction de deux valeurs sélectionnées, le système essaiera de définir l'enveloppe de ces variables.



Pour les problèmes plus complexes, la génération des pondérations simplifiées peut être effectuée pour les barres/nœuds sélectionnés dans la structure. A cet effet, vous pouvez utiliser les options disponibles dans l'onglet *Sélection* :

- toutes les barres (les grandeurs sélectionnées dans l'onglet *Pondérations simplifiées* seront vérifiées pour toutes les barres de la structure) ou les barres listées (les grandeurs sélectionnées dans l'onglet *Pondérations simplifiées* seront vérifiées pour les barres saisies dans le champ approprié)
- tous les nœuds (les grandeurs sélectionnées dans l'onglet *Pondérations simplifiées* seront vérifiées pour tous les nœuds de la structure) ou les nœuds listés (les grandeurs sélectionnées dans l'onglet *Pondérations simplifiées* seront vérifiées pour les nœuds saisis dans le champ approprié).

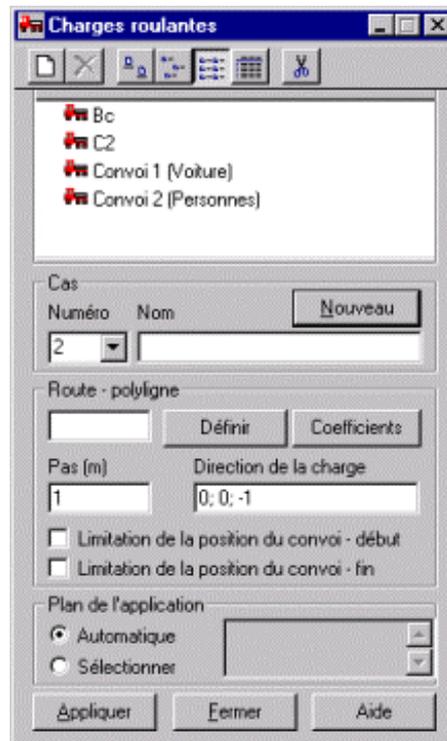
3.9.3. Charges roulantes

Le système **Robot Millennium** permet de définir des charges roulantes, c'est à dire : la charge d'un convoi modélisé par une combinaison de forces quelconque (forces concentrées, charges linéaires et charges surfaciques).

L'option est disponible :

- après la sélection de la commande *Roulantes* disponibles dans le menu *Chargements/Autres charges*
- après un clic sur l'icône **Charges roulantes**  affichée dans la barre d'outils.

Le logiciel affiche alors la boîte de dialogue représentée sur la figure ci-dessous.



Les charges roulantes sont définies par :

- les caractéristiques du convoi
- sa route sur la structure.

Le convoi est un ensemble de forces de directions, valeurs et positions données. Pour chaque pas, le convoi est déplacé d'une position vers la suivante. Le cas de charge roulante est ainsi considéré comme un ensemble de plusieurs cas de charge statiques (un cas de charge pour chaque position du convoi).

La partie supérieure de la boîte de dialogue regroupe les icônes suivantes :

- =  - sert à **définir un nouveau type de convoi**
- =  - sert à supprimer le type de convoi sélectionné de la liste active
- = , ,  et  - affiche la liste de convois actifs en utilisant de grandes icônes, de petites icônes, une liste ou une liste détaillée.
- =  - supprime de la liste de convois actifs tous les types d'appuis non utilisés dans la structure étudiée.

La procédure à suivre pour définir un cas de charge roulante pour la structure étudiée est :

- Définition et sélection du convoi qui sollicitera la structure ; Pour sélectionner le convoi, mettez-le en surbrillance sur la liste de types de convois actifs
- définition du cas de charge roulante
- Pour définir un cas de charge roulante, saisissez son numéro et son nom ; un clic sur le bouton **Nouveau** entraîne la création du nouveau cas de charge roulante
- définition de la route du convoi

Pour définir la route du convoi, cliquez sur le bouton **Définir**, le logiciel affiche alors la boîte de dialogue **Polyligne - contour**. Un clic sur le bouton **Coefficients** ouvre une boîte de dialogue supplémentaire dans laquelle vous pourrez définir les coefficients multiplicateurs pour le cas de charge roulante.

Deux autres paramètres définissent la charge roulante :

- **pas** - dans ce champ vous pouvez définir la valeur du pas pris entre les différentes positions successives du convoi.
- **direction de la charge** - dans ce champ, vous pouvez spécifier la direction des efforts définissant le convoi..

De plus, vous pouvez sélectionner les options relatives à **la limitation de la position des convois** sur la structure.

La partie inférieure de la boîte de dialogue concerne le plan de l'application de la charge :

Automatique - les efforts sont distribués de façon automatique sur les éléments les plus proches pris entre tous les éléments de la structure

Sélection les efforts seront appliqués seulement aux éléments les plus proches (ou aux nœuds appartenant à ces éléments) sélectionnés dans la liste active à droite.

Un clic sur le bouton **Appliquer** crée le nouveau cas de charge.

Les caractéristiques du convoi peuvent être affichées après les calculs de la structure (menu *Affichage /Attributs*, onglet *Charges*).

REMARQUES relatives à l'utilisation des charges roulantes pour les différents types de structures

Structures à barres

Pour les structures à barres (PORTIQUE, TREILLIS, GRILLAGE), il est possible d'appliquer les charges dues aux convois définis en utilisant les charges ponctuelles et linéaires. Les forces ponctuelles sont appliquées comme des charges concentrées sur les barres. Dans le cas où la force ne serait pas appliquée directement à la barre, le logiciel utilise un algorithme de

répartition de la charge sur les barres les plus proches. La force linéaire résultante est remplacée par 10 forces ponctuelles sur la longueur de la charge linéaire.

ATTENTION : Pour les structures à barres, il est impossible d'utiliser les convois modélisés par des surfaciques.

Structures de type plaque et coque

Pour les structures de type surfacique (PLAQUE et COQUE), il est possible d'utiliser tous les types de convois (charges ponctuelles, linéaires et surfaciques) :

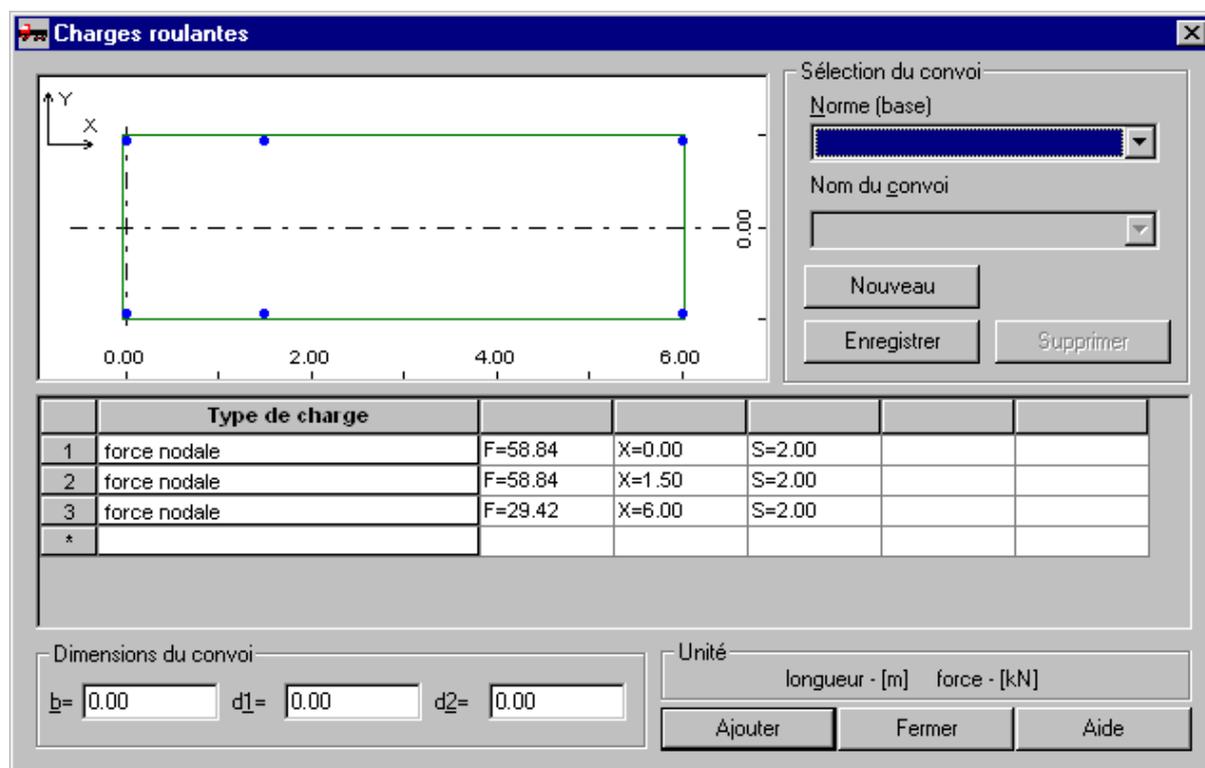
- La force concentrée est appliquée en tant qu'une charge ponctuelle géométrique sur les éléments surfaciques et répartie sur les éléments de type barre.
- La force surfacique est appliquée sur les éléments surfaciques en tant qu'une charge géométrique par contour.

ATTENTION : En utilisant le type de charge surfacique, l'application de la charge par contour est générée sur chaque panneau inclus dans la projection du contour. Pour appliquer ce type de charge seulement aux panneaux sélectionnés, il faut utiliser l'option Sélection dans la définition du cas de charge roulante.

Pour les structures mixtes (barres-coques), les charges linéaires et surfaciques sont appliquées aux éléments surfaciques. Pour appliquer la charge due au convoi directement sur les barres, il faut utiliser les forces ponctuelles dans la définition du convoi.

Définition d'un nouveau convoi

Un clic sur le bouton Nouveau convoi () dans la boîte de dialogue *Charges roulantes* ouvre la boîte de dialogue représentée sur la figure ci-dessous.



Dans cette boîte de dialogue vous pouvez sélectionner un convoi qui sera ajouté à la liste active des convois affichée dans la boîte de dialogue *Charges roulantes*.

La boîte de dialogue se divise en quatre parties :

En haut, à droite de la boîte de dialogue se trouve la zone *Sélection du convoi* contenant de champs de sélection *Norme (base)* et le *Nom du convoi*. De plus, trois boutons sont disponibles :

- **Nouveau** - permet de définir un nouveau convoi ; un clic sur ce bouton ouvre une boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez saisir le nom du nouveau convoi. Deux situations sont possibles : si après la définition des charges pour le nouveau convoi vous cliquez sur le bouton **Ajouter**, le convoi sera ajouté à la liste des convois actifs dans la boîte de dialogue *Charges roulantes* ; si après la définition des charges pour le nouveau convoi vous cliquez sur le bouton **Enregistrer**, le logiciel affichera une boîte de dialogue dans laquelle vous pourrez sélectionner le catalogue (base de données) de convois dans lequel le nouveau convoi sera enregistré
- **Enregistrer** - permet d'enregistrer le nouveau convoi dans le catalogue de convois sélectionné ; un clic sur ce bouton ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez sélectionner le catalogue de convois dans lequel le nouveau convoi sera enregistré.
- **Supprimer** - permet de supprimer le convoi sélectionné du catalogue de convois.

ATTENTION : il est possible de déclarer un catalogue de convois utilisateur dans la boîte de dialogue *Préférences de l'affaire* (option *Catalogue de convois*).

En haut, dans la partie gauche de la boîte de dialogue, le dessin schématique du convoi sélectionné est affiché.

La partie centrale de la boîte de dialogue affiche le tableau de définition des charges pour le convoi. Dans le logiciel, trois types de charges sont disponibles : force concentrée, charge linéaire et charge surfacique. Chacun des paramètres de la charge définie pour le convoi sélectionné peut être édité (modifié).

Pour chaque type de charge, vous devez définir les paramètres suivants :

force concentrée	F- valeur de la force concentrée X - valeur de la coordonnée du point d'application de la charge (le long de l'axe du convoi) S - largeur de l'espacement des forces
charge linéaire	Q- valeur de la charge linéaire X - valeur de la coordonnée de la ligne d'application de la charge (le long de l'axe du convoi) S - largeur de l'espacement de la charge linéaire (uniquement dans la direction de l'axe Y) Dx - longueur du segment auquel la charge est appliquée (le long de l'axe du convoi) Dy - longueur du segment auquel la charge est appliquée (parallèlement à l'axe du convoi)
charge surfacique	P- valeur de la charge surfacique X - valeur de la coordonnée de la ligne d'application de la force (le long de l'axe du convoi) S - largeur de l'espacement de la charge surfacique (uniquement dans la direction de l'axe Y) Dx - longueur du côté du rectangle auquel la charge est appliquée (le long de l'axe du convoi) Dy - longueur du côté du rectangle auquel la charge est appliquée (parallèlement à l'axe du convoi)

La partie inférieure de la boîte de dialogue contient deux champs :

- *Dimensions du convoi :*
 - b largeur du convoi
 - d1 distance entre la charge et le contour du convoi (mesurée à partir de l'avant du convoi)
 - d2 distance entre la charge et le contour du convoi (mesurée à partir de l'arrière du convoi)

- *Unités :*

force - affiche l'unité utilisée pour les valeurs des forces (vous pouvez la modifier dans la boîte de dialogue **Préférences de l'affaire**)

longueur - affiche l'unité utilisée pour les valeurs des longueurs (vous pouvez la modifier dans la boîte de dialogue **Préférences de l'affaire**).

3.9.4. Charges roulantes - Autoloader

L'option *charges roulantes* dans le logiciel **Robot** permet d'étudier les structures sollicitées par la charge par le convoi qui, lors de l'analyse, est déplacé vers les positions successives le long de la route définie pour la structure. Nous obtenons alors un cas composé contenant les composantes dues à chaque position du convoi. Cette approche s'avère fort utile dans le cas où vous analysez le mouvement du convoi sur la route à une voie. Dans le cas des ponts qui peuvent avoir plusieurs voies, il serait nécessaire de définir plusieurs cas de charges roulantes et, ensuite, analyser leurs combinaisons. Le nombre de combinaisons provenant de cette opération pourrait être important.

A présent, le logiciel **Robot** vous offre le module *Autoloader* qui sert à analyser les charges sur ponts avec la prise en compte des conditions réglementaires. Afin d'analyser les charges sur ponts de type Autoloader, le logiciel utilise les lignes (surfaces) de l'influence ; la ligne de l'influence est une forme bidimensionnelle de la surface de l'influence spatiale (tridimensionnelle). A partir de la surface de l'influence, vous pouvez obtenir la répartition de la charge qui donne l'effet le plus défavorable sur la grandeur décrite par la surface de l'influence définie. Autoloader effectue cette analyse et définit la plus défavorable configuration des charges pour la surface de l'influence donnée.

Autoloader fonctionne en tant que module interne de Robot. Le module crée de nouveaux cas de charges dont la configuration est la plus défavorable pour la surface de l'influence donnée. L'option *Charges roulantes - Autoloader* est accessible par :

- le menu *Chargements*, sous-menu *Autres charges*, commande *Roulantes - Autoloader*
- la barre d'outils, icône .

Les opérations dans le module Robot-Autoloader sont divisées en quelques étapes (définition des données et leur analyse), à savoir :

- définition des données géométriques et sélection des surfaces de l'influence
- définition des paramètres du module
- génération du modèle et lancement des calculs du cas auxiliaire avec les charges spécifiques
- génération du fichier d'entrée et lancement de l'analyse du module Autoloader

génération des cas de charge dans le modèle du logiciel Robot.

ATTENTION : Les surfaces de l'influence sont générées pour la charge spécifique qui agit sur la direction de l'axe Z (sens : minus Z). La dalle du pont doit être alors définie dans le plan horizontal (parallèle au plan XY) ; les charges sur pont auront la direction verticale (direction de l'axe Z).



Dans la boîte de dialogue ci-dessus vous pouvez définir les données géométriques et définir (sélectionner) la surface de l'influence (première étape).

Les surfaces de l'influence sont générées après l'application de la charge spécifique aux points successifs. Après la résolution de tous les cas spécifiques, le logiciel crée la surface de l'influence à partir des résultats de tous les cas.

Dans cette boîte de dialogue vous définissez les objets géométriques (surfaces et polygones) et leurs paramètres qui, ensuite, serviront à la génération des données pour l'analyse d'Autoloader. Lors de la définition des objets géométriques, vous devez désactiver l'option de l'enregistrement en format ACIS (voir : **Préférences / Avancés**).

Dans la zone *Dalle du pont (surface)*, champ *Objet*, vous pouvez saisir ou indiquer graphiquement l'objet de la surface sollicitée pour laquelle vous voulez générer la surface de l'influence. Un clic sur le bouton *Définir* ouvre la boîte de dialogue **Polyligne – contour** en mode *Contour* dans laquelle l'option de définition de la face est activée par défaut. Pour définir la dalle du pont, nous allons utiliser les surfaces de charge. Ces types d'objets ne participent pas à la rigidité de la structure, mais ils sont des objets géométriques qui servent à

générer les charges. La surface définie sert à déterminer l'étendue de la surface de l'influence. Dans cette zone, il est possible d'appliquer les charges spécifiques pour la génération de la ligne de l'influence et, de ce fait, il est possible d'appliquer les charges sur pont analysées dans le module Autoloader.

L'option *Barres : Automatique / Sélection* sert à définir le plan d'application de la charge ; l'option permet de définir le mode de répartition des forces définissant le convoi sur les barres de la structure. Deux options sont possibles, à savoir :

- *Automatique* - après la sélection de cette option les forces sont réparties automatiquement sur les éléments les plus proches sélectionnés parmi tous les éléments de la structure
- *Sélection* - après la sélection de cette option, les forces seront appliquées à la liste des éléments ou nœuds les plus proches définis par l'utilisateur ; pour les structures spatiales, vous devez définir la liste des barres du grillage de la dalle du pont qui transmettront les charges de la dalle.

Les boutons **Ajouter**, **Supprimer**, **Modifier** disponibles dans la zone *Surface de l'influence* servent à générer et modifier la surface de l'influence. La liste des surfaces définies est affichée dans le champ au-dessous de ces boutons.

Dans la zone *Voie - ligne/arc*, vous pouvez définir la position de la voie sur la dalle du pont. Les voies sont définies à l'aide de l'axe (ligne ou arc) et de la largeur. Sur une dalle du pont, vous pouvez définir plusieurs voies, mais toutes les voies doivent être de même type (segments droits ou fragments de l'arc).

Un clic sur le bouton **Définir** ouvre la boîte de dialogue *Polyligne – contour* en mode *Polyligne* dans laquelle vous pouvez définir l'axe de la voie.

Dans le champ *Objet*, vous devez saisir le numéro de l'objet (ligne ou arc) ou l'indiquer dans la fenêtre graphique. Dans le champ *Largeur*, vous définissez la largeur de la voie donnée. Un clic sur le bouton **Ajouter** permet d'ajouter la définition du couple objet-largeur à la liste. Les boutons **Supprimer** et **Modifier** permettent d'éditer cette liste.

Après la validation du jeu de paramètres défini et un clic sur le bouton **Appliquer** le logiciel ouvre la boîte de dialogue *Autoloader – paramètres*. Pour que la boîte de dialogue de définition des paramètres soit ouverte, les données géométriques doivent être correctes :

- vous devez indiquer le numéro de l'objet de la dalle du pont
- vous devez définir au moins une voie.

Le module Autoloader permet d'analyser les charges sur pont d'après les normes suivantes :

- UK - Highways Agency Departmental Standard BD 37/88 "Loads for Highway Bridges", y compris BS5400 Part 2:1978
- UK - Highways Agency Departmental Standard BD 21/97 "Assessment of Highway Bridges and Structures"



- Malaysia - JKR Highway Loading standard
- Hong Kong - spécifications élaborées en Hong Kong, en tant qu'annexe à la norme BD 37/88
- RU - chapitre RU de la norme BD 37/88
- RAIL - paramètres spécifiques de l'Autoloader utilisés pour les charges par train
- Australia - AUSTRROADS standard
- USA - AASHTO standard.

Dans le module Autoloader, vous pouvez analyser les types de charges sur pont suivants :

- charges normales composées des charges surfaciques (Uniformly Distributed Load - UDL) ou linéaires (Knife Edge Load - KEL) ; attention : dans les différentes normes, les mêmes types de charges peuvent être appelés de façons différentes : BD 37/88 les appelle HA, AUSTRROADS utilise L44, JKR utilise LTA
- charges accidentelles par convois (jeu de forces concentrées) ; la nomenclature utilisée dans les normes est différente : BD 37/88 définit les convois comme HB, AUSTRROADS - HLP, JKR utilise SV
- SDL - superimposed dead loading.

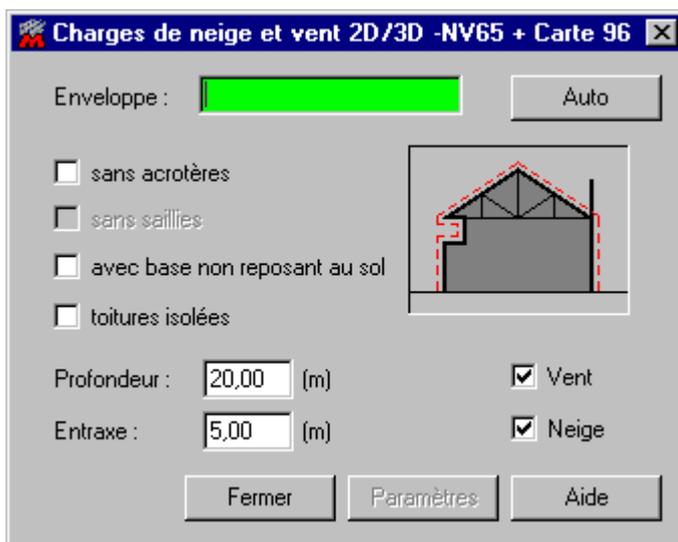
Il faut se rendre compte que l'analyse effectuée dans le module est approximative. Ce n'est qu'un utilitaire et les résultats doivent être vérifiés afin d'assurer la résolution correcte. L'analyse consiste à ce que le logiciel positionne les charges sur la surface de l'influence tout en prenant en considération les coefficients réglementaires appropriés.

Les surfaces de l'influence sont enregistrées en tant que maillage par points avec la division défini, et les valeurs entre les points sont interpolées de façon linéaire. De ce fait, la position des convois soumis à l'analyse est définie avec un certain pas. L'utilisateur peut contrôler la division du maillage et le pas du mouvement du convoi. Si le maillage est trop gros, il peut arriver que les résultats seront incorrects. La raffinement du maillage du pas augmentent la précision de la résolution. Vous devez vous rappeler que cela augmente la durée des calculs, c'est pourquoi - comme dans le cas de la plupart des calculs numériques - il faut choisir la meilleure solution entre la durée des calculs et leur précision.

3.10. Génération automatique des charges climatiques

Vous pouvez générer les charges de neige et vent après la sélection de la commande *Neige et Vent 2D* disponible dans le menu *Chargements*, sous-menu *Autres charges* ou par l'icône Neige et Vent disponible dans le bureau Chargement.

Il apparaît alors la boîte de dialogue représentée sur la figure ci-dessous (à titre d'exemple, la figure ci-dessous présente les options typiques des normes françaises NV65/N84 Mod.96 ou NV65+Carte96, normes Eurocode 1 (normes générales françaises, polonaises et britanniques) ou de la norme algérienne DTR C2-47/NV99).



ATTENTION : La boîte de dialogue *Charges de neige et vent* n'est accessible que lors de l'analyse de deux types de structure : **Portique plan** et **Treillis plan**. Pour les autres types de structure, la génération automatique des charges de neige et vent n'est pas possible. De même, l'option n'est pas accessible si aucune structure n'a été définie.

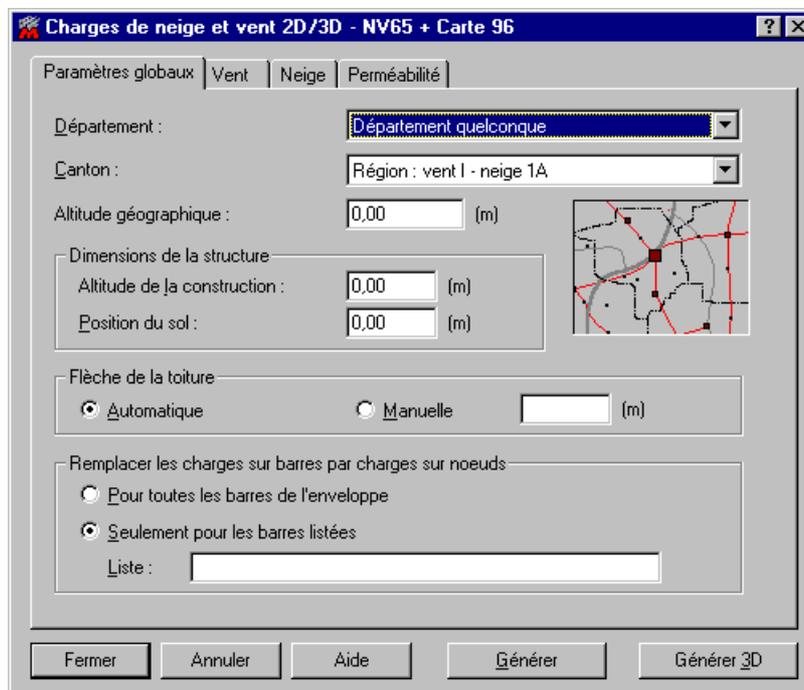
La boîte de dialogue *Charges de neige et vent* affiche les données de base concernant la structure pour laquelle les charges de neige et vent seront générées :

- **Enveloppe :** Cette commande permet de définir les éléments de la structure sur lesquels les charges de neige et vent seront générées. L'enveloppe est définie par les numéros des NOEUDS des éléments sélectionnés (dans le sens des aiguilles d'une montre).
- **Auto :** Effectue la reconnaissance automatique de l'enveloppe. Les paramètres de la génération de l'enveloppe sont pris conformément aux options de génération automatique définies par l'utilisateur.
- **Sans acrotères :** Si cette case est cochée, lors de la génération automatique de l'enveloppe les acrotères ne seront pas pris en compte.

- **Profondeur** : Définit la profondeur (la longueur) de la structure, cette dimension est nécessaire pour définir les coefficients globaux de neige et vent pour la structure étudiée.
- **Entraxe** : Définit la distance entre les éléments porteurs de la structure. Cette dimension est nécessaire pour transférer vers les éléments porteurs les charges de neige et vent sur les surfaces de la structure.

Afin de définir correctement les charges de neige et vent, la définition de l'enveloppe et celle de la profondeur et de l'entraxe sont indispensables.

Après la définition de l'**Enveloppe**, de la **Profondeur** et de l'**Entraxe**, un clic sur le bouton **Paramètres** ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir les paramètres détaillés des charges de neige et vent.



Onglet *Paramètres Globaux* :

Cet onglet contient les options de base nécessaires lors du calcul de la structure suivant la norme de neige et vent sélectionnée dans les **Préférences**. Après le choix d'une option, en haut à droite de la fenêtre est affichée l'icône correspondante qui symbolise la signification de l'option.

Les options affichées dans l'onglet sont organisées en groupes.

- La partie supérieure de l'onglet regroupe les options *département, canton et altitude géographique*.

Les trois autres zones affichées dans cette boîte de dialogue définissent les paramètres de base des charges de neige et vent :

- La zone *Dimensions de la structure* regroupe les options *Altitude de la construction et position du sol*. (Attention la valeur 0 pour l'altitude de la construction correspond à la hauteur de la modélisation, dans la plupart des cas il est donc inutile de modifier ce champ)
- La zone *Flèche de la toiture* regroupe les options automatique et manuelle.
- La zone *Remplacer charges sur barres par charges sur nœuds* regroupe les options pour toutes les barres de l'enveloppe, seulement pour les barres listées et liste.

Autres onglets :

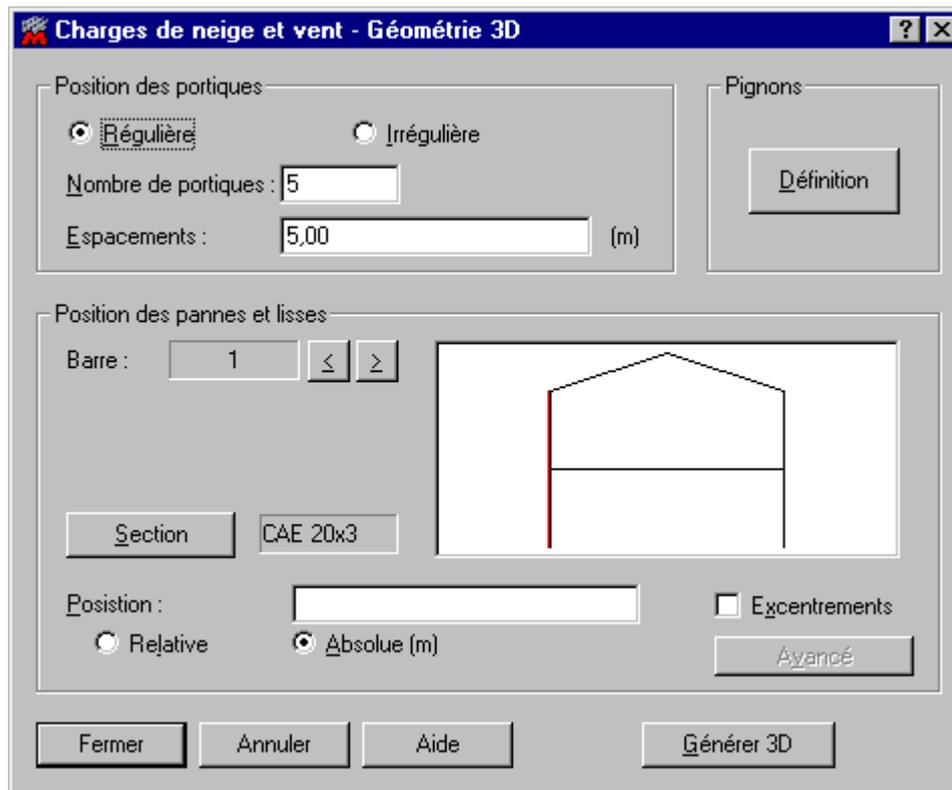
La boîte de dialogue **Charges de neige et vent** comprend trois autres onglets *Vent, Neige et Perméabilité* dans lesquels vous pouvez définir les paramètres des charges de vent, ceux des charges de neige et les paramètres de la perméabilité des parois de la structure conformément aux prescriptions de la norme sélectionnée.

LITTERATURE – NORMES

Norme européenne Eurocode 1: Actions climatiques, Le vent et la neige sur les constructions Règles N V 65 Et Annexes Règles N 84 Règles Définissant Les Effets De La Neige Et Du Vent Sur Les Constructions Et Annexes, Eyrolles 1987

3.10.1. Charges de neige et vent 3D

Après la définition des paramètres généraux de la structure nécessaires pour la génération des charges de neige et vent (enveloppe, profondeur, entraxe) pour les structures planes et après un clic **Génération 3D** dans la boîte de dialogue *Charges de neige et vent*, le logiciel affiche la boîte de dialogue *Charges de neige et vent - géométrie 3D*.



Les charges de neige et vent 3D sont créées de la façon suivante :

- pour le portique plan défini, les cas de charge de neige et vent sont générés.
- d'après les paramètres de la structure 3D définis dans la boîte de dialogue représentée ci-dessus, une structure spatiale correspondante (portique spatial) est créée.
- le portique plan défini est copié, le nombre de répétitions est conforme à la valeur définie de l'espacement des portiques)
- entre les portiques successifs, les barres horizontales (pannes) sont générées ; elles assureront le transfert des charges à partir de la toiture vers les éléments des portiques.

Les charges de neige et vent 2D calculées pour le portique plan (valeur de la force par l'unité de surface), sont transférées à partir des surfaces appropriées et ensuite appliquées aux pannes

en tant qu'une charge linéaire (valeur de la force par l'unité de longueur). Pour les pannes, les charges sont transférées à partir de la surface plane délimitée par les pannes avoisinantes ou par le bord de la surface en question si dans la direction donnée il n'y a pas de pannes.

Dans la zone *Position des portiques* vous pouvez définir les paramètres suivants :

- *Disposition des portiques* - mode de disposition des portiques plans copiés
régulière - les distances entre les portiques sont égales
irrégulière - espacement défini séparément pour chaque paire de portiques
- *Nombre de portiques* - nombre de portiques à créer dans la structure spatiale
- *Espacements* - espacements des portiques
Pour la disposition régulière, une valeur de l'espacement est donnée, pour l'espacement irrégulier de n portiques, vous devez spécifier n-1 espacements (les séparateurs sont de rigueur).

Dans la zone *Position des éléments longitudinaux*, vous pouvez utiliser les boutons '<' et '>' pour sélectionner une barre quelconque composant la structure et, ensuite, définir ses paramètres. Le champ *Barre* affiche le numéro de la barre sélectionnée, la barre en question est mise en surbrillance sur le schéma du portique 2D (vous pouvez aussi sélectionner la barre directement dans le schéma du portique 2D). De plus, la zone *Position des éléments longitudinaux* regroupe les options suivantes :

- le bouton **Section** permet de sélectionner la section utilisée pour générer les pannes (poutres longitudinales)
- *Position* - la disposition des pannes sur l'élément du portique plan peut être définie de façon relative ou absolue.
- *Excentrements* - si cette option est activée, les excentrements seront pris en compte lors de la création des éléments des pannes.

Un clic sur le bouton **Générer 3D** entraîne le lancement de la génération des charges de neige et vent 3D.

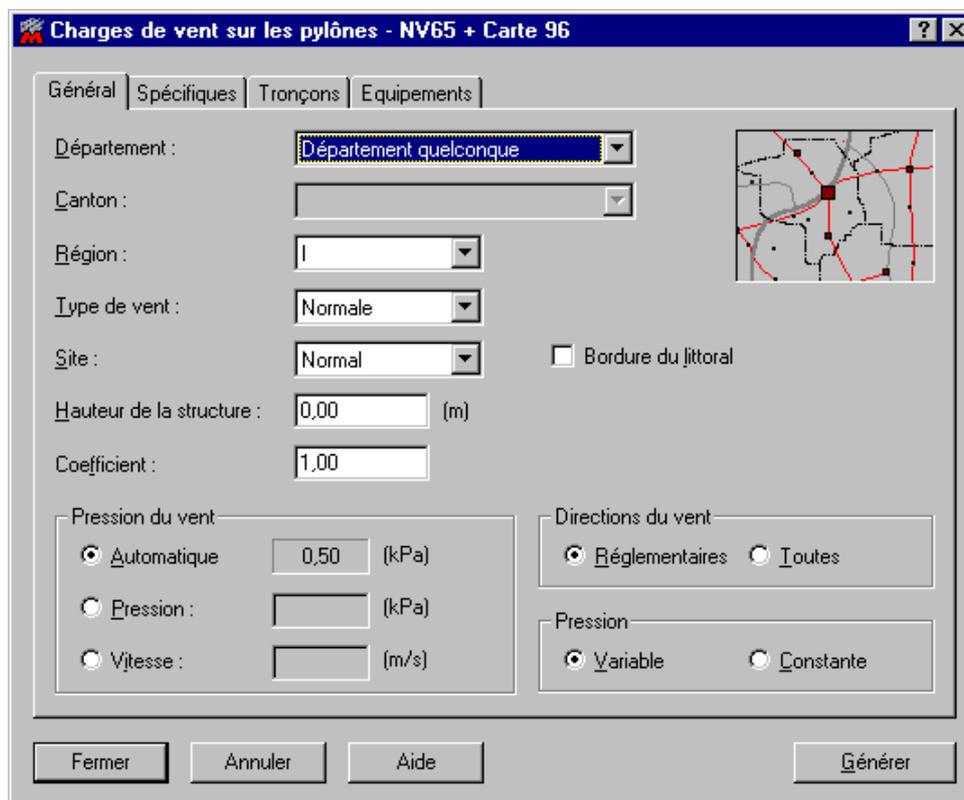
3.10.2. Charges de vent sur les pylônes

L'option sert à générer les charges de neige et vent sur les structures de type pylônes de type treillis (pylônes de haute tension, tours de transmission, mâts radio etc.).

Pour générer les charges de climatiques, vous devez effectuer une des actions suivantes :

- sélectionnez la commande *Vent Pylône* disponible dans le menu *Chargements*, sous-menu *Autres charges*.
- cliquez sur l'icône **Vent pylône** .

Il apparaît alors la boîte de dialogue représentée sur la figure ci-dessous :



ATTENTION : L'option Charges de Vent sur les pylônes est disponible seulement pour les structures spatiales à barres de type PORTIQUE 3D et TREILLIS 3D. La base des structures étudiées doit avoir la forme d'un triangle équilatéral ou d'un rectangle.

ATTENTION : La génération des charges de vent sur les pylônes est effectuée suivant la norme française NV 65 et américaine EIA.

La boîte de dialogue représentée sur la figure ci-dessous contient quatre onglets :

- *Général*
- *Spécifiques*
- *Tronçons*
- *Equipement*

Les options disponibles dans les onglets dépendent de la norme sélectionnée. Par exemple, dans l'onglet Général, les paramètres suivants peuvent être définis :

- *département* - champ de sélection du département dans lequel la structure est située
- *canton* - champ de sélection du canton dans lequel la structure est située
- *région* - sélection de la région de vent.
- *type de vent* - sélection du type de vent (normal, extrême)
- *site* - sélection de l'emplacement de la structure (normal, protégé, exposé), de plus, vous pouvez activer l'option *Bordure du littoral*.

La partie centrale de l'onglet contient le champ d'édition *Hauteur de la structure* dans lequel vous pouvez spécifier la hauteur de la structure pour le calcul de la valeur de la pression du vent.

ATTENTION : Si la valeur de la hauteur n'est pas spécifiée, le logiciel calculera automatiquement la hauteur de la structure.

Au-dessous de cette option, le champ *Coefficient* est disponible, dans ce champ vous pouvez définir la valeur du coefficient de correction de la pression du vent.

La partie inférieure de la boîte de dialogue regroupe les options permettant de sélectionner :

- le mode d'application de la pression du vent (trois possibilités sont disponibles : automatique à base de la région sélectionnée, définition manuelle de la pression de base, définition manuelle de la vitesse du vent)
- nombre et direction des cas de vent : réglementaire (dans ce cas on suppose que la structure est symétrique) et toutes les directions standard (cette option est utile pour les structures asymétriques)
- mode de calcul de la pression du vent sur les éléments spécifiques de la structure, deux options sont possibles : constante (pression calculée suivant le point le plus élevé du tronçon) et variable (pression calculée séparément pour chaque élément suivant le point le plus élevé de l'élément).

Les options disponibles dans les autres onglets permettent les actions suivantes :

- onglet *Spécifiques* – définition des paramètres additionnels de la charge (givre, action dynamique du vent etc.)
- onglet *Tronçons* – définition des paramètres des tronçons résultant de la division de la structure de type pylône (par exemple, pylônes de haute tension, mâts radio etc.)
- Onglet *Équipement* – définition des surfaces additionnelles dont l'influence sur les charges de vent sur la structure est importante (antennes, tableaux, panneaux etc.).

La partie inférieure de la boîte de dialogue regroupe les boutons standard (**Fermer**, **Aide** et **Annuler**) et le bouton **Générer**, un clic sur ce bouton lance la génération des charges de vents sur le pylône défini et crée une note de calcul.

LITTERATURE – NORMES

TIA/EIA STANDARD Structural Standards for Steel Antenna Towers and Antenna Supporting Structures TIA/EIA-222-F (Revision of EIA/TIA-222-E), Telecommunications Industry Association, June 1996

3.10.3. Charges de neige et vent 3D

L'option de génération des charges de neige et vent pour les surfaces fonctionne de la même façon que la génération des charges neige et vent pour les portiques 2D. Les pas successifs lors de la génération des charges climatiques 2D et leurs correspondants pour les structures spatiales sont comme suit :

Portique 2D

1. génération de l'enveloppe
2. définition des paramètres réglementaires
3. génération des coefficients
4. application des charges aux barres de la structure

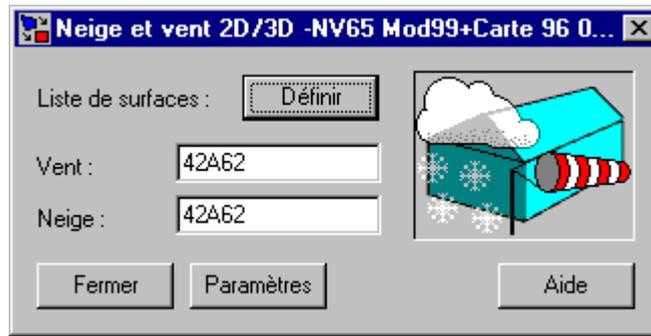
Structures spatiales

1. définition des surfaces (création de la liste de surfaces)
2. définition des paramètres réglementaires
3. génération des coefficients (possibilité de modifier les valeurs des coefficients)
4. génération des charges surfaciques qui sont transmises aux barres de la structures à travers les surfaces définies

L'option *Neige et vent 3D* est accessible par :

- le menu déroulant *Chargements / Autres charges / Neige et vent 2D\3D*
- la barre d'outils, icône .

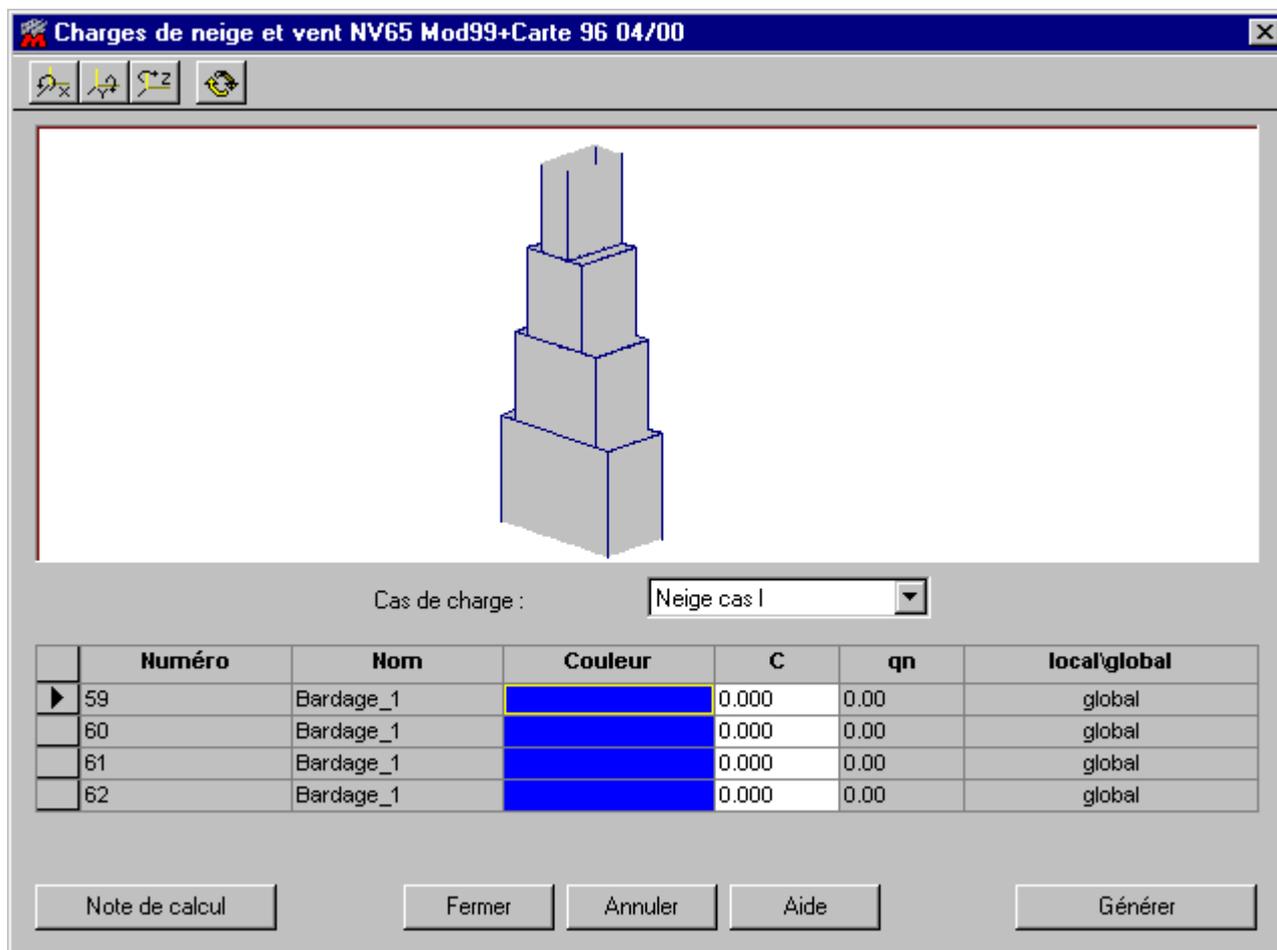
ATTENTION : *L'option est disponible pour les structures de type : Portique 3D et Coque (à présent, pour la norme française NV65).*



Afin de générer les charges neige et vent sur les surfaces, il faut :

- définir la liste des surfaces sollicitées par les charges de neige et vent (dans la boîte de dialogue présentée ci-dessus)
- définir les paramètres qui permettent la génération automatique des charges climatiques (après un clic sur le bouton **Paramètres** dans la boîte de dialogue ci-dessus, le logiciel ouvre la boîte de dialogue de définition des paramètres des charges de neige et vent); après un clic sur le bouton **Appliquer**, le logiciel ferme cette boîte de dialogue et ouvre la boîte de dialogue **Charges de neige et vent** qui contient le tableau avec les coefficients et les charges climatiques résultantes.

La boîte de dialogue **Charges de neige et vent** présente la vue de la structure définie et la liste des cas de charge de neige et vent générés. La vue de la structure est générée à l'aide de la technologie Open GL. Les surfaces de charge sont définies par l'intermédiaire de la légende de couleurs. Le cas de charge présenté dans le tableau est sélectionné dans la liste Cas de charge. La liste des cas ne contient que les cas neige et vent. Le tableau contient toutes les surfaces de la structure. Pour les surfaces qui n'ont pas été sollicitées automatiquement par le logiciel, les valeurs des charges sont égales à zéro.



Après un clic sur le bouton **Générer**, le logiciel ferme la boîte de dialogue ci-dessus et génère les charges sur les surfaces. Les charges sont appliquées en tant que pression sur les objets surfaciques dans le repère local ou global. Les charges sur barres sont ensuite transférées de même façon que les charges sur barres par objets 3D ; le transfert des charges sur barres s'effectue lors de la génération du modèle de la structure.

Le jeu de coefficients qui servent à définir les charges neige ou vent est enregistré dans l'affaire de façon à ce que l'utilisateur puisse éditer les coefficients et les paramètres des charges NV.

A l'occasion de la définition des charges de neige et vent, nous voulons rappeler l'option *Bardages* qui sert à définir un nouveau type d'objet - la surface permettant de transférer les charges surfaciques aux barres (cet objet lui-même ne supporte pas des sollicitations). L'option permet de définir la structure à barre avec les bardages. Les bardages peuvent être utilisés lors de la génération des charges surfaciques sur barres par objets 3D et lors de la génération des charges de neige et vent 3D. Un tel objet facilite beaucoup la génération des charges et permet de définir les objets réels qui ne constituent pas des éléments porteurs de la structure, comme bardages et couvertures.

La commande est accessible par :

- le menu déroulant *Structure*, sous menu *Autres attributs*, commande *Bardages*

- la barre d'outils, icône .

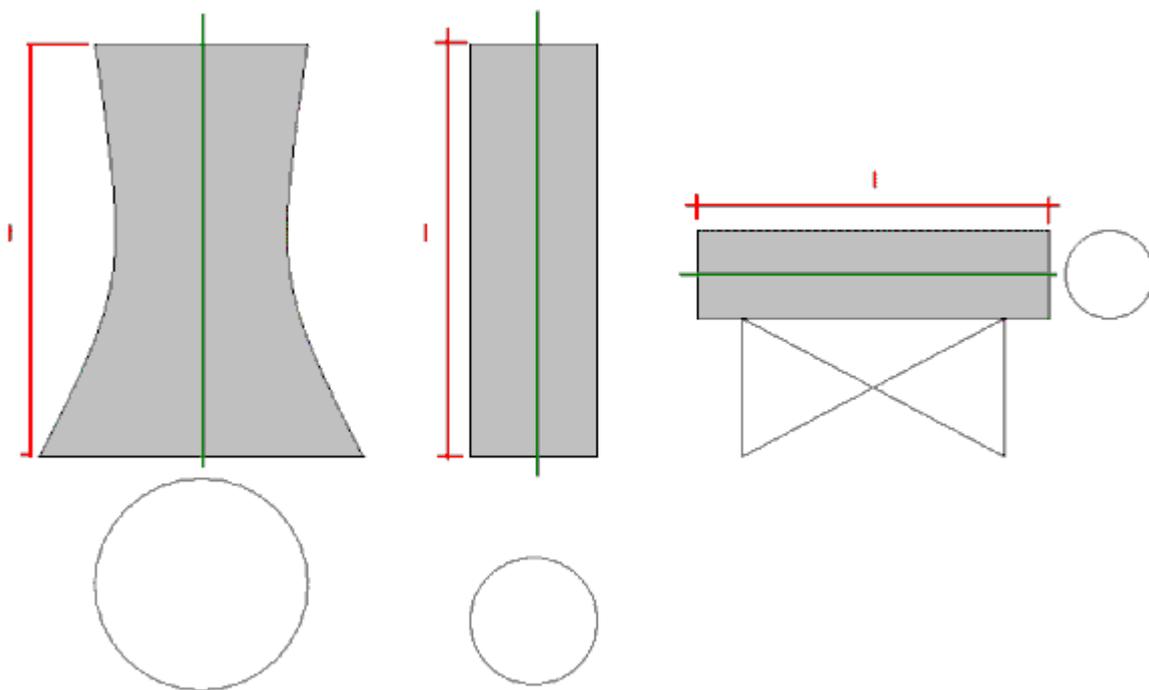
ATTENTION : La surface n'est pas soumise au maillage par EF. Elle constitue un objet auxiliaire qui sert à définir les charges.

La surface est générée en tant que face avec le bardage défini. La définition de la surface est effectuée de la même façon que la définition du panneau (par l'indication du point interne ou à partir de la liste d'objets linéaires).

L'option de définition de la surface par l'affectation du bardage à l'objet de type 'face' est disponible pour les types de structures suivants : structures à barres et coques. On admet que pour les structures volumiques l'objet 'surface' se comporte comme face de l'objet volumique : sur un tel objet, il n'est pas permis de définir les surfaces de charge.

3.10.4. Vent sur construction à base polygonale (prisme)

L'option sert à générer les charges neige et vent pour les structures de révolution axisymétriques (à base polygonale régulière). L'option a été préparée à partir de l'article 3 de la norme française NV65. La figure ci-dessous présente les types de structures pour lesquels vous pouvez générer les charges de vent.



L'option permet de générer les charges de vent sur les éléments finis et sur les panneaux sélectionnés. Cela signifie qu'avant le lancement de cette option vous devez sélectionner les panneaux ou éléments finis pour lesquels le logiciel créera les charges de vent.

La génération des charges de vent est lancée après un clic sur :

- la commande *Chargements / Autres charges / Vent sur cylindres*
- l'icône .

ATTENTION : L'option Vent sur construction à base polygonale est disponible uniquement pour les structures de type coque.

ATTENTION : La génération des charges de vent est effectuée à partir de la norme française NV 65.

Les paramètres définis pour la génération des charges de vent pour ce type de structure sont similaires aux paramètres décrites dans les chapitres précédents (les paramètres concernent la norme française NV65).

3.10.5. Descente de charge (charges prises à partir de la base de données)

L'option *Descente de charge* est un outils permettant d'ajouter les charges appliquées à un élément donné de la structure. Les charges ont des valeurs caractéristiques et des valeurs de calcul. Les valeurs caractéristiques des charges sont prises à partir des tableaux disponibles dans la base de donnée, par contre, les valeurs de calcul sont obtenues à la suite de la multiplication des valeurs caractéristiques par les coefficients de calcul appropriés. Cette option fonctionne pour les charges surfaciques dues aux charges permanentes. Les charges permanentes se composent de charges :

- surfaciques (par exemple : poids des bardages, couvertures, isolants, etc.)
- volumiques (par exemple: poids de matériaux de construction, de remblai, etc.).

L'option fonctionne en tant que calculette et permet d'effectuer la nomenclature des charges. Les valeurs des charges calculées ne sont pas transférées vers les enregistrements de charge. C'est l'utilisateur qui définit les valeurs des charges pour les cas de charge spécifiques en utilisant les valeurs calculées dans la boîte de dialogue présentée ci-dessous.

ATTENTION : Après la modification des charges spécifiques dans la base de données, les valeurs des charges ne sont pas mises à jour.

L'option *Descente de charges* est disponible :

- à partir du menu par un clic sur la commande *Chargements / Autres charges / Descente de charges*.
- à partir de la barre d'outils, icône *Descente de charges*

Après la sélection de cette option, le logiciel affiche la boîte de dialogue présentée ci-dessous.

Descente de charges

Nouvelle Enregistrer Supprimer Note

Jeu : []

Descente de charges :

Charge unitaire	Epaisseur (cm)	Char. (kPa)	Coeff. de cal. Gf	Calculer (kPa)
Béton léger poids volumique de classe 1,0				
10,00	10,0	1,00	1,10	1,10
Béton lourd armé et précontraint				
29,00	10,0	2,90	1,10	3,19
Total		3,90		4,29

Charge

concentrée linéaire surfacique

Dimensions (m)

A = [] B = []

Charge : (kPa)

caractéristique [3,90]

de calcul [4,29]

Charge

Catalogue : L_EC_033.mdb

Type : Matériaux de constru (kN/m3)

Béton

Matériau	Poids
Béton léger poids volumique de cla...	10,00
Béton léger poids volumique de cla...	12,00
Béton léger poids volumique de cla...	14,00
Béton léger poids volumique de cla...	16,00
Béton léger poids volumique de cla...	18,00
Béton léger poids volumique de cla...	20,00
Béton de poids normal	24,00
Béton de poids normal armé ou pré...	25,00
Béton de poids normal non durci	26,00
Béton lourd	28,00
Béton lourd armé et précontraint	29,00
Béton lourd non durci	30,00

Béton lourd armé et précontraint

Edition de la base de données des charges

Fermer Aide

L'option est disponible pour tous les types de structures dans **Robot**.

La partie gauche de la boîte de dialogue contient les options qui permettent de calculer, d'enregistrer et d'ouvrir une descente de charge :

- la liste de sélection de jeux contient la liste des descentes de charges enregistrées – dans cette zone vous pouvez aussi définir le nom d'une nouvelle descente de charge ; le nom du jeu (libellé) est un identifiant du jeu et elle apparaît aussi dans la note de calcul ; l'ouverture du jeu se fait par la sélection du jeu de la liste

Au-dessus de la liste de sélection, les boutons suivants sont disponibles :

Nouveau – permet de définir un nouveau nom du jeu (le jeu courant est supprimé)

Enregistrer – permet d'enregistrer le jeu courant ; dans le cas de l'enregistrement d'un jeu, vous devez saisir son nom

Supprimer – permet de supprimer le jeu sélectionné de la liste

Note – lance le traitement de texte contenant les données du jeu courant (la note de calcul peut être utilisée pour l'impression composée)

- le tableau *Descente de charges* affiche les données concernant la charge totale ; les enregistrements successifs du tableau contiennent :

le nom de la charge

la valeur de la *Charge spécifique* (surfacique ou volumique) prise à partir de la base

la valeur de l'*Epaisseur de la couche* – il est possible de l'éditer pour la charge volumique –

la valeur par défaut est égale à 10 cm (pour les charges surfaciques, ce champ n'est pas disponible) ; l'unité ce sont les dimensions de la section

la valeur de la charge *caractéristique* :

- pour les charges volumiques c'est le produit (poids spécifique)*(épaisseur)

- pour les charges surfaciques c'est le poids spécifique

l'unité de charge : force/longueur²



la valeur du *Coefficient de calcul* G_f – le champ d'édition dont les valeurs par défaut sont enregistrées et prises à partir de la base

la valeur de la charge *de calcul* c 'est le produit (charge caractéristique)* (coeff. de calcul)
l'unité : force/longueur²

la dernière ligne du tableau contient la descente de charge caractéristique et de calcul étant la somme des charges des lignes successives

- au-dessous du tableau, les options de calcul des forces concentrées ou linéaires dues à la charge surfacique p calculée (caractéristique et de calcul).
 - Charge concentrée – calculée comme produit : $A*B*p$, unité : force
 - Charge linéaire - calculée comme produit : $A*p$ (dimension B n'est pas disponible), unit : force/longueur
 - Charge surfacique p (dimensions A, B n'est sont pas disponibles), unité : force/longueur².

La partie droite de la boîte de dialogue contient les options permettant de gérer la base de charges spécifiques :

- le groupe des options dans la zone *Charge* sert à sélectionner la charge dans la base ; la charge sélectionnée peut être transférée vers le jeu des charges (disponible dans la partie gauche de la boîte de dialogue) par un clic sur le bouton < ;
- le champ *Catalogue* présente le nom de la base de donnée courante de charges spécifiques ; la sélection de la base de donnée courante se fait dans la boîte de dialogue **Préférences de l'affaire**
- la liste de sélection permettant de sélectionner le tableau de donnée des charges spécifiques appropriée – le contenu de cette liste dépend du type de charges sélectionné : *Poids des matériaux, Poids des éléments, Poids des sols* ou *Charges variables* ; la sélection, par exemple, du type de matériau dépend du contenu de la base (champ NAME, tableau GROUPS): *Bétons, Matériaux en bois, Couvertures*, etc.
- le tableau de consultation et de sélection des données des charges spécifiques ne peut pas être modifié ; le tableau contient les colonnes enregistrées dans la base de charges (tableau DATA) : *Matériau* (champ DATA:NAME) et *Poids* (champ DATA:LOAD)
L'unité de poids dépend du type sélectionné ; si c'est le poids du matériau, l'unité est force/longueur³ ; si c'est le poids des éléments, l'unité est force/longueur²

un clic sur le bouton **Edition de la base de données des charges** ouvre la boîte de dialogue permettant la **modification de la base de données** ; les options disponibles dans cette boîte de dialogue permettent : de définir un nouvel enregistrement, de supprimer un enregistrement, de modifier un enregistrement (possibilité de copier), de sélectionner les colonnes à afficher.

3.10.6. Définition automatique des charges dues à la poussée du sol

Dans le logiciel **Robot**, vous disposez d'un outil de calcul de la poussée du sol sur les éléments de construction enfoncés dans le sol, comme murs de soutènement, voiles, etc. Le logiciel prend en compte : poussée du sol et des forces appliquées à la surface du sol. La valeur de la poussée du sol peut être modifiée en fonction du mode de travail de l'élément de soutènement :

- poussée lié à la présence d'un autre objet – dans le cas où un autre objet qui réduit la poussée du sol est présent

- poussée active – poussée réduite dans le cas où l'élément de soutènement s'est déplacé à la suite de l'action des forces extérieures dans la direction conforme à la poussée exercée par le sol
- poussée passive – poussée augmentée dans le cas où l'élément de soutènement s'est déplacé à la suite de l'action des forces extérieures dans la direction opposée à la poussée exercée par le sol.

Pour charger la surface du sol, on utilise la répartition linéaire des contraintes dans le sol. L'option permet de :

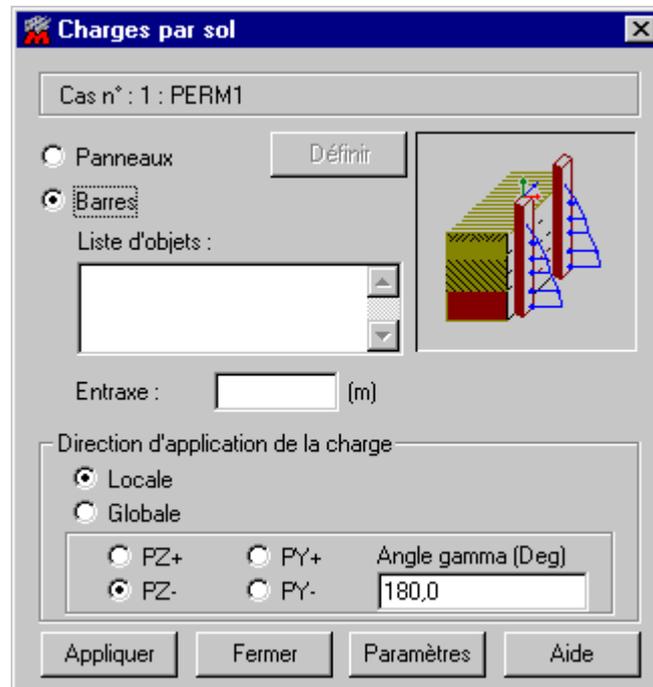
- définir le profil du sol en utilisant la base de sols contenant ses caractéristiques
- enregistrer et ouvrir le profil géotechnique défini par l'utilisateur et éditer la base de sols,
- définir les charges appliquées à la surface du sol
- calculer et visualiser les diagrammes de la poussée du sol
- générer la charge sur panneaux ou barres suivant la poussée du sol calculée.

Le profil du sol enregistré peut être transmis entre les modules qui utilisent les profils géotechniques.

L'option *Poussée du sol* est disponible :

- à partir du menu *Chargements*, sous-menu *Autres charges*, commande *Charges par sol*.
- à partir de la barre d'outils, icône *Poussée du sol* .

Après la sélection de cette option, le logiciel affiche la boîte de dialogue présentée sur la figure ci-dessous (en fonction des objets sélectionnés sur lesquels la charge par sol sera appliquée – sur les barres ou les panneaux – la boîte de dialogue contient différentes données sur la direction de l'application de la charge).



Dans la boîte de dialogue ci-dessus, vous pouvez définir les paramètres suivants :

- le numéro et le nom du cas de charge ; pour ce cas de charge, le logiciel générera les charges par sol
- la sélection du type d'objets auxquels la charge sera appliquée : *Panneaux* ou *Barres*
- la liste des barres ou panneaux (dans le champ d'édition *Liste d'objets*) sur lesquels la poussée du sol sera définie ; l'attention est attirée sur le fait que la charge sera appliquée aux objets qui se trouvent au-dessous de la coordonnée Z définie comme le niveau du sol dans la boîte de dialogue **Paramètres** ; la valeur de la charge dépend du niveau d'enfoncement dans le sol
- si la charge est appliquée aux barres, il est nécessaire de saisir la valeur de l'espacement (largeur) ; la poussée est calculée en tant que charge surfacique et pour obtenir la charge linéaire sur barre, le logiciel l'additionne à partir d'un espacement (largeur)
- la direction de l'action de la charge
- pour les panneaux – la poussée du sol est toujours définie comme charge normale à la surface ; vous pouvez choisir entre deux options : *Conforme au système local des surfaces* (conformément au sens de l'axe local Z) ou *Opposée au système local des surfaces*
pour les barres – vous pouvez sélectionner une direction quelconque de la charge conformément au repère *Global* ou *Local* de la barre.

Un clic sur le bouton **Appliquer** lance la définition de la charge par sol sur la liste d'éléments sélectionnés conformément à la direction choisie. La charge est définie pour le cas de charge actuellement défini. Un clic sur le bouton **Fermer** ferme la boîte de dialogue (aucun paramètre n'est enregistré).

La boîte de dialogue **Poussée du sol (paramètres)** est ouverte après un clic sur le bouton **Paramètres** disponible dans la boîte de dialogue **Charges par sol**.

La boîte de dialogue se compose de trois onglets : *Sols*, *Charges* et *Résultats*.

Onglet *Sols*

Sur cet onglet, vous pouvez définir les paramètres suivants :

- données géométriques de l'élément de soutènement et du sol
 - le niveau du sol – la valeur du niveau du sol identifie la coordonnée Z de la position du sol dans le modèle de la structure ; cette valeur ne peut pas être modifiée parce qu'elle est égale à la première couche du sol définie dans le tableau
 - l'angle d'inclinaison du sol α
 - l'angle d'inclinaison de l'élément de soutènement β
 - la distance à un autre objet – cette valeur doit être définie si vous voulez prendre en compte la réduction de la poussée due aux autres objets qui se trouvent à proximité
 - le niveau de la nappe phréatique défini en coordonnées globales (en relation avec le niveau du sol) ; la valeur doit être définie si vous voulez prendre en compte la réduction de la poussée due à la présence des eaux phréatiques ; la position de la nappe phréatique est marquée sur la vue du profil du sol ; il faut se rappeler que la présence des eaux phréatiques influence la valeur de la poussée, ce qui est due à la réduction de la densité du sol et la poussée de l'eau
 - les données définissant le mode de travail du sol en fonction du déplacement de l'élément de soutènement ; le déplacement est défini à l'aide du renversement de l'élément ρ , qui approximativement est le rapport f/H (déplacement de la crête du mur / hauteur de l'élément) ; le mode de travail du sol peut être défini comme :
 - * - poussée active $K_a \rightarrow \rho_a \leq \rho < 0$
 - * - poussée équilibre $K_o \rightarrow \rho = 0$
 - * - poussée passive $K_p \rightarrow 0 < \rho \leq \rho_p$
 - * - valeur limite ou intermédiaire.
- le tableau pour la définition de la stratification du sol

Il faut sélectionner le type de sol dans la liste déroulante dans la colonne *Nom*, et, ensuite, définir le niveau de la couche du sol en saisissant les valeurs dans la colonne *Niveau* ou *Epaisseur* ; le tableau met à votre disposition la base de sols étant la base par défaut définie dans la boîte de dialogue **Préférences** (la liste de bases est disponible après un clic sur l'option *Outils / Préférences de l'affaire*, onglet *Catalogues / Catalogue de sols*)
- la vue de la stratification du sol et la profondeur ; la zone *Profil géotechnique* contient les options permettant l'enregistrement et la lecture du profil de l'utilisateur ; un clic sur le bouton **Enregistrer** ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez enregistrer le fichier ; chaque profil est enregistré dans un fichier à part au format MS Access © (*.mbd) ; un clic sur le bouton **Ouvrir** ouvre la boîte de dialogue permettant la lecture du fichier *.mbd ; le champ *Nom* présente le chemin d'accès au fichier actuel contenant le profil géotechnique.

Un clic sur le bouton **Editer la base de sols** permet d'éditer la base de sols actuelle.

Onglet *Charges*

Dans l'onglet ci-dessus, vous pouvez définir les charges extérieures appliquées au sol. Les charges sont définies dans le tableau disponible dans la partie inférieure de la boîte de dialogue. Chaque charge successive possède un nom et une liste de paramètres qui dépendent du type de charge. Vous pouvez définir les types de charges suivants :

- charge linéaire – la charge est décrite par les données suivantes : nom, distance x [longueur], intensité de la charge Q [force/longueur]
- charge répartie - la charge est décrite par les données suivantes : nom, distance x1 [longueur], distance x2 [longueur], intensité de la charge P [force/longueur²]
- charge uniforme - la charge est décrite par les données suivantes : nom, distance x [longueur], intensité de la charge P [force/longueur²].

Onglet *Résultats*

Cet onglet présente :

- dans la partie droite, la liste de charges générées ; la liste contient toujours la charge par poussée du sol et les cas définis par l'utilisateur dues à la sollicitation du talus ; la liste permet de sélectionner les cas qui seront transférés au modèle en tant que charge
- dans la partie gauche, la vue du profil du sol avec le diagramme de la charge ; le diagramme présente le cas sélectionné dans la liste ; pendant que vous déplacez le pointeur de la souris sur le diagramme, il est possible de lire les valeurs dans les points successifs du diagramme
- dans le champ au dessous de la liste, les messages dans le cas où les données sont incorrectes.

Un clic sur le bouton **Note de calcul** ouvre le traitement de texte contenant le jeu de données et les diagrammes des poussées. Un clic sur le bouton **OK** ferme la boîte de dialogue et la préparation à la génération des charges.

3.11.Câbles

Dans le logiciel *Robot Millennium*, il est possible de définir les structures à tirants c'est-à-dire les structures dans lesquelles les tirants sont des éléments porteurs principaux. Le câble est un élément dont une des dimensions principales est beaucoup plus grande que les autres dimensions et la rigidité transversale au fléchissement et à la torsion est peu importante par rapport à la rigidité longitudinale à la traction.

La conséquence simple de la définition donnée est qu'un câble transfère seulement les efforts de traction, parfois il peut transférer aussi des moments fléchissants ou de torsion peu importants et des efforts transversaux.

La commande est accessible par :

- le menu déroulant *Structure*, sous-menu *Caractéristiques*, commande *Câbles...*
- la barre d'outils **Définition de la structure**, icône 



De même que pour la définition des autres attributs de la structure (appuis, sections etc.), le procédé de définition d'un câble se divise en deux étapes :

Pour les éléments de câble, les paramètres suivants peuvent être définis : nom, couleur, section (aire de la section transversale), matériau et les paramètres de montage du câble :

- Précontrainte contrainte normale (calculée par rapport à la corde du câble) qui doit être atteinte pour les charges du cas de montage
- Tension effort de tension (calculée par rapport à la corde du câble) qui doit être atteinte pour les charges du cas de montage
- Longueur longueur du câble dans l'état non chargé
- Dilatation différence entre la longueur du câble non chargé et la distance entre les nœuds sur lesquels le câble est ancré (si la valeur est positive, la longueur du câble est supérieure à la distance entre les nœuds, si la valeur est négative, la longueur du câble est inférieure à la distance entre les nœuds)
La dilatation peut être absolue ou relative (dans ce cas, il faut sélectionner l'option Relative).

Les options précontraintes, tension, longueur et dilatation s'excluent mutuellement et ne sont pas obligatoires (si l'utilisateur ne donne aucun de ces paramètres, la longueur du câble non chargé est égale à la distance entre les nœuds).

Dans la théorie des structures de câble on adopte les principes de base suivants :

- les charges et les autres sollicitations extérieures ont un caractère quasi-statique et ne varient pas en fonction du temps.
- pour les câbles extensibles il n'y a pas de moments fléchissants et d'efforts transversaux,
- les éléments câbles travaillent dans le domaine élastique (module d'Young $E = \text{const}$),
- les câbles peuvent subir des charges quelconques à l'exception des charges par moments,
- sont admissibles les grands déplacements, mais les petits gradients $\frac{du}{dx}$,
- l'aire de la section du câble F est invariable ($F = \text{const}$),
- longueur du câble non chargé = l .

Câbles dans le logiciel

La théorie de l'élément câble utilisée dans le système **Robot Millennium** est basée sur la théorie générale du câble extensible à une flèche peu importante. Conformément à la théorie la rigidité du câble est une fonction implicite des paramètres suivants : rigidité à la traction ($E \cdot F$), tension du câble, déplacement de ses appuis, charge transversale dans les deux directions (p_y, p_z).

Il faut attirer l'attention sur le fait que la définition des éléments câbles dans une structure, à cause du caractère non linéaire de leur travail exige l'utilisation des méthodes itératives de l'analyse des structures.

Possibilités d'utilisation des câbles dans le système Robot Millennium:

- Les éléments en question peuvent être utilisés avec les éléments des structures de type: PORTIQUE PLAN, PORTIQUE SPATIAL, COQUE.
- Tous les types standards de l'analyse des structures sont admissibles: linéaire (en fait c'est une analyse non-linéaire mais les effets non-linéaires ne seront pas pris en compte mis à part la non linéarité des éléments câbles mêmes), non linéaire (prise en compte de l'effet stress-stiffening), P-Delta, incrémentale, de flambement, dynamique, harmonique, sismique; il faut pourtant attirer l'attention sur le fait que les problèmes dynamiques

seront formulés comme des problèmes linéaires avec la prise en compte de la rigidité actuelle,

- Les excentremets sont admissibles
- Le matériau est défini comme pour une barre (il faut donner seulement le module d'Young E; dans le cas de définition du chargement par le poids propre du câble il faut définir en plus le poids volumique RO, dans le cas où l'on définit les charges thermiques - le coefficient de dilatation thermique LX),
- Les angles GAMMA sont définis comme pour les barres (cela est important seulement lors de la description de la charge).

Limitations :

- Pour les éléments câbles la définition des relâchements est impossible parce qu'ils n'ont ni de rigidité à la flexion ni de rigidité à la torsion.

Chargements sur les câbles

Aux éléments câbles, il peut être appliqué les charges suivantes :

- charges nodales
- charges par poids propre
- charges linéaires (uniformes ou variables d'une façon linéaire)
- raccourcissement/allongement initial (charge supplémentaire mis à part les charges définies lors de la phase de montage)
- charges par température
- charges par forces concentrées sur la longueur des éléments.

L'application des charges sur les éléments câbles n'est pas permise dans les cas suivants :

- charge par moment concentré
- charge par moment repart.

Chargement du câble - Cas de montage

Dans le système **Robot Millennium**, on distingue le cas de montage de la structure (le logiciel le propose toujours comme le premier cas de charge). Ce cas de montage peut être visualisé et/ou modifié en cliquant sur l'icône "Type d'analyse" et l'onglet "Modèle de structure".

pour ce cas de charge :

- dans les barres indiquées agissent les forces de tension initiale dont la valeur est définie par l'utilisateur à la suite de la définition du câble,
- les charges appliquées sont toutes les charges définies par l'utilisateur (p. ex. poids propre, masses ajoutées),
- on peut définir la température TX pour les câbles dans la phase de montage,
- les déplacements définis pour ce cas de charge définissent la géométrie initiale pour les autres cas de l'analyse de la structure.

Lors de l'analyse des cas suivants, les charges sur la structure dans les conditions d'équilibre sont prises en compte les charges appliquées dans le cas de montage. Les déplacements définis pour ce cas sont considérés comme initiaux. Les efforts de tension qui ont été prédéfinis changent (cela signifie que les câbles ont été ancrés après le montage).

Cas de charge du câble après le montage

Après l'achèvement des calculs de la structure les résultats obtenus pour les éléments câbles ressemblent aux résultats pour les éléments barres; il existe pourtant des différences entre ces deux types de résultats. Les différences sont décrites ci-dessous:

- pour les éléments câbles, il n'est pas possible d'obtenir des diagrammes des moments et des efforts transversaux,
- pour les éléments câbles, on obtient une déformée simplifiée définie comme pour une barre d'un treillis ou une déformation exacte définie d'après l'équation d'intégration de la courbe de la flèche,
- pour les éléments câbles apparaissent des résultats supplémentaires relatifs au cas de montage:
 - ⇒ dans les câbles où la tension exigée est nécessaire (dans la syntaxe du système **Robot Millennium** : PREContrainte ou TENSion), est déterminée la valeur de la régulation [m] indispensable pour l'obtention de la tension exigée,
 - ⇒ dans les autres types de câbles est défini l'effort indispensable pour la réalisation du montage,

Les résultats en question sont très utiles lors de l'étude de l'étape de montage.

- la force axiale (de traction) est définie d'après l'équation:

$$N = \sqrt{FX^2 + FY^2 + FZ^2}$$

où :

- N - effort agissant le long de la tangente au câble,
FX, FY, FZ - efforts composants de l'effort N projetés sur les directions des axes spécifiques du repère local du câble.

3.12. Définition des autres attributs de la structure

Dans la version actuelle de **Robot Millennium**, vous pouvez définir d'autres attributs tels que les relâchements, excentremets, nœuds compatibles, liaisons rigides, jarrets, barres travaillant en traction/compression seule, le type de barre.

Les barres formant la structure sont par défaut encastées dans les nœuds (sauf dans le cas de treillis spatial ou plan), c'est-à-dire que la compatibilité des déplacements et des rotations est assurée pour toutes les barres aboutissant au nœud donné. Les liaisons entre les barres peuvent être relâchées si nécessaire. La commande *Structure/Relâchements* permet de relâcher les degrés de liberté sélectionnés pour les nœuds donnés. Dans le logiciel, il est possible de définir les types de nœuds compatibles suivants : rigides, élastiques, avec amortissement, unilatéraux et non-linéaires.

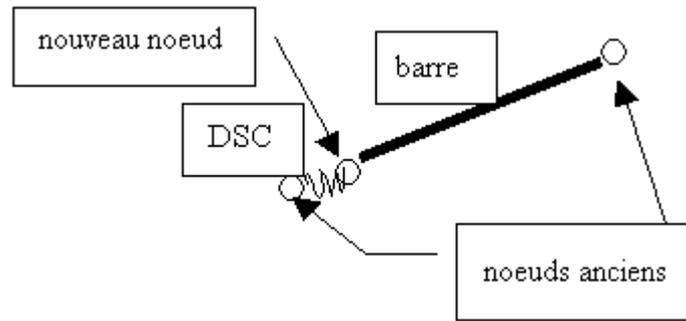
Le logiciel a été muni d'un nouveau algorithme permettant les calculs de la structure avec les relâchements définis (l'option *Algorithme DSC* qui se trouve dans la boîte de dialogue *Préférences de l'affaire/Analyse de la structure*).

Pour une barre quelconque pour laquelle vous avez défini un type d'analyse avec les relâchements suivants :

- standards
- unilatéraux
- élastiques
- élastiques et unilatéraux

Les opérations suivantes sont effectuées :

- un nouveau nœud est généré dans la structure (lors de la préparation de la structure)
- l'élément de base avec le relâchements est modifié de la façon à ce que le nouveau nœud remplace l'ancien dans cet élément (l'ancien nœud reste dans les autres éléments de la structure)
- entre le nouveau et l'ancien nœud, un élément nommé DSC (Discontinuity) est créé - voir la figure ci-dessous.



L'élément DSC est un élément à deux nœuds, dans lequel les forces nodales sont générées selon la formule suivante :

$$\mathbf{f}_1 = -\mathbf{T}\mathbf{k}^T\mathbf{T}^T(\mathbf{u}_2 - \mathbf{u}_1)$$

$$\mathbf{f}_2 = \mathbf{T}\mathbf{k}^T\mathbf{T}^T(\mathbf{u}_2 - \mathbf{u}_1)$$

$\mathbf{k} = [k_i]; i = 1, Ndl$ étant le vecteur des rigidités affectées aux degrés de liberté respectifs.

La matrice de rigidité a la structure suivante :

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \mathbf{T}\text{diag}(\mathbf{k})\mathbf{T}^T & -\mathbf{T}\text{diag}(\mathbf{k})\mathbf{T}^T \\ -\mathbf{T}\text{diag}(\mathbf{k})\mathbf{T}^T & \mathbf{T}\text{diag}(\mathbf{k})\mathbf{T}^T \end{bmatrix}$$

T étant la matrice de transformation de la base locale vers la base globale, héritée de la barre, et $\text{diag}(\mathbf{k})$ étant la matrice diagonale générée à partir du vecteur k.

La saisie de l'élément DSC permet de définir les relâchements élastiques dans la barre, ce qui n'était pas possible dans l'approche actuelle.

Pour les structures à barres dans lesquelles l'intersection des barres se produit, l'utilisateur peut obtenir les mêmes valeurs des déplacements pour les barres dans le point de leur intersection. Pour cela, l'option *Nœuds compatibles* est utilisée. Vous devez définir le nombre de nœuds correspondant au nombre de barres relatives. Chaque nœud appartient à une autre barre.

L'option est disponible après la sélection de la commande *Nœuds compatibles* accessible dans le menu *Structure/Autres attributs*. Dans le logiciel, il est possible de définir les types de nœuds compatibles suivants : rigides, élastiques, avec amortissement, et non-linéaires.

La liaison rigide est utilisée pour modéliser les parties parfaitement rigides des structures élastiques (définition du corps rigide dans la structure). Pour une telle liaison, tous les nœuds ont les mêmes rotations et les déplacements identiques en ce qui concerne le mouvement rigide de la liaison entière. Les rotations et les déplacements définis pour la liaison rigide peuvent être limités à certains degrés de liberté. Par exemple, les déplacements linéaires peuvent être bloqués mais les rotations peuvent être libres. Le premier nœud est nommé le nœud maître (MASTER) et les autres sont les nœuds esclaves (SLAVE).

L'option *Liaisons rigides* est accessible par le menu déroulant *Structures*, sous menu *Autres attributs*, commande *Liaisons rigides*.

Certains éléments de la structure peuvent demander la modélisation d'excentrements c'est-à-dire la définition de l'assemblage avec excentrement des éléments de la structure. A cet effet, vous pouvez utiliser la commande *Excentrements* accessible dans le menu *Structure/Autres attributs*. Il est possible de définir l'excentrement automatique des barres de la structure. Dans ce cas, l'excentrement est défini par le désaxage de la barre jusqu'aux dimensions maximales de la section (uniquement). La sélection de la position de l'axe se fait par un clic sur la case d'option voulue disponible sur le schéma du profilé : u dessous du schéma du profilé, le logiciel affiche la description de la position du profilé de la barre, c'est-à-dire *Position* et la caractéristique de la position du profilé qui est la valeur du désaxage dans le repère local, p.ex. $-V_{py}$, V_z (désaxage : coin supérieur gauche).

Le logiciel vous permet de définir le sol élastique pour les barres de la structure. A cet effet, vous avez à disposition la fonction *Structure/Autres attributs/Sol élastique pour les barres*. Les calculs pour les barres avec le type de sol élastique défini sont effectués selon l'algorithme classique de sol élastique de Winkler, mais il n'est pas admissible de soulever la barre du sol.

ATTENTION: Le sol élastique ne peut être défini que pour certains types de structure. Le tableau ci-dessous présente les directions accessibles pour le sol élastique en fonction du type de structure sélectionné (degrés de liberté admissibles pour le type de structure sélectionné) :

PORTIQUE PLAN	KZ
PORTIQUE SPATIAL	KY, KZ, HX
GRILLAGE	KZ, HX
PLAQUE	KZ, HX
COQUE	KY, KZ, HX
TREILLIS PLAN	la définition n'est pas possible
TREILLIS SPATIAL	la définition n'est pas possible

Dans le cas des structures de type plaque et coque, vous pouvez également définir le coefficient d'élasticité du sol, mais la valeur d'un tel coefficient est défini dans la boîte de dialogue de définition de l'épaisseur de la plaque ou coque (voir le chapitre 3.5).

Dans certaines structures de barre, la définition des jarrets peut s'avérer nécessaire. L'option est disponible dans le menu après la sélection de la commande *Structure/Autres Attributs/Jarrets*.

Les jarrets sont utilisés dans la structure pour améliorer les caractéristiques sectionnelles des barres dans les zones voisines aux nœuds. Ils permettent de transférer des forces transversales et des moments plus importants en utilisant des profilés plus légers sur la longueur entière de la barre. Les jarrets peuvent être affectés aux profilés en I. Deux types de jarrets sont disponibles :

- PRS à dimensions données
- élément découpé dans le profilé correspondant au profilé de la barre.

Pour définir le jarret, vous devez spécifier le type de jarret et ses dimensions absolues ou relatives, de même, vous devez spécifier la position du jarret (en haut, en bas, en haut et en bas). Le jarret défini de cette façon est enregistré sous le nom donné par l'utilisateur, par conséquent il peut être utilisé plusieurs fois dans la structure. Pour la barre donnée, les jarrets sont définis séparément pour chaque extrémité de la barre.

Pendant les étapes successives des calculs, les jarrets sont pris en compte de la façon suivante :

- lors des calculs statiques - pour la partie de la barre avec le jarret, on prend une section à inertie variable dont les dimensions dépendent de la définition du jarret.
- lors du dimensionnement des assemblages - lors de la définition de l'assemblage acier correspondant, les dimensions du jarret sont transférées de façon automatique au module assemblages. Leur modification entraîne la nécessité d'actualiser les dimensions du jarret défini ou de définir un nouveau jarret.
- lors des calculs réglementaires - lors de la vérification des barres suivant la norme donnée, on adopte certains principes relatifs aux paramètres fictifs pris pour la barre entière. Le moment d'inertie de la barre fictive est calculé d'après la longueur et l'inertie des éléments spécifiques de la barre (segments avec et sans jarrets). Les caractéristiques fictives sont utilisées pour les calculs de la stabilité générale de la barre. Les contraintes sont vérifiées dans les points spécifiques de la barre avec la prise en compte des caractéristiques sectionnelles réelles.

Le dimensionnement, c'est-à-dire la recherche des sections optimales, est effectué avec la prise en compte des jarrets.

L'option permet de définir les imperfections géométriques initiales. Les imperfections géométriques peuvent être affectées à une barre simple ou à un groupe des barres colinéaires (superbarres). Les imperfections géométriques ne produisent pas de forces initiales ou de contraintes dans la structure - la prise en compte des imperfections provoque uniquement la modification de la géométrie de la structure. Lors de la création de l'option, les principes suivants ont été adoptés :

- imperfections sont affectées uniquement aux éléments de type barre
- imperfections sont affectées à la demi-longueur de la barre simple ou du groupe de barres colinéaires
- imperfections provoquent les modifications de la géométrie de la barre ou d'un groupe de barres ; par contre, le changement de la géométrie se fait par la création des éléments de calcul qui expriment la déformation

- tous les résultats de calcul de la structure sont affichés sur la structure déformée (elle prend en compte les imperfections géométriques) ; les déplacements des nœuds sont donnés par rapport à la géométrie initiale définie par l'utilisateur..

Dans le logiciel, il est possible de définir les rotules non-linéaires qui peuvent être utilisées dans l'analyse de dommage (Pushover analysis) pour chaque type de structure disponible dans le logiciel. L'analyse de dommage de la structure est une analyse statique non-linéaire dans laquelle la valeur du chargement de la structure est augmentée de façon incrémentale suivant le modèle de la charge adopté. La majoration de la valeur de la charge permet de retrouver les parties faibles de la structure et les modes de dommage de la structure. L'analyse de dommage permet d'évaluer la résistance réelle de la structure. L'option est accessible par le menu déroulant *Structure*, sous-menu *Autres*, commande *Rotules non-linéaires*. La boîte de dialogue **Définition du modèle de rotule** contient les options permettant de définir la courbe de l'analyse de dommage (PushOver) et ses paramètres. Dans cette boîte de dialogue, trois types de rotules non-linéaires sont disponibles : type force-déplacement, type moment-rotation et type contrainte-déformation.

Dans le système **Robot Millennium**, vous pouvez définir les barres travaillant seulement en traction/compression, barres de treillis (l'option sert à définir les barres de treillis dans les structures de type portique ; cette définition n'entraîne pas l'affectation des relâchements dans un élément portique, mais elle change le type d'élément fini de type barre en élément de type treillis) et les barres pour lesquelles l'influence du cisaillement sur les déformations de la structure sera prise en compte.

L'option est disponible après la sélection de la commande *Caractéristiques avancées* disponible dans le menu *Structure/Autres attributs*.

Dans la boîte de dialogue **Caractéristiques avancées**, vous pouvez définir les barres en traction/compression seules, barres de treillis, soit dans le champ d'édition approprié (utilisez le clavier pour saisir les numéros des barres) soit en mode graphique.

Dans la même boîte de dialogue vous pouvez définir les barres pour lesquelles l'influence du cisaillement sur les déformations de la structure sera prise en compte.

Le type de barre acier/bois est affecté lors de la définition des barres formant la structure.

La définition du type de barre n'est pas nécessaire lors de l'analyse de la structure, cet attribut est utilisé lors du dimensionnement des éléments spécifiques de la structure acier/bois (poutres, poteaux etc.).

Le type de barre comprend la définition de tous les paramètres nécessaires pour dimensionner la structure acier c'est-à-dire les longueurs de flambement, types de déversement, etc.

Le mode de définition des attributs mentionnés est analogue au mode d'affectation des sections aux barres de la structure.

Lors du travail dans le système **Robot**, vous pouvez définir plusieurs caractéristiques décrivant les paramètres des barres, panneaux ou solides. Ce sont de différents jeux de

paramètres qui servent à définir les propriétés physiques, mécaniques ou à dimensionner les éléments de la structure, par exemple : profilés des barres, épaisseurs des panneaux, définition de l'appui, de la rotule, jeux de paramètres pour le dimensionnement des structures acier ou pour les calculs du ferrailage dans les structures BA, etc.

L'option *Gestionnaire de labels* permet d'effectuer les opérations suivantes :

- enregistrement des caractéristiques de l'affaire courante dans la base
- chargement des caractéristiques à partir de la base dans l'affaire courante
- consultation du contenu des définitions des caractéristiques
- transfert des caractéristiques définies entre les installations ou postes successifs du logiciel.

N'oubliez pas que les caractéristiques réglementaires des barres (à savoir : type de barre acier/aluminium, type de barre bois ou type de barre BA) sont converties à la norme actuelle de dimensionnement des structures acier/aluminium, bois ou BA (ferrailage théorique). C'est pourquoi, les types de barre définis pour une norme donnée ne doivent pas être utilisés pour les autres normes car cela peut provoquer une perte des paramètres spécifiques. Le dimensionnement de toutes les barres dans une affaire donnée est effectué suivant la norme actuelle.

Par contre, les caractéristiques du ferrailage des plaques et coques sont enregistrées pour une norme de dimensionnement de structures BA (ferrailage théorique). Les caractéristiques du type de ferrailage des panneaux peuvent donc être utilisées indépendamment de la norme de dimensionnement sélectionnée par défaut.

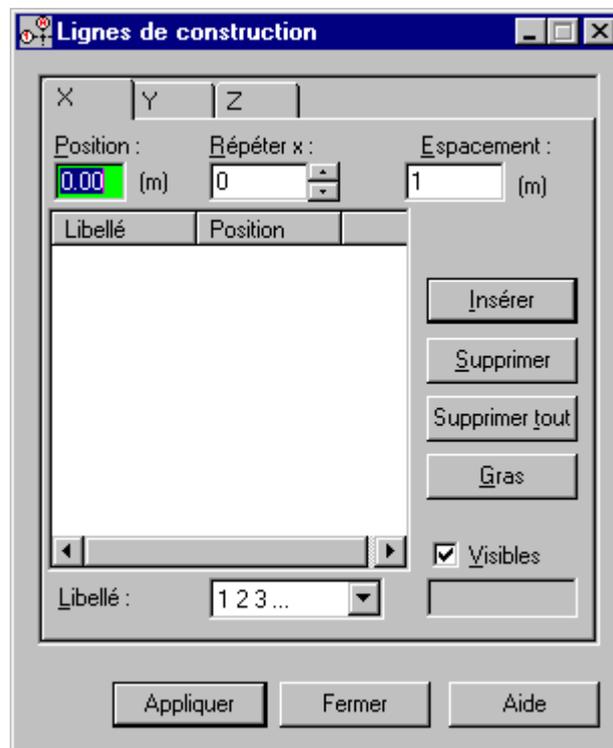
3.13. Autres composants de la structure

Les lignes de construction

Les lignes de construction sont un autre élément dont la fonction est de faciliter la création des structures, vous pouvez définir les lignes de construction :

- après la sélection la commande *Lignes de construction* disponible dans le menu *Structure* ;
- après un clic sur l'icône  affichée dans la barre d'outils **OUTILS** dans le bureau Démarrage

Le logiciel affiche alors la boîte de dialogue représentée ci-dessous :



Les lignes de construction forment une grille auxiliaire qui facilite la définition des différents éléments de la structure et permet de se référer aux composants de cette structure (c'est-à-dire de les sélectionner). La grille formée par les lignes de construction crée des points sur lesquels vous pouvez positionner le pointeur lors de la définition graphique de la structure.

La modification de la position d'une ligne de construction quelconque provoque la modification de la position de tous les composants de la structure positionnés dans les points d'intersection des lignes de la grille.

La grille des lignes de construction peut être définie comme :

- une grille rectangulaire dans le système cartésien (dans le plan ZX pour les structures planes, dans le plan XY pour les structures spatiales dont la hauteur est définie dans la direction Z). Si vous définissez les niveaux, pour chaque niveau est créée une grille identique avec celle définie dans le plan XY
- une grille cylindrique ou polaire.

Dans le cas où vous définissez les lignes de construction dans le système cartésien, deux possibilités sont disponibles :

- *relatif* - si cette option est activé, dans la boîte de dialogue, le champ *Point d'insertion* devient disponible ; la position des lignes de construction créées sera définie par rapport aux coordonnées du point d'insertion
- *absolu* - si cette option est activé, les lignes de construction seront créées à partir des valeurs réelles des coordonnées des lignes de construction appropriées (dans le repère global).

Pour la grille créée dans le système cylindrique ou polaire, seulement la définition en mode relatif est disponible, c'est-à-dire, par rapport au point d'insertion.

La partie supérieure de la boîte de dialogue contient la liste des jeux de lignes de construction définis. Au début de la définition d'un nouveau jeu, vous devez donner le nom du jeu dans le champ *Nom* (le nom du jeu par défaut est *Lignes de construction*) ; le nom d'un nouveau jeu est ajouté à la liste des lignes de construction définies.

Dans la partie supérieure de la boîte de dialogue, le bouton **Gestionnaire de lignes** est disponible. Un clic sur ce bouton ouvre la boîte de dialogue **Gestionnaire des lignes de construction**. Cette partie de la boîte de dialogue contient aussi le bouton **Nouveau**. Un clic sur ce bouton permet de définir le nom d'un nouveau jeu de lignes de construction.



Les options disponibles dans cette boîte de dialogue permettent de gérer les jeux de lignes de construction. La partie supérieure de la boîte de dialogue contient les grilles de lignes de construction définies qui sont identifiées par un nom saisi lors de la création des lignes de construction.



Après l'activation d'un jeu de lignes de construction (il est accompagné de symbole ✓) et un clic sur le bouton **OK**, les lignes de construction de ce jeu apparaissent sur l'écran. Si vous désactivez le jeu (le symbole ✓ disparaît) et cliquez sur le bouton **OK**, les lignes de construction de ce jeu ne sont pas visible sur l'écran.

La partie inférieure de la boîte de dialogue contient deux boutons :

- **Supprimer** - un clic sur ce bouton supprime le jeu de lignes de construction sélectionné
- **Supprimer tout** - un clic sur ce bouton supprime tous les jeux de lignes de construction disponibles dans la boîte de dialogue.

Nous nous limitons à la grille orthogonale (dans le plan ZX pour les structures planes, dans le plan XY pour les structures spatiales dont la hauteur est définie dans la direction Z). Si vous définissez les niveaux, pour chaque niveau est créée la même grille que celle définie dans le plan XY.

La boîte de dialogue *Lignes de construction* contient 3 onglets définissant respectivement :

- Onglet X : les lignes verticales (dans le plan YZ sont sélectionnées les coordonnées X)
- Onglet Y : les niveaux (dans le plan XY sont sélectionnées les coordonnées Y)
- Onglet Z : les lignes horizontales (dans le plan XZ sont sélectionnées les coordonnées Z)

Pour les structures planes, seulement deux onglets (X et Z) sont actifs. Pour les plaques et les grillages X et Y sont actifs. Dans le cas où vous sélectionnez l'option *Cylindrique*, dans la partie supérieure de la boîte de dialogue les onglets suivants sont disponibles : *Radial*, *Angulaire* et *Z* (le dernier onglet n'est disponible que pour les structures 3D).

Tous les onglets ont exactement le même aspect.

Le mode de définition des niveaux, des lignes horizontales et des lignes verticales est le même. Vous remplissez les champs d'édition *Position*, *Répétition* et *Espacement*. Afin de générer les lignes/niveaux ainsi définis il faut cliquer sur le bouton **Insérer**.

Les lignes/niveaux créés seront ajoutés à la liste ; dans les colonnes successives de la liste seront inscrits : le nom de la ligne/niveau et la position dans le repère global.

Vous pouvez sélectionner le nom de la ligne dans le champ Numérotation; les noms de niveaux sont définis comme «Niveau 1, Niveau 2 ...» (vous ne pouvez pas les modifier), par défaut les lignes verticales sont nommées «A,B,C...», les niveaux/lignes horizontales prennent les numéros 1,2,3 ...

Vous pouvez aussi définir une nomenclature personnalisée pour les niveaux/lignes. Pour cela, vous devez effectuer les opérations suivantes :

- définir la position du niveau/ligne
- dans la liste déroulante *Libellé* sélectionnez l'option *Définir*
- saisissez la description de la ligne/niveau défini dans le champ affiché dans la partie inférieure de la boîte de dialogue (le champ n'est accessible que si l'option *Définir* est sélectionnée)

- cliquez sur le bouton **Insérer**.

Afin de supprimer une ligne ou un niveau quelconque il faut placer en surbrillance la ligne (ou le niveau) se trouvant dans la liste et cliquer sur le bouton **Supprimer**. Si vous voulez supprimer tous les niveaux, vous devez cliquer sur le bouton **Supprimer tout**.

Pour mettre en évidence une ligne/niveau quelconque à l'écran graphique, il faut mettre en surbrillance la ligne/niveau approprié dans la liste de lignes et cliquer sur le bouton **Gras**. La troisième colonne affiche alors le symbole X à côté de la ligne en question pour signaler la mise en évidence de cette ligne.

Les lignes se trouvant sur la liste sont toujours affichées alphabétiquement suivant l'ordre ascendant des coordonnées définissant ces lignes.

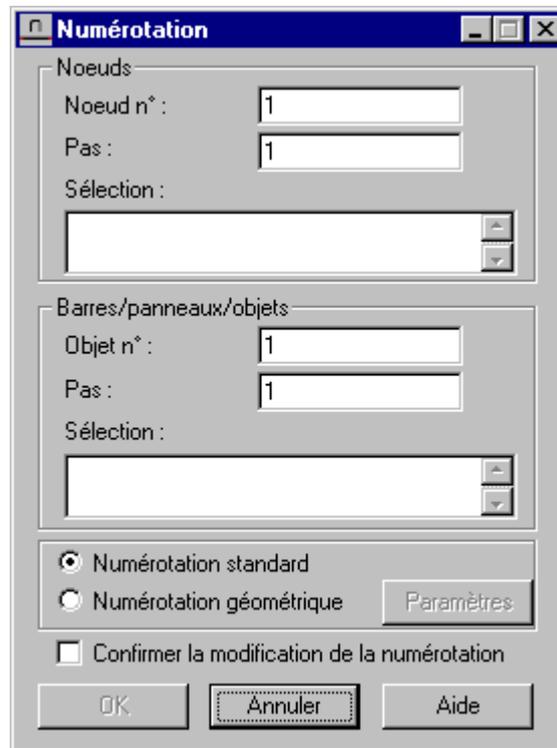
Vous pouvez aussi modifier la position des lignes de construction existantes. Pour cela, il faut cliquer sur le repère de la ligne de construction sélectionnée, le logiciel affichera alors une boîte de dialogue permettant de définir le déplacement de la ligne de construction sélectionnée.

Numérotation

Dans certains cas l'option *Numérotation* est un outil commode destiné à modifier la numérotation des nœuds, barres, panneaux et objets.

L'option *Numérotation* est accessible :

- après la sélection de la commande *Numérotation* dans le menu *Structure*.
- après un clic sur l'icône **Numérotation** .



Dans cette boîte de dialogue vous pouvez modifier la numérotation des barres, panneaux, objets et nœuds définis dans la structure.

La boîte de dialogue comprend deux zones principales : *Barres/Panneaux/Objets* et *Nœuds*. Les deux zones regroupent des options identiques (*Numéro d'objet*, *Pas*, *Sélection*).

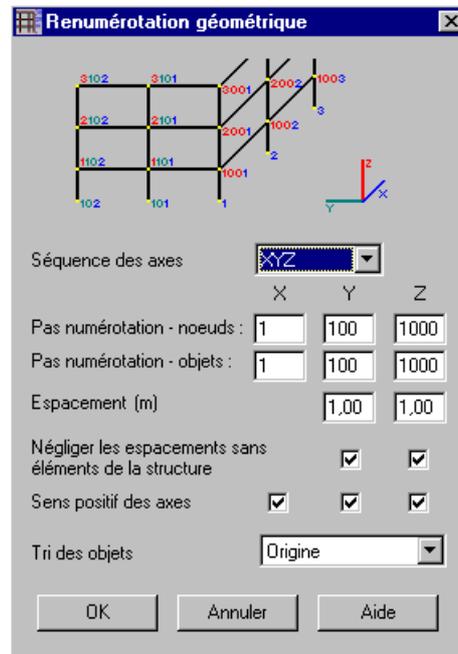
Afin de modifier la numérotation des objets définis dans la structure, vous devez effectuer les actions suivantes :

- définissez le numéro de l'objet initial (saisissez le numéro de nœud dans le champ d'édition *Nœud n°*, saisissez le numéro de barre/panneau/objet dans le champ *Barre n°*)
- définissez l'incrément de la numérotation dans le champ *Pas*
- sélectionnez dans la structure les nœuds et/ou barres/panneaux/objets les numéros que vous voulez modifier
- cliquez sur le bouton **OK**.

Si aucun conflit de numérotation ne se produit (c'est-à-dire que, dans la structure étudiée, il n'y a pas de nœuds/ barres/panneaux/objets dont les numéros soient les mêmes que les numéros à générer par la renumérotation), les numéros des nœuds/ barres/panneaux/objets sélectionnés seront modifiés.

ATTENTION : Si, par exemple, vous voulez modifier la numérotation des barres 8, 11, 15, 20 et que vous définissiez les paramètres de numérotation suivants : **Objet n° 11** et **Pas** égal à 2, aucun conflit de numérotation ne se produira à condition que les barres 13 et 17 n'aient pas déjà été définies dans la structure.

Il est également possible d'effectuer la numérotation géométrique. Les paramètres de ce type de renumérotation sont disponibles après un clic sur le bouton **Paramètres** disponible dans la boîte de dialogue ci-dessus (le bouton devient actif après la sélection de l'option *Numérotation géométrique*).



Dans certains cas il est nécessaire d'insérer des lignes de côte sur le dessin de la structure. Pour ce faire, vous devez utiliser la commande *Outils/Cotations* qui affiche une boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir les paramètres des lignes de côte créées (type de ligne, position de la ligne, origine et fin de la ligne etc.).

3.13.1. Opérations d'édition

Le logiciel **Robot** est muni de plusieurs utilitaires qui facilitent le travail de l'utilisateur, lors de la définition et/ou de la modification de la structure étudiée. Ces options sont : rotation, translation, symétrie (miroir) horizontale et verticale, symétrie axiale et homothétie. Les commandes d'édition énumérées ci-dessus sont accessibles par le menu déroulant *Edition*, sous-menu *Transformer...* ou après un clic sur l'icône

Vous avez également à votre disposition la commande *Transformation multiple*, elle sert à grouper les opérations de transformation (translation, rotation et homothétie).

L'option est disponible dans le menu Edition.

Pour définir la transformation multiple de nœuds/objets, il s'agit préalablement de sélectionner les nœuds/objets ; de la structure à transformer puis de choisir, dans un ordre quelconque, les opérations à appliquer parmi celles citées ci-dessus.

Lors de la définition du modèle de la structure, les options : *Intersection*, *Prolongement* et *Coupure*, peuvent s'avérer fort utiles.

L'option *Intersection* sert à diviser les barres ou les côtés des objets en barres ou segments des côtés plus petits. L'option est accessible par:

- le menu Edition, commande Intersection
- la barre d'outils à partir de l'icône .

L'option prolongement consiste à allonger la barre ou l'objet sélectionné vers les barres ou objets qui définissant le prolongement (limites du prolongement).

L'option est accessible par:

- le menu *Edition*, commande *Prolongement*
- la barre d'outils à partir de l'icône .

Ces icônes sont obtenues à partir de l'icône

L'option *Coupure* sert à couper les parties des barres/objets en fonction des barres ou des objets définissant la coupe.

L'option est accessible par:

- le menu *Edition*, commande *Coupure*
- la barre d'outils à partir de l'icône .

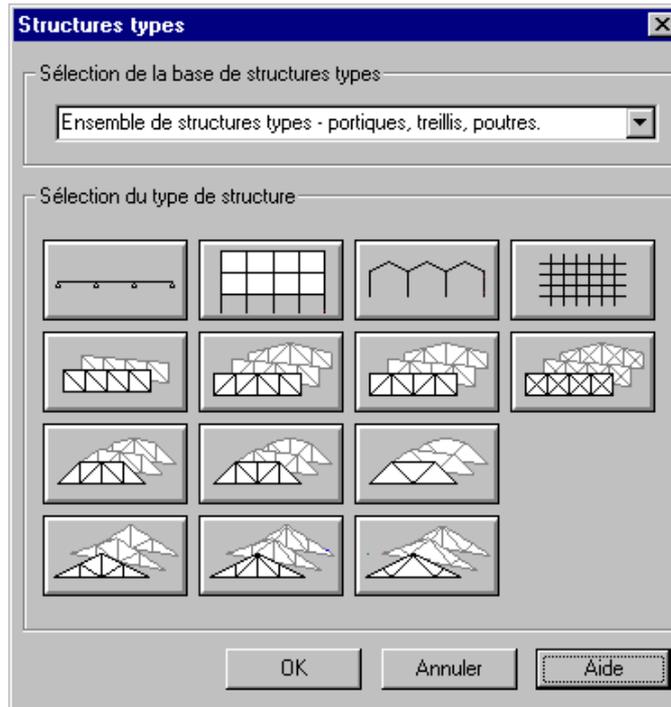
3.14. Structures types

Dans la boîte de dialogue *Structure type* vous pouvez sélectionner/définir des structures types (sous-structures types).

Afin d'ouvrir la boîte de dialogue *Structure type* , vous pouvez :

- soit dans la barre d'outils, cliquer sur l'icône 
- soit dans le menu déroulant *Fichier*, sélectionner la commande *Ouvrir structure type...*

Il apparaît alors la boîte de dialogue représentée ci-dessous :



Les structures types sont groupées en bases. Pour sélectionner une structure, vous devez d'abord sélectionner une base. Dans la version actuelle de **Robot Millennium** les bases suivantes sont disponibles :

- structures types - portiques, treillis, poutres
- structures types – base supplémentaire
- portiques plans à plusieurs nefs
- plaques et coques.

La boîte de dialogue représentée ci-dessus regroupe plusieurs icônes représentant les types de structures de la première base. Vous sélectionnez le type de base en effectuant un double clic sur l'icône voulue.

N.B.: L'utilisation de ROBOT LT augmente la bibliothèque de structures types.

Le logiciel permet d'utiliser plusieurs structures types les plus souvent utilisées lors de l'étude des structures :

-  poutre continue,
-  grillage,
-  portique rectangulaire à plusieurs étages,
-  portique à plusieurs nefs,
- différents types de treillis.

Vous pouvez paramétrer librement les types accessibles de structures à barres.

Lors de la définition de la structure vous aurez par exemple :

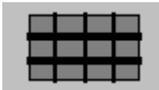
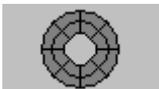
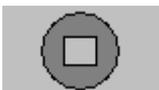
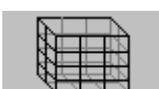
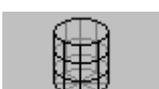
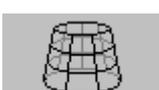
- longueur ;
- hauteur/largeur ;
- nombre de champs/divisions/travées ;

De plus, pour certains types de treillis , vous devez spécifier :

- le niveau du nœud extrémité ;
- le niveau du nœud central de la membrure inférieure ;
- le niveau du nœud central de la membrure supérieure.

Dans la base supplémentaire, plusieurs types de treillis sont disponibles, par exemple la ferme Polonceau.

Dans la base **Plaques et coques**, les structures de plaque et les structures de coque les plus souvent utilisées sont disponibles :

-  plaque rectangulaire
-  plaque rectangulaire avec un trou rectangulaire
-  plaque rectangulaire avec un trou circulaire
-  plaque rectangulaire avec des solives
-  plaque circulaire
-  plaque circulaire avec un trou circulaire
-  plaque circulaire avec un trou rectangulaire
-  paroi avec orifices
-  plaque en demi-cercle
-  plaque en demi-cercle avec un trou circulaire
-  plaque en demi-cercle avec un trou rectangulaire
-  structure de coque - réservoir cubique
-  structure de coque - réservoir cylindrique
-  structure de coque - réservoir en tronc de cône

Les types de structure listés ci-dessus peuvent être paramétrés assez librement.

Lors de la définition de la structure plaque ou coque, vous devez définir les dimensions de la structure et sélectionner le type de maillage à utiliser pour générer le maillage par éléments finis.

Une structure définie à l'aide de la base de structures types peut être utilisée soit comme structure entière soit comme une partie d'une structure plus grande (les options spécifiques permettent de l'insérer dans la structure existante de façon pratique et avec précision).

3.15. Structures par phases

Une des options intéressantes disponibles dans **ROBOT** est la possibilité d'analyser les structures créées en phases c'est-à-dire les structures construites en plusieurs étapes technologiques.

Pour cela, vous devez utiliser les commandes :

- *Sélectionner Phase* disponible dans le menu *Structure/Phases*
- *Collectionner phases* disponible dans le menu *Structure/Phases*

Le logiciel effectue les calculs de la structure pour chaque phase séparément ; les résultats sont obtenus pour chaque phase car chaque phase de création de la structure est considérée comme une structure indépendante. Le logiciel effectue automatiquement l'analyse de la structure par phases pour chaque phase successive. Vous pouvez décider quelle phase est « active » c'est-à-dire quelle sera la phase pour laquelle les résultats seront présentés.

Les résultats des calculs peuvent être consultés pour chaque phase séparément ou bien collectionnés pour permettre la comparaison des résultats et la création de l'enveloppe des résultats pour la structure entière en utilisant les résultats obtenus pour les phases sélectionnées.

Après la sélection de l'option *Sélectionner phase*, le logiciel affiche la boîte de dialogue représentée sur la figure ci-dessous (la boîte de dialogue contient déjà quatre phases définies préalablement).



Dans la boîte de dialogue, les options suivantes sont accessibles :

- zone *Activation/Etendue de l'edition* - ce champ affiche les noms des phases définies jusqu'à ce moment. A côté de chaque phase définie, le logiciel affiche son numéro et la case à cocher permettant de décider si les barres/éléments de cette phase doivent être transférés dans les phases suivantes

Si l'option est active pour la phase donnée (la case est alors cochée), les barres/éléments définis dans la phase sélectionnée actuellement seront également inclus dans la phase pour laquelle le transfert est activé ; si l'option est inactive (la case n'est pas alors cochée), toutes les barres et tous les éléments définis pour la phase actuelle ne seront pas pris en compte dans la phase donnée.

- option *Toutes les fenêtres* - si cette option est activée, l'activation de la phase de la structure sera appliquée dans toutes les fenêtres ouvertes dans le logiciel ; si cette option est inactive, l'activation de la phase concernera seulement la fenêtre active.

- trois boutons :

Activer si vous cliquez sur ce bouton, la phase sélectionnée (mise en surbrillance) deviendra active ; vous pouvez obtenir le même effet en effectuant un double clic sur la phase de construction voulue

Modifier un clic sur ce bouton permet de renommer la phase sélectionnée (mise en surbrillance)

Supprimer un clic sur ce bouton supprime la phase sélectionnée (mise en surbrillance)

- zone *Nouvelle phase* - dans ce champ vous pouvez définir la nouvelle phase ; pour cela, saisissez le nom de la phase (le logiciel affectera automatiquement le numéro à la nouvelle phase, le numéro suivant sera pris) et cliquez sur le bouton **Définir**.



*ATTENTION : La barre de titre du logiciel **Robot** affiche le nom de la phase active.*

L'option *Collectionner phases* est utilisée pour définir les résultats de la phase sélectionnée (phase initiale) suivant la phase finale (phase de base) sélectionnée qui, par défaut, doit être la structure entière. L'option en question entraîne la collection des phases sélectionnées (collection des résultats) et permet de comparer les phases sélectionnées en mode graphique. Dans la partie supérieure de la boîte de dialogue, vous devez sélectionner la *Phase de base* (cette phase doit correspondre à structure entière). Pour définir les *Phases ajoutées*, cochez la case correspondant à la base sélectionnée. Chaque phase peut être facilement ajoutée à la liste ou supprimée de la liste, pour cela, cliquez sur le bouton approprié.

ATTENTION : Lors de la définition des phases successives de la création de la structure étudiée, il faut prêter l'attention à la numérotation des barres/éléments de la structure ; dans les phases successives, les barres doivent avoir les mêmes numéros afin que l'opération de collection des phases ait du sens (c'est-à-dire que les résultats obtenus pour les phases successives soient collectionnés pour les mêmes barres/éléments).

Les résultats pour la structure « collectionnée » de cette façon seront affichés si dans la boîte de dialogue *Phases* la phase *Structure composée/1^{ère} phase avant le collage* est sélectionnée.

3.16. Bibliographie

Général

- K.J. BATHE, E. WILSON, *Numerical Methods in Finite Element Analysis*, Prentice Hall, New Jersey 1976
- J.L. BATOZ, G. DHATT, *Modélisation des structures par éléments finis*, Hermes, Paris 1990.
- M.A. CRIESFIELD, *Solution procedures for non-linear structural problems*, 1984
- T. GALEA, H. GACHON, *Modèle d'analyse nonlineaire des structures à barres méthodes d'approche du seuil de bifurcation*, Construction Metallique, 2-1978
- E. HINTON, D.R.J. OWEN, *An Introduction to Finite Element Computations*, Pineridge Press, Swansea 1984
- E. HINTON, D.R.J. OWEN, C. TAYLOR (Eds), *Recent Advances in Non-linear Computational Mechanics*, Pineridge Press, Swansea 1982
- T.J.R. HUGHES, *The Finite Element Method - Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis*, Prentice-Hall, New Jersey 07632
- T.J.R. HUGHES, F. BREZZI, *On Drilling Degrees of Freedom*, Comp. Meth. In Appl. Mech. and Eng. 72(1989), 105-121
- W. KANOK-NUKUICHAI, *Mathematical modelling of cable-stayed bridge*, Structural Engineering International, 2/92
- J.S. PRZEMIENIECKI, *Theory of Matrix Structural Analysis*, McGraw-Hill, New York 1968
- S.P. TIMOSHENKO, J.M. GERE, *Theory of Elastic Stability*, McGraw-Hill, New York, 1961
- S.P. TIMOSHENKO, WOYNOWSKI-KRUGER, *Theory of Plates and Shells*, McGraw-Hill, New York 1966
- K. WASHIZU, *Variational Methods in Elasticity and Plasticity*, Pergamon Press, 1976
- O.C. ZIENKIEWICZ, *Finite Element Method*, McGraw-Hill, London 1977.

Bibliographie concernant les méthodes de génération du maillage EF

- AKHRAS, DHATT, *"An automatic node recaballing schema for minimizing a matrix or network bandwidth*, IJNME'76, vol. 10, 787-97
- AKIN, *Contouring on isoparametric surfaces*, IJNME'77, v.11, 893-7
- AMEZWA el. el. 3, *A general algorithm for the bidimensional Finite Element meshing*, II Congress Mundial Vasco, ed. ALEA t.I, 1988 p. 540-52
- BARNHILL, BIRKOFF, GORDON, *Smooth Interpolation in Triangles*, J. of Approx. Theory 8,114-28, (1973)
- BOWYER, *Computing Divicklet tesselations*, The Computer Journal, v.24, 2, 1981
- BYKAT, *Automatic generation of triangular grid: I - subdivision of a general polygon into convex subregions, II - triangulation of convex polygons*, IJNME'76, 1329-42
- BYKAT, *A note on an element ordering schema*, IJNME '76, 194-8
- BYKAT, *Design of a recursive shape controlling mesh generator*, 1375-90, vol. 19, 1983
- CAVENDISH, GORDON, HALL, *Substructured macro elements based on locally blended interpolation*, IJNME'83, v11, IJNME'77, 1405-21
- COLLINS, *A modified prefrontal routine*, IJNME '77, 765-6
- DUROCHER, GASPER, *A Vertical Two-Dimensional Mesh Generator with Automatic Bandwidth Reduction*, Computer & Structures, 1979, v. 10, p. 561-75



- EISENBERG, MALVERN, *On FE Integration in Natural Co-ordinates*, IJNME'73, v.7, N 4, 574-5
- FREY, HALL, PORSCHING, *An application of computer graphics to 3D FE*, C&S 1979, v. 10, 149-54
- GOLDEN, *Geometric structural modelling: a promising basis for FE analysis*, Computers & Structures 1979, v. 10, 347-50
- GORDON, *Spline blended surface interpolation through curve networks*, Journal of Math & Mech. (JMM) '69, 931-52
- GORDON, HALL, *Transfinite Element Methods: Blending Function Interpolation over Arbitrarily Curved Element Domains*, Numer. Math, 21, 109-29
- HABER, SHEPHARD, ABEL, GALLAGHER, GREENBERG, *A General 2-D Graphical FE Preprocessor Utilizing Discrete Transfinite Mappings*, IJNME, 1981, vol. 17, 1015-44
- HALL, LUCZAK, SERDY, *Numerical Solution of Steady State Heat Flow Problems over Curved Domains*, ACM - TrMS'76 (Transaction of Mathematical Software), vol. 2, Nr 3, Sept. 76, p. 257-74
- HALL, *Transfinite Interpolation and Applications to Engineering Problems, Theory of Approximation with Applications*, ed. LAW, SAHNEJ, 308-31
- HENSHELL, *Differences Between Isoparametric Assumptions and True Circles*, IJNME, 1977, p. 1193-6
- JOE, SIMPSON, *Triangular meshes for regions of complicated shape*, IJNME'86, v. 23, 751-78
- JOHNSON, *Meshing - Beauty is only skin deep*, BENCHmark, June 1993, p. 34-37
- KLEINSTREUER, HOLDEMAN, *A triangular FE mesh generator for fluid dynamic systems of arbitrary geometry*, IJNME'80, v. 15, 1325-34
- LEE, LO, *An Automatic Adaptive Refinement, FE Procedure for 2D Elastostatic Analysis*, IJNME 1992, vol. 35, P. 1967-89
- LEWIS, ROBINSON, *Triangulation of Planar Regions with Applications*, The Computer Journal 1987, vol. 21, n°4, p. 324-32
- LIU, CHEN, *A 2D Mesh generator for variable order triangular and rectangular elements*, Computer & Structures, v. 29, Nr 6, 1033-53, 1998
- LO, *Generation of High-Quality Gradation Finite Element Mesh*, Engineering Fracture Mechanics, 1992, vol. 41, N° 2, pp. 191 - 202
- LO, *Visualisation of 3D solid FE mesh by the method of sectioning*, C&S, 1990, vol. 35, N° 1, pp. 63-8
- LO, *Volume discretization into tetrahedra - I. Verification and orientation of B surfaces*, C&S, 1991, vol. 39, N° 5, pp. 493-500
- LO, *Volume discretization into tetrahedra - II. 3D triangulation by advancing front approach*, Computers & Structures, 1991, vol. 39, N° 5, pp. 501-11
- LO, CHEUNG, LEUNG, *An algorithm to display 3D objects*, C&S'82, v. 15, No. 6, 637-83
- McNEICE, MARCAL, *Optimization of FE Grids based on Minimum Potential Energy*, Transaction of ASME (Journal of Eng. for Indus.), February 1973, p. 186-90
- MEEK, BEER, *Contour Plotting of Data Using Isoparametric Element Representation*, IJNME, 1975, vol. 10, N°4, P; 954-7
- MOSCARDINI, LEWIS, CROSS, *AGHTOM - Automatic Generation of Triangular and Higher Order Meshes*, IJNME, 1983, vol. 19, pp. 1331-53
- OBBERKAMPF, *Domain Mappings for the Numerical Solution of Partial Differential Equations*, IJNME, 1976, vol. 10, p. 211-23

- PARK, WASHAM, *Drag method as a FE mesh generation scheme*, Computers & Structures, 1979, vol. 10, p. 343-6
- PEANO, PASINI, RICCONI, SARDELLA, *Adaptive Approximations in FE Structural Analysis*, C&S, 1979, vol. 10, p. 333-42
- PERUCCHIO, INGRAFFEA, ABEL, *Interactive Computer Graphic Preprocessing for 3D FE Analysis*, IJNME, 1982, vol. 18, p. 909-26
- PERUCCHIO, SAXENA, *Automatic Mesh Generation from Solid Models Based on Recursive Spatial Decompositions*, IJNME, 1989, vol. 28, pp. 2469-501
- PIEGL, *Hermite and Coons like interpolants using rational Bezier approximation form with infinite control points*, CAD, 1988, p. 2-10
- PINA, *An Algorithm for Frontwidth Reduction*, IJNME, 1981, vol. 17, p. 1539-46
- PISSANETZKY, KUBIK, *An Automatic 3D FE Mesh Generator*, IJNME, 1981, vol. 17, p. 255-69
- POURAZADY, RADHAKRISHAN, *Optimization of a triangular mesh*, Comp. & Structures, 1991, v. 40, Nr 3, pp. 795-804
- PREISS, *Checking the Topological consistency of a FE mesh*, IJNME 1979, v. 14, 1805-12
- RHEINBOLDT, *Adaptative Mesh Refinement Processes for FE solutions*, IJNME, v. 17, 649-62, 1981
- RUDD, *Impacting the design process using solid modelling and automated FE mesh generation*, CAD'88, p. 212-60
- SADEK, *A Scheme for the Automatic Generation of Triangular Finite Elements*, IJNME, 19780 vol. 15, p. 1813-22
- SCHROEDER, SHEPHARD, *Geometry Based Fully Automatic Mesh Generation and the Delaunay Triangulation*, IJNME, 1988, vol. 26, p. 2503-15
- SIMPSON, *Automatic Local Refinement for Irregular Rectangular Meshes*, IJNM, 1979, v. 14, 1665-78
- SLOAN, *A Fast Stiffness Formulation for FE Analysis of 2D Solids*, IJNME 1981, v. 17, p. 1313-23
- STELZER, WELZEL, *Plotting of Contours in a Natural Way*, IJNME, 1987, v. 24, 1757-69
- STRICKLIN, HO, RICHARDSON, HAISLER, *On Isoparametric vs. Linear Strain Triangular Elements*, IJNME, 1977, v. 11, 1041-43
- WU, *Techniques to Avoid Duplicate Nodes and Relax Restrictions on Superelement Numbering in a Mesh Generator*, Computers & Structures, 1982, vol. 15, n° 4, p. 419-22
- WU, ABEL, GREENBERG, *An Interactive Computer Graphics Approach of Surface Representation*, Communication of the ACM, October 1977, vol. 20, n° 10, p. 703
- ZIENKIEWICZ, ZHU, *Error estimates and Adaptivity - The Essential Ingredients of Engineering FEM Analysis*, BENCHmark, July 1989, p. 9-15
- SPATIAL TECHNOLOGY, *ACIS Geometric Modeler - Technical Overview*, Printed in the USA, 1996
- SPATIAL TECHNOLOGY, *ACIS 3D Toolkit - Technical Overview*, Printed in the USA, 1996/97



4. ANALYSE DE LA STRUCTURE

4.1. Lancement des calculs de la structure

Vous pouvez lancer les calculs de différentes façons :

La première fois, sélectionner le bureau **RESULTATS/RESULTATS**

- dans le menu déroulant *Analyse*, sélectionnez la commande *Calcul*
- cliquez sur l'icône **Calcul** affichée dans la barre d'outils 
- sélectionnez le bureau dans le groupe **RESULTAT (RESULTATS – DIAGRAMMES** ou **RESULTATS – CARTOGRAPHIES)**
- sélectionnez les grandeurs à calculer dans le menu *Résultats* (réactions, déplacements, efforts, etc.)

Dans le logiciel, l'option qui protège contre la perte des résultats de calcul de la structure (l'état de calcul : *Non actuels*) est disponible. Dans le cas où vous effectuez une opération qui modifie les données sur la structure enregistrées dans le fichier *.RTD, le verrouillage global des résultats a été implémenté. Il peut être effectué de trois manières :

- manuellement par l'utilisateur - dans le menu *Résultats*, l'option *Résultats figés* est disponible; cette option peut être activée/désactivée et de cela, les résultats sont verrouillés ou déverrouillés (ATTENTION : l'option n'est active que si les résultats de calcul de la structure sont Actuels)
- automatiquement suivant la configuration dans les *Préférences de l'affaire* - sur l'onglet Analyse de la structure, l'option *Figé automatiquement les résultats de calcul de la structure* est disponible ; si l'option est cochée, après chaque calcul de la structure (dans le cas où l'état des résultats de calcul change en *Actuels*), les résultats de calcul de la structure sont automatiquement figés ; l'option est activée par défaut
- semi-automatiquement en réponse à l'opération effectuée par l'utilisateur - concerne uniquement l'opération de libérer les résultats de calcul ; si les résultats de calcul sont figés et l'utilisateur effectue une opération quelconque à la suite de laquelle les données sur la structure sont modifiées, le logiciel affiche le message qui avertit l'utilisateur que les résultats actuels de calcul peuvent être perdus ; si vous acceptez, les données sur la structure sont changées et les résultats de calcul libérés (si vous n'acceptez pas, aucune modification dans la structure n'est effectuée et l'état des résultats ne change pas).

Il faut souligner que si vous effectuez une opération **quelconque** qui peut modifier les données sur la structure, le logiciel affichera le message d'avertissement (si les résultats sont figés). Cela veut dire que si vous définissez la combinaison manuelle (l'opération après les calculs est correcte), le logiciel affiche quand même le message d'avertissement. L'utilisateur peut, bien sûr, accepter l'avertissement et définir la combinaison et, ensuite, figer manuellement les résultats de calcul.

4.2. Les différents types d'analyse disponibles

Dans le système **Robot Millennium**, vous pouvez définir les paramètres des différents types d'analyse de la structure. Au début de la définition des charges appliquées à la structure, le même type (statique linéaire) est affecté à tous les cas de charges définis pour la structure.

Dans la boîte de dialogue **Options de calcul** qui s'ouvre après la sélection de la commande *Type d'analyse* disponible dans le menu déroulant *Analyse*, vous pouvez modifier le type d'analyse statique linéaire en analyse non-linéaire. Dans cette boîte de dialogue vous pouvez créer également de nouveaux cas de charges et lancer les calculs pour les types d'analyse pour lesquels la définition antérieure d'un cas de charges statique n'est pas nécessaire (analyse modale ou sismique).

Dans la version actuelle de **Robot Millennium**, les différents types d'analyse disponibles sont les suivants :

- statique linéaire
- statique non-linéaire (avec la prise en compte de l'effet P-Delta) – la non-linéarité est une non-linéarité géométrique. Cette option est accessible par l'icône définir paramètres (ou un double clic sur le numéro de chargement).
- flambement généralisé
- analyse modale (vibrations propres de la structure)
- analyse modale avec la prise ne compte des efforts statiques - L'analyse modale utilisée généralement (calcul des vibrations propres de la structure) ne prend pas en compte l'influence des efforts statiques ; pour s'approcher aux conditions de travail réelles de la structure, l'analyse modale avec la prise en compte des efforts statiques appliqués peut être utilisée lors des calculs effectués dans le logiciel **Robot**.
- analyse harmonique
- analyse sismique (les normes suivantes sont disponibles : normes françaises PS69, PS92 et AFPS 90, norme européenne EC8, norme américaine UBC97, norme italienne DM16.1.96, norme roumaine P100-92, normes algériennes RDA 88 et RPA99, norme marocaines RPS 2000, norme sismique turque, norme sismique chilienne NCh 433.Of96,

normes sismiques chinoises, norme sismique argentine CIRSOC 103, norme grecque EAK 2000, norme américaine IBC 2000, normes russes : SniP II-7-81 et SniP 2001).

- analyse spectrale
- analyse temporelle – analyse temporelle non-linéaire est également disponible
- analyse Pushover
- analyse élasto-plastique des barres (dans la présente version du logiciel, cette analyse est disponible uniquement pour les profilés acier)
- analyse non linéaire due aux barres travaillant en traction/compression seule et analyse des structures câblées

Remarque :

L'analyse des contraintes est basée sur la division de la barre en 20 parties égales. Par conséquent, il peut y avoir de faibles différences entre les valeurs en question et les valeurs des efforts et des contraintes affichées dans les tableaux x (surtout en ce qui concerne les valeurs extrêmes).

EQUATIONS RESOLUES LORS DES CALCULS DE LA STRUCTURE

La structure entière est divisée en parties (éléments finis). Les éléments sont connectés seulement dans les nœuds. La déformation dans chaque élément est définie à base des déplacements des nœuds (les fonctions de la forme définies dans l'élément sont utilisées). De cette façon, l'énergie interne et la structure dépend seulement des paramètres indépendants des nœuds. Les déplacements des nœuds enregistrés pour la structure entière forment le vecteur global des déplacements inconnus \mathbf{Q} de la structure. Si l'on utilise un principe variationnel approprié (par exemple, le principe des travaux virtuels), les conditions de l'équilibre des éléments peuvent être formulées. Cette procédure entraîne la création du système d'équations d'équilibre bien connu, il peut être formulé de la façon suivante :

$$\mathbf{M} \mathbf{Q}'' + \mathbf{C} \mathbf{Q}' + \mathbf{K} \mathbf{Q} = \mathbf{F}(t) - \mathbf{f}(t, \mathbf{Q})$$

où :

\mathbf{K} - matrice de rigidité tangente est la somme des matrices composantes suivantes :

$$\mathbf{K} = \mathbf{K}_0 + \mathbf{K}_\sigma + \mathbf{K}_{NL} , \text{ où :}$$

\mathbf{K}_0 - matrice de rigidité initiale (indépendante du vecteur \mathbf{Q})

\mathbf{K}_σ - matrice des contraintes (dépendant de façon linéaire des contraintes de compression)

\mathbf{K}_{NL} - matrice des autres composants dépendant du vecteur \mathbf{Q}

\mathbf{C} - matrice de l'amortissement

\mathbf{M} - matrice des masses

\mathbf{Q} - déplacements (incréments ou déplacements totaux)

\mathbf{Q}' - vitesses (première dérivée du vecteur des déplacements \mathbf{Q} par rapport au temps)

\mathbf{Q}'' - accélérations (deuxième dérivée du vecteur des déplacements \mathbf{Q} par rapport au temps)

$\mathbf{F}(\mathbf{t})$ - vecteur des efforts extérieurs

$\mathbf{f}(\mathbf{t}, \mathbf{Q})$ - vecteur des efforts non équilibrés.

Pour enregistrer les équations où pour la structure entière, les déplacements globaux \mathbf{Q} sont utilisés, c'est-à-dire que les déplacements sont définis dans le repère global. Les équations créées sont l'effet de l'agrégation des conditions de l'équilibre de l'élément enregistré dans le repère local. La transformation des grandeurs dans le repère local en grandeur dans le repère global (et vice versa) est une opération standard sur les matrices.

Les types suivants d'analyse sont disponibles :

ANALYSE STATIQUE

Le système de base d'équations d'équilibre représenté ci-dessus peut être simplifié si l'on adopte un principe selon lequel la charge appliquée à la structure est quasi-statique, c'est-à-dire que les charges sont appliquées à la structure de façon suffisamment lente pour que les vitesses et les accélérations des masses de la structure soient nulles et que les forces d'inertie et d'amortissement et l'énergie cinétique et d'amortissement puissent être négligées. Le système d'équations simplifié de cette manière représente le système d'équations statiques avec plusieurs degrés de liberté de la structure. Il existe deux types d'analyse statique de la structure à savoir l'analyse linéaire et l'analyse non-linéaire.

Analyse linéaire

L'analyse statique linéaire est le type d'analyse de base utilisé dans le logiciel. Lors de l'analyse statique de la structure, les principes suivants sont adoptés : petits déplacements, petites rotations de la structure, le matériau est parfaitement élastique. Par conséquent, le principe de superposition peut être utilisé. Pour un tel cas, les éléments de la matrice de rigidité sont constants ; la matrice de rigidité entière prend la forme définie par l'équation \mathbf{K}_0 , $\mathbf{Q} = \mathbf{F}$.

Pour les calculs statiques de la structure, vous pouvez définir les types de charges suivants :

- tous les types de charges statiques (forces concentrées – nodales et appliquées à la position quelconque sur la longueur de l'élément, charges linéaires – uniformes et variables sur la longueur de l'élément)
- déplacements imposés des appuis et raccourcissement/allongement des barres
- charges par champ thermique (uniforme ou variable sur la hauteur de la section).

Pour résoudre les problèmes statiques linéaires, la méthode de déplacements est utilisée. Les résultats des calculs statiques sont :

- déplacements des nœuds,
- efforts internes dans les éléments,
- réactions dans les nœuds d'appui,
- forces résiduelles dans les nœuds.

Si vous voulez effectuer les calculs de la structure suivant la statique linéaire, vous n'êtes pas obligé de définir les paramètres de l'analyse. La statique linéaire est un type d'analyse par défaut dans le logiciel. Cela veut dire que si vous n'avez pas défini un autre type d'analyse, le logiciel effectue le calcul de la structure suivants les calculs statiques. Tous les cas de charge définis dans le logiciel sont les cas de statique linéaire.

Analyse non-linéaire

Dans le logiciel **Robot**, vous pouvez définir différents types de l'analyse statique non-linéaire de la structure. Le comportement non-linéaire de la structure peut être dû soit à la présence dans la structure d'un élément comportant une non-linéarité (géométrique ou due au matériau) soit à un rapport non-linéaire entre les charges et la déformation pour la structure entière (non-linéarité géométrique).

Dans le logiciel, il existe trois types de non-linéarité :

- non-linéarité due à la forme de la structure,
- non-linéarité géométrique,
- non-linéarité du matériau.

La non-linéarité est due à la forme de la structure quand les éléments à caractéristiques spécifiques sont utilisés dans la structure, à savoir les éléments de câble ou les éléments ne travaillant qu'en traction ou qu'en compression.

Si dans la structure, les éléments de câble n'ont pas été définis, le système d'équations non-linéaire a certaines caractéristiques linéaires (la multiplication des charges par le facteur donné entraîne la même augmentation des résultats du problème – les résultats sont multipliés par le même facteur), cependant les autres propriétés des systèmes linéaires ne peuvent pas être utilisées.

On part du principe que, pour les problèmes non-linéaires, le système d'équations d'équilibre prend la forme $(\mathbf{K}_0 + \mathbf{K}_\sigma + \mathbf{K}_{NL}) \mathbf{Q} = \mathbf{F}(t) - \mathbf{f}(t, \mathbf{Q})$ comme pour les problèmes linéaires. Pourtant, ce n'est qu'un principe a priori qui doit être vérifié a posteriori c'est à dire après la résolution du système d'équations. Par conséquent, il est nécessaire d'utiliser la procédure itérative pour résoudre le problème.

La non-linéarité due à la forme de la structure est sélectionnée automatiquement dans le logiciel quand des éléments provoquant les non-linéarités de ce type ont été définis dans la structure (conf. les types d'éléments mentionnés ci-dessus).

La non-linéarité géométrique est due à la prise de la théorie non-linéaire utilisée lors de la création du système d'équations d'équilibre, de même elle est due au mode de solutionner le problème (prise en compte des effets du deuxième ordre). Dans le logiciel, la non-linéarité géométrique peut être due à deux types d'effets : modification de la rigidité de l'élément sous l'influence de l'état des contraintes dans l'élément et effet P-Delta (la description de cette option se trouve dans les annexes). Les deux effets peuvent être considérés séparément car ils sont appelés à l'aide d'options différentes. Pour chaque analyse non-linéaire, les charges peuvent être appliquées en plusieurs étapes.

La non-linéarité du matériau est due aux caractéristiques non-linéaires du matériau (relation non-linéaire entre les contraintes et les déformations : elle peut prendre en compte les matériaux élasto-plastiques, plastiques ou d'autres matériaux non-linéaires). Actuellement dans le système **Robot**, vous pouvez obtenir la pseudo non-linéarité en utilisant les éléments de type câble dont la caractéristique contrainte - déformation est non-linéaire.

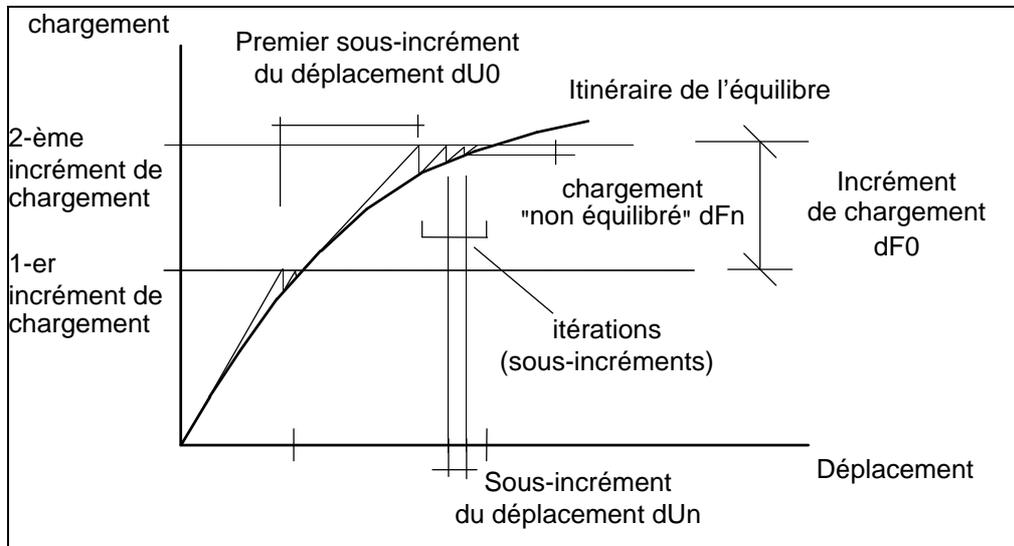
Tous les algorithmes utilisés pour la résolution des équations non-linéaires admettent que les rotations sont faibles pour qu'il soit possible de remplacer les tangents et les cosinus des angles par les valeurs des angles.

Description des algorithmes utilisés dans l'analyse non-linéaire

Dans **Robot**, il existe deux méthodes de résolution du système d'équations non-linéaires : méthode d'itération directe et méthode incrémentale. Dans la méthode d'itération directe, le vecteur entier du côté droit du système d'équations (vecteur du chargement) n'est appliqué qu'une fois car on part du principe que le chargement entier est appliqué à la structure dans un seul pas.

Dans la méthode incrémentale, le vecteur du côté droit du système d'équations (vecteur de chargement) est divisé en n parties égales dites incréments. Un incrément de charge successif est appliqué à la structure au moment où l'état d'équilibre a été atteint pour l'incrément précédent. La norme pour les forces non équilibrées est donnée pour chaque pas, ce qui permet de suivre le comportement de la relation force-déplacement pour la structure.

L'exemple du déroulement du procès non-linéaire dans la méthode incrémentale est représenté sur la figure ci-dessous qui illustre les grandeurs utilisées lors des calculs non-linéaires.

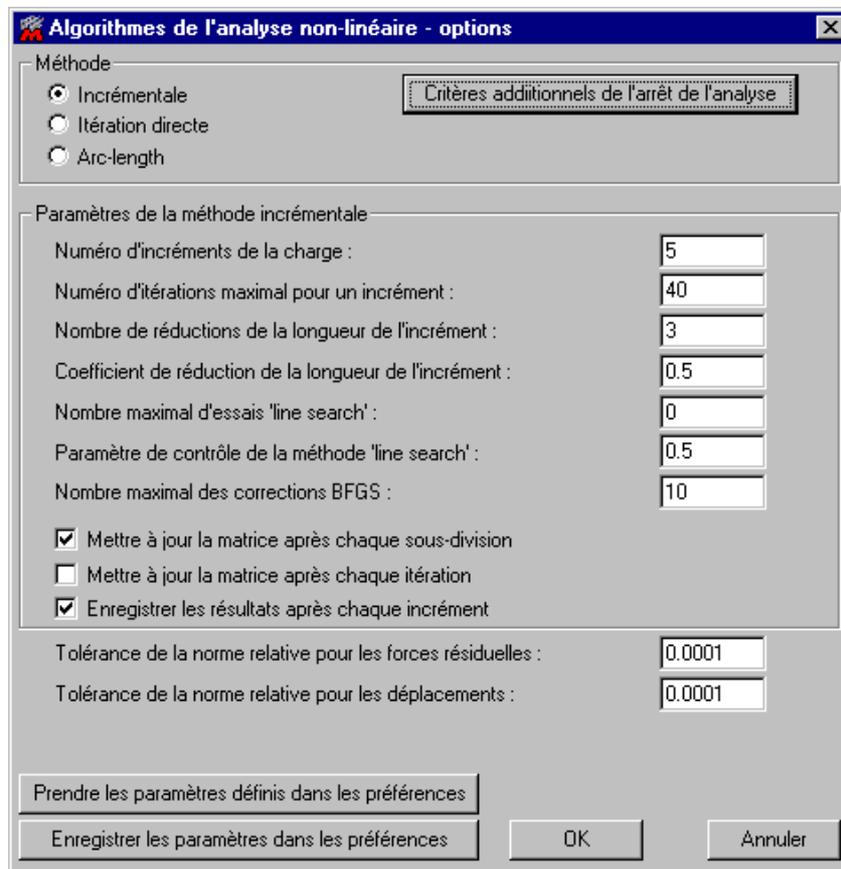


Définition d'un cas de l'analyse non-linéaire

L'analyse non-linéaire de la structure peut être définie pour chaque cas de charge statique dans la boîte de dialogue **Options de calculs**. Cette boîte de dialogue s'affiche après un clic sur la commande *Types d'analyse*, dans le menu *Analyse*. Afin de définir le cas de charge non-linéaire, dans la boîte de dialogue **Options de calcul**, sélectionnez le cas de charge (il sera mis en surbrillance) pour lequel vous voulez changer le type d'analyse et, ensuite cliquez sur le bouton **Définir paramètres**. Dans la boîte de dialogue **Paramètres de l'analyse non-linéaire** (voir la figure ci-dessous), vous devez sélectionner, pour le cas de charge donné, l'option *Analyse non-linéaire* ou *Analyse P-Delta* et valider les modifications effectuées.



Après un clic sur le bouton **Paramètres**, le logiciel ouvre la boîte de dialogue présentée sur la figure ci-dessous. Dans cette boîte de dialogue, vous pouvez définir les paramètres de l'analyse non-linéaire ce qui permet de contrôler le processus d'itération.



Pour sélectionner un des trois algorithmes de résolution du problème non-linéaire disponibles dans le logiciel, il faut définir les paramètres suivants pour l'analyse non-linéaire :

pour la méthode des **contraintes initiales** :

- Mise à jour K après chaque sous-division - DESACTIVE
- Mise à jour K après chaque itération - DESACTIVE

pour la méthode de **Newton-Raphson** modifiée

- Mise à jour K après chaque sous-division - DESACTIVE
- Mise à jour K après chaque itération - ACTIVE

pour la méthode de **Newton-Raphson** complète

- Mise à jour K après chaque sous-division - ACTIVE
- Mise à jour K après chaque itération - ACTIVE.

De plus, vous pouvez utiliser la méthode de modification BFGS (Broyden-Fletcher-Goldforb-Shanno). L'algorithme de la méthode BFGS modifie la matrice de rigidité lors des calculs. L'utilisation de l'algorithme « line search » peut améliorer la convergence de la méthode pour certains cas.

De façon générale, on peut affirmer que la solution du problème est la plus rapide si l'on utilise la méthode des CONTRAINTES INITIALES, les calculs sont les plus longs pour la méthode COMPLETE de NEWTON-RAPHSON. Cependant, la probabilité d'obtenir la

convergence est la plus grande pour la méthode COMPLETE de NEWTON-RAPHSON et la plus faible pour la méthode des CONTRAINTES INITIALES.

Le logiciel vérifie la convergence du calcul de façon automatique. L'itération est interrompue au moment où l'état d'équilibre est atteint. Les incréments des déplacements dUn et les forces non équilibrées dFn sont alors nulles (c'est-à-dire qu'ils sont inférieurs aux tolérances définies pour les deux grandeurs). De même, l'itération est interrompue quand la procédure ne converge pas. L'absence de la convergence du problème peut être interprétée comme un effet numérique dû à la surcharge de la structure. De même, l'absence de la convergence peut être due à l'instabilité du procès numérique (par exemple dans le cas où la charge appliquée serait divisée en un nombre d'incrémentes peu important). Dans un tel cas, le nombre d'incrémentes de chargement peut être agrandi dans le logiciel, normalement cela aide à obtenir la convergence de la méthode.

Les paramètres ci-dessous influent sur le déroulement des calculs non-linéaires, ils sont disponibles après un clic sur le bouton **Paramètres** :

- nombre d'incrémentes de la charge est utilisé lors de la division de la charge en sous-divisions.
Pour les structures complexes, pour lesquelles l'influence des effets non-linéaires est importante, les calculs peuvent ne pas converger si l'analyse est effectuée pour la valeur de la charge appliquée en un pas. Le nombre d'incrémentes de la charge influe sur le nombre d'essais de calcul ; plus le nombre d'incrémentes est important, plus grande est la probabilité de la convergence des calculs,
- le nombre d'itérations maximal pour un incrément de la charge est utilisé pour contrôler la procédure de calculs pendant un incrément de la charge,
- le nombre admissible de réductions (modifications) de la longueur du pas définit le nombre maximal de modification automatique des incréments de la charge dans le cas où les calculs ne convergeraient pas - voir aussi la description du coefficient de réduction de la longueur du pas,
- coefficient de réduction de la longueur de pas est utilisé pour modifier le nombre d'incrémentes de la charge.
C'est une option conditionnelle, utilisée seulement dans le cas où les calculs ne convergeraient pas pour les paramètres actuels. Si le problème ne converge pas, le logiciel réduit automatiquement la valeur de l'incrément de la charge (en fonction de la valeur du coefficient donné) et poursuit les calculs. Cette procédure est répétée jusqu'au moment de l'obtention de la convergence des résultats ou jusqu'au moment où le nombre admissible de réductions de la longueur du pas aura été atteint dans la procédure itérative.

Si vous sélectionnez la méthode **Arc-length**, après un clic sur le bouton **Paramètres** dans la boîte de dialogue, les paramètres suivants sont disponibles :

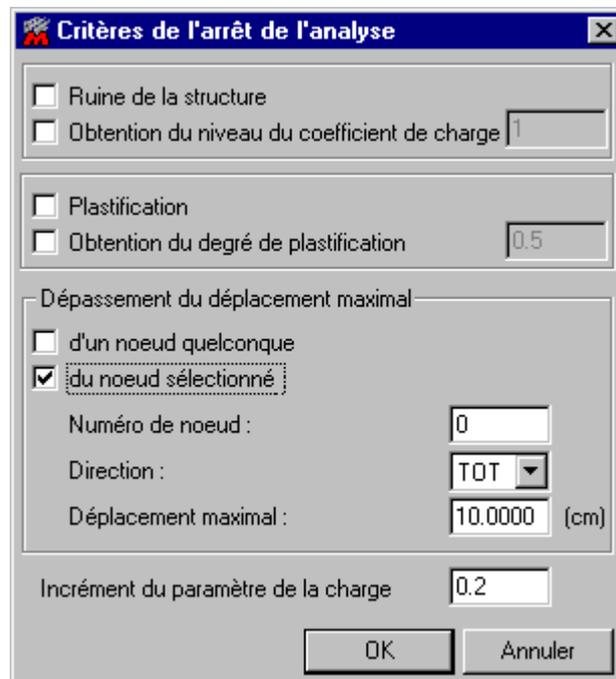
- numéro d'incrémentes de la charge
- nombre d'itérations maximal pour un incrément

- coefficient multiplicateur de la charge λ_{max} - valeur maximale du paramètre de la charge
- numéro du nœud piloté en déplacement, direction de déplacement piloté - les champs dans lesquels vous devez saisir respectivement : numéro du nœud situé sur la toiture de la structure et direction du déplacement
- déplacement maxi autorisé pour le nœud piloté en déplacement D_{max} - valeur maximale du déplacement dans le nœud sélectionné.

La méthode Arc-length est utilisée lors de l'analyse pushover non-linéaire; elle est conseillée quand le modèle de la structure contient les attributs non-linéaires.

La méthode arc-length (gestion du déplacement) doit être utilisée quand les algorithmes incrémentales de résolution des équations par la gestion des forces ne sont pas convergents.

La boîte de dialogue *Algorithmes de l'analyse non-linéaires - options* contient aussi le bouton **Critères additionnels de l'arrêt de l'analyse**. Un clic sur ce bouton ouvre la boîte de dialogue *Critères de l'arrêt de l'analyse*.



Dans l'analyse non-linéaire standard, la charge est appliquée à l'aide des incréments $d\lambda = 1.0 / X$, où X – nombre d'incrément de la charge ; de cela, le coefficient de charge maximal possible (λ) que l'on peut obtenir dans le cas de la convergence des calculs, est égal $\lambda_{max}=1.0$. Les critères additionnels de l'arrêt de l'analyse disponibles dans la boîte de dialogue présentée ci-dessus permettent d'effectuer l'analyse non-linéaire avec l'incrément du paramètre de charge défini par l'utilisateur ; le coefficient de charge maximal λ_{max} n'est pas déterminé ou il peut être défini par l'utilisateur.

Dans la boîte de dialogue, les critères de l'arrêt de l'analyse suivants sont disponibles :

- 1A Ruine de la structure
- 1B Obtention du niveau de coefficient de charge

- 2A Plastification
- 2B Obtention du degré de plastification
- 3A Dépassement du déplacement maximal du noeud quelconque
- 3B Dépassement du déplacement maximal du noeud sélectionné.

Vous pouvez définir plus d'un critère de l'arrêt, mais vous ne pouvez sélectionner qu'un seul critère dans un groupe donné, c'est-à-dire, 1, 2 ou 3. Vous pouvez alors sélectionner, par exemple, 1A, 2A, 3B, mais la définition 1A, 1B ou 2A, 2B ou 3A, 3B n'est pas permise.

FLAMBEMENT

L'effet du changement de la rigidité de l'élément sous l'influence de l'état des contraintes dans cet élément peut être aussi pris en compte sous forme de système d'équations linéaires. L'analyse de flambement recherche l'influence de l'incrément de la charge, quand la rigidité de l'élément devient plus faible.

Lors de la solution du problème linéaire aux valeurs propres, on définit le coefficient de charge critique décrivant le niveau de chargement pour lequel la matrice de rigidité devient particulière.

Le vecteur propre définit la forme du flambement relative à la charge critique appliquée (valeur propre).

Lors de l'analyse de flambement, le logiciel solutionne le problème aux valeurs propres pour la structure définie, les résultats de l'analyse de flambement sont les suivants :

- nombre de modes de flambement de la structure exigé par l'utilisateur
- efforts critiques, longueurs de flambement
- valeur globale de la charge critique.

ANALYSE DYNAMIQUE

Dans le logiciel, vous pouvez effectuer différents types de calculs dynamiques de la structure. Pour les analyses dynamiques, on part des mêmes principes que pour les théories statiques, à savoir :

- petites déformations,
- petits déplacements,
- matériau élastique linéaire.

Les masses utilisées dans les calculs dynamiques de la structure peuvent être définies à base des grandeurs suivantes :

- poids propre de la structure,
- poids propre de la structure et des masses ponctuelles ajoutées,

- poids provenant des forces - vous pouvez convertir toutes les forces définies préalablement en masse pouvant être utilisées lors de l'analyse dynamique de la structure. Par exemple, si la structure a été chargée par des forces extérieures (par exemple par le poids propre), les poids calculés à base des ces forces peuvent être pris en compte dans les calculs dynamiques de la structure.

Analyse modale

Lors de l'analyse modale de la structure, on calcule toutes les grandeurs de base décrivant les modes propres de la structure, c'est-à-dire les valeurs propres et les vecteurs propres de la structure, coefficients de participations et les masses participantes.

Le nombre de modes calculés lors de l'analyse modale de la structure peut être défini directement par l'utilisateur ou bien il peut être défini à la suite de la définition du domaine des valeurs de certaines grandeurs décrivant les vibrations propres de la structure.

Si aucune charge extérieure n'a été appliquée, le principe de l'analyse modale suivant lequel $Q(t) = Q \sin(\omega t)$ entraîne les équations linéaires des vibrations propres de la structure $(\mathbf{K}_0 - \omega^2 \mathbf{M}) \mathbf{Q} = \mathbf{0}$.

Analyse harmonique

Si vous voulez effectuer l'analyse harmonique de la structure, vous devez définir la géométrie de la structure et les charges appliquées comme c'est le cas pour l'analyse statique linéaire. Dans l'analyse harmonique, les forces appliquées sont interprétées comme amplitudes des forces d'excitation. Leur fréquence, angle de phase et période sont définis par l'utilisateur.

Si des forces harmoniques sous forme $F(t) = F \sin(\theta t)$ ont été appliquées à la structure, la résolution du système d'équations $(\mathbf{K}_0 - \theta^2 \mathbf{M}) \mathbf{Q} = \mathbf{F}$ effectuée lors de l'analyse harmonique donne l'amplitude des déplacements, efforts internes et réactions.

Analyse spectrale

En addition aux résultats obtenus pour l'analyse modale, après l'analyse spectrale, on obtient les paramètres supplémentaires suivants pour chaque mode propre dynamique :

- coefficients de participation spectrale,
- valeur du spectre de l'excitation d'accélération,
- coefficients modaux,
- déplacements, efforts internes, réactions et combinaisons de vibrations.

Analyse sismique

En addition aux résultats obtenus pour l'analyse modale, après l'analyse sismique, on obtient les paramètres supplémentaires suivants pour chaque mode propre dynamique :

- coefficients de participation sismique,
- valeur du spectre de l'excitation sismique,
- coefficients modaux,
- déplacements, efforts internes, réactions et combinaisons de vibrations.

Analyse temporelle

L'analyse temporelle est une analyse qui permet d'obtenir la réponse de la structure à une excitation imposée dans un intervalle de temps déterminé (contrairement aux autres analyses disponibles dans **Robot** qui donnent le résultats à l'instant 0).

L'analyse temporelle consiste à trouver la solution de l'équation de la variable de temps "t" suivante :

$$\mathbf{M} * \mathbf{a}(t) + \mathbf{C} * \mathbf{v}(t) + \mathbf{K} * \mathbf{d}(t) = \mathbf{F}(t)$$

avec les valeurs initiales connues $\mathbf{d}(0)=\mathbf{d0}$ et $\mathbf{v}(0)=\mathbf{v0}$,
où :

M	- matrice des masses
K	- matrice de rigidité
C = $\alpha * \mathbf{M} + \beta * \mathbf{K}$	- matrice d'amortissement
α	- coefficient multiplicateur donné par l'utilisateur
β	- coefficient multiplicateur donné par l'utilisateur
d	- vecteur déplacements
v	- vecteur vitesse
a	- vecteur accélérations
F	- vecteur charges.

Toutes les expressions contenant le paramètre (t) dépendent du temps.

Pour résoudre l'équation présentée ci-dessus, on utilise la méthode de Newmark ou la méthode de décomposition. La méthode de Newmark fait partie du groupe d'algorithmes qui sont inconditionnellement convergents, si les paramètres de la méthode sont pris d'une façon appropriée. La méthode consistant à déterminer les valeurs de déplacement et de vitesse pour le pas d'intégration suivant consiste à résoudre les équations suivantes :

$$\mathbf{d}(n+1) = \mathbf{d}(n) + Dt * \mathbf{v}(n) + \frac{Dt^2}{2} * [(1-2\bar{\beta}) * \mathbf{a}(n) + 2\bar{\beta} * \mathbf{a}(n+1)]$$

$$\mathbf{v}(n+1) = \mathbf{v}(n) + Dt * [(1-\bar{\gamma}) * \mathbf{a}(n) + \bar{\gamma} * \mathbf{a}(n+1)].$$

Les termes $\bar{\beta}$ et $\bar{\gamma}$ sont des paramètres de contrôle de convergence et de précision de la méthode.

La convergence inconditionnelle est assurée pour $0.5 \leq \bar{\gamma} \leq 2\bar{\beta}$.

L'algorithme utilisé dans le logiciel utilise les paramètres $\bar{\beta}$ et $\bar{\gamma}$ définis par l'utilisateur (dans les préférences ou les paramètres de l'analyse). Les valeurs par défaut sont : $\bar{\beta} = 0.25$ et $\bar{\gamma} = 0.5$.

La méthode de Newmark est conseillée dans le cas des instants courts, quand la structure est sollicitée par les charges concentrées (les charges sont réparties sur des petits carrés). De telles charges entraînent le mouvement qui exigera une quantité importante de formes propres à le décrire. De ce fait, la méthode de Newmark sera plus effective que la méthode de décomposition modale pour ce type de problèmes. La méthode de Newmark utilise les équations d'analyse temporelle de base sans effectuer aucune simplification. La précision de la résolution obtenue dépend de la précision d'intégration numérique de l'analyse temporelle, et pour les paramètres sélectionnés α , β , elle est définie par la valeur de l'intervalle de temps. Cette méthode n'exige pas la résolution du problème propre pour déterminer les valeurs et les vecteurs propres. Pour les longs instants, cette méthode demande trop de temps parce qu'il faut effectuer les calculs pour une grande quantité de pas de temps avec la précision demandée.

La méthode simple pour obtenir la résolution est la méthode de décomposition modale, basée sur la représentation du mouvement de la structure en tant que superposition du mouvement pour les formes non conjuguées. De ce fait, cette méthode demande de déterminer les valeurs et les vecteurs propres. Pour cet effet, il est conseillé d'utiliser la méthode de Lanczos. Il faudrait aussi effectuer la vérification de Sturm. La méthode de décomposition modale utilise les équations réduites non conjuguées.

L'analyse temporelle (sans amortissement) peut être exprimée par la formule suivante :

$$M\ddot{\vec{X}} + K\vec{X} = \vec{P}(t), \quad (1)$$

où :

$$\vec{P}(t) = \sum_{k=1}^{Ng} \vec{P}_k \varphi_k(t)$$

, Ng - nombre de "groupes de charge",

$\varphi_k(t)$ - historique de temps pour le k-ème groupe de charge.

$$\vec{X}(t) = \sum_{i=1}^m q_i(t) \vec{V}_i \quad (2)$$

A la suite de l'insertion de l'équation (2) dans l'équation (1) et après la prise en compte de l'amortissement modal et des conditions d'orthogonalité $(\vec{V}_i, M\vec{V}_j) = \delta_{i,j}$, $(\vec{V}_i, K\vec{V}_j) = \omega_i^2 \delta_{i,j}$ on obtient :

$$\ddot{q}_i + 2\xi_i \omega_i \dot{q}_i + \omega_i^2 q_i = \sum_{k=1}^{Ng} p_k^i(t) , \quad i=1,2,\dots,m$$

où :

$$p_k^i(t) = (\vec{P}_k, \vec{V}_i) \varphi_k(t) , \quad \xi_i - \text{paramètres de l'amortissement modal,}$$

ω_i - fréquence pour le i-ème mode.

Chacune des équations d'analyse temporelle est résolue de façon numérique avec une approximation au deuxième ordre. Le vecteur final de déplacement $\vec{X}(t)$ pour les instants définis $t^* = t_1, t_2, \dots, t_s$ est obtenu après la saisie de $q_i(t^*)$, $i=1,2,\dots,m$ dans les équations (2). Il faut se rendre compte des différences entre les types d'analyse décrits dans ce chapitre, disponibles dans le logiciel. Nous allons donner les différences pertinentes entre les types d'analyses similaires : la différence entre l'analyse des charges roulantes et l'analyse temporelle est due au fait que le premier type ne prend pas en compte les effets dynamiques; par contre la différence entre l'analyse harmonique et l'analyse temporelle est due au fait que le premier type d'analyse montre la réponse de la structure uniquement en forme d'amplitudes et non en fonction du temps.

La spécification ci-dessous présente les possibilités et les limites de l'analyse temporelle :

- Les types de structures et de charges sont les mêmes que pour l'analyse linéaire.
- La fonction de variation des charges peut être définie pour un cas statique quelconque, excepté le cas de charges roulantes (pour modéliser en dynamique l'influence de la charge roulante, il faut définir les positions successives du convoi pour les cas séparés et utiliser les fonctions temporelles avec le déplacement de phase correspondant au mouvement du convoi).
- Les options supplémentaires de modélisation, accessibles dans la statique linéaire (comme relâchements, liaisons élastiques, liaisons rigides, etc.) peuvent être également utilisées dans l'analyse temporelle.
- La méthode permet le travail linéaire de la structure ce qui signifie qu'il n'est pas permis d'utiliser les éléments non linéaires (câbles, éléments en compression/traction seule, appuis et relâchements unilatéraux).
- Les composantes des cas d'analyse temporelle peuvent être utilisées dans les combinaisons après la génération d'un cas supplémentaire contenant les résultats de l'analyse pour la composante donnée.
- L'analyse admet les valeurs initiales nulles, c'est-à-dire qu'il n'est pas possible de définir les déplacements, vitesses ou accélérations excités.
- L'analyse temporelle peut être résolue uniquement à l'aide de la méthode de décomposition modale, de ce fait, il est nécessaire d'effectuer préalablement l'analyse modale
- Afin de définir la variation temporelle des charges issues d'un cas donné, une seule fonction temporelle peut être utilisée; pourtant, il est possible de composer (additionner) les fonctions temporelles.

Afin d'obtenir les résultats satisfaisants pour le cas d'analyse temporelle, vous devez effectuer l'analyse itérative avec les calculs multiples pour les différents paramètres du cas. Cela signifie qu'il faut effectuer de nouveau l'analyse modale ce qui est inutile. Pour les grandes structures, l'analyse modale peut prendre du temps, sans prendre en compte le cas d'analyse temporelle. De ce fait, le besoin s'impose de sélectionner les cas pour les calculs ou d'indiquer l'analyse modale en tant que calculée. Cela peut être aussi utile pour les analyses sismiques.

L'analyse temporelle non-linéaire permet d'obtenir la réponse de la structure dans laquelle vous avez défini des éléments non-linéaires quelconques. L'analyse temporelle consiste à résoudre l'équation de la fonction du temps "t" :

$$\mathbf{M} * \mathbf{a}(t) + \mathbf{C} * \mathbf{v}(t) + \mathbf{N}(\mathbf{d}(t)) = \mathbf{F}(t)$$

les valeurs initiales $\mathbf{d}(0)=\mathbf{d}_0$ i $\mathbf{v}(0)=\mathbf{v}_0$ étant connues

où :

M - matrice de masses
K - matrice de rigidité

C = a * **M** + b * **K** - matrice d'amortissement
N - vecteur d'efforts internes lié au vecteur de déplacement par la liaison non-linéaire d
a - multiplicateur donné par l'utilisateur
b - multiplicateur donné par l'utilisateur
d - vecteur de déplacements
v - vecteur de vitesse
a - vecteur d'accélération
F - vecteur de charges.

Le vecteur de charge est pris comme $\mathbf{F}^{ext}(t) = \sum_{i=1}^n \mathbf{P}_i \varphi_i(t)$, où n - nombre de composantes des forces, \mathbf{P}_i - i-ème composante de la force, - i-ème fonction dépendant du temps. L'excitation peut être définie comme $\mathbf{F}^{ext}(t) = -\mathbf{M} \mathbf{I}_{dir} \ddot{\varphi}_g(t)$, où \mathbf{I}_{dir} est le vecteur de direction (dir = x, y, z) et $\ddot{\varphi}_g(t)$ est l'accélérogramme..

ATTENTION : La simplification suivante est prise : $C = b M$. Pour la plupart des problèmes, il est possible de prendre la matrice de masses M en tant que diagonale ; cela accélère les calculs de façon importante.

Pour la résolution du problème de l'analyse non-linéaire nous utilisons l'approche predictor-corrector (voir Hughes T.R.J., Belytschko T. *Course notes for nonlinear finite element analysis*. September, 4-8, 1995).

Analyse Pushover

L'analyse pushover est une analyse statique non-linéaire de la structure permettant de présenter de façon simplifiée le comportement de la structure sous l'effet de différents types de charges dues au tremblement de terre.

Dans la présente version du logiciel, les contraintes suivantes ont été introduites :

- toutes les propriétés non-linéaires qui définissent l'endommagement éventuel de la structure sous l'effet des forces dues au tremblement de terre sont données dans les rotules plastiques. Les autres types de non-linéarités (forces longitudinales, analyse P-Delta, barres en traction/compression seule, etc.) peuvent être pris en compte avec les rotules non-linéaires, mais ils n'ont pas de rôle important dans le comportement de la structure lors de l'analyse pushover
- les rotules non-linéaires peuvent être utilisées uniquement dans les structures de type portique (barres) ; elles ne sont pas prises en compte dans les éléments de structure comme : plaques, coques, solides. Ces types de structures utilisent respectivement les éléments finis surfaciques ou volumiques
- les rotules non-linéaires sont traitées en tant que liaisons non-linéaires indépendants pour chaque degré de liberté dans le nœud sélectionné ; l'interaction entre différents degrés de liberté est négligée
- la position de la rotule non-linéaire est définie par l'utilisateur.

L'analyse pushover se compose de quelques étapes présentées ci-dessous :

- définition des rotules plastiques dans le modèle de calcul de la structure
- affectation des propriétés non-linéaires aux rotules (diagrammes force-déplacement ou moment-rotation)
- analyse modale de la structure pour définir un seul mode propre
- définition du jeu de forces transversales (ces forces dépendent du type de matrice de masse utilisée dans l'analyse modale)
- définition du nœud de contrôle et de la direction et valeur du déplacement admissible
- définition des paramètres de l'analyse non-linéaire
- lancement de l'analyse non-linéaire ; le résultat de cette analyse est une courbe d'équilibre $V = V(D)$, où les efforts tranchants sont définis en tant que sommes de réactions pour la direction donnée dues au jeu de forces transversales
- définition de la courbe de résistance $S_a^{cap} = S_a^{cap}(S_d)$, où S_a^{cap} est une accélération spectrale, et S_d est un déplacement spectral

- lissage de la courbe de résistance
- définition (analyse pas-à-pas) du point d'exploitation.

ANALYSE ELASTO-PLASTIQUE DES BARRES

L'analyse élasto-plastique permet de prendre en compte la non-linéarité du matériau. Il faut ajouter que pour la non-linéarité admise du matériau, le changement de la rigidité du matériau due aux facteurs externes, comme température, les problèmes rhéologiques, n'est prise en compte (changement des caractéristiques du matériau dans le temps).

Au-dessous, nous présentons les principes de base de l'analyse élasto-plastique dans le logiciel **Robot** :

- l'option fonctionne autant pour les structures planes (portiques 2D, grillage) que pour les structures spatiales
- uniquement les contraintes normales dues aux forces longitudinales et au moment fléchissant sont prises en compte (les contraintes de cisaillement dues aux forces transversales et au moment de torsion ne sont pas prises en compte)
- analyse élasto-plastique est effectuée sur les barres sélectionnées par l'utilisateur ; on admet que le type d'analyse n'est pas changé globalement pour la structure entière, parce que l'
- analyse de ce type prend beaucoup de temps et, de plus, il est nécessaire de définir les conditions locales pour la barre (division de la barre ou de la section, modèle du matériau)
- l'analyse élasto-plastique est effectuée uniquement pour les barres de la structure.

Dans la présente version du logiciel, pour l'analyse élasto-plastique, les principes de fonctionnement suivants ont été admis :

- analyse au niveau de l'élément : ajout des degrés de liberté globaux
Les barres sont divisées en éléments de calcul plus petits. Les nœuds et éléments supplémentaires sont invisibles pour l'utilisateur. Le mode de division automatique peut être défini à l'aide de l'option *Longueur max de l'élément* disponible dans la boîte de dialogue **Options de calcul** (onglet *Modèle de la structure*). L'utilisateur peut également définir la valeur du paramètre de division à l'aide de l'option *Division des éléments dans l'analyse élasto-plastique* disponible dans la boîte de dialogue **Préférences de l'affaire** (options de l'analyse non-linéaire).

Pour chaque élément, les calculs de l'état des contraintes sont effectués dans trois points (pour cela, le logiciel utilise la quadrature de Gauss de troisième degré).

- analyse au niveau de la section : utilisation des couches, le matériau uniforme pour toute la section
La section est divisée en couches (fibres) : dans la section à flexion composée, nous allons parler des zones. Dans chaque zone, le logiciel vérifie l'état des contraintes suivant le

modèle défini. Les forces dans l'axe de la barre sont les résultats de l'opération d'intégration des forces dans toutes les zones de la section.

Dans chaque zone de la division de la section, il faut définir les paramètres suivants : coordonnées (y_i, z_i) du centre de gravité de la zone dans le repère central de la section, aire de la section, matériau M_i affecté à la zone, où i est le numéro de la zone ($i=1, \dots, N$). L'analyse est effectuée de la façon suivante : dans chaque incrément de la charge, le logiciel calcule les incréments des déplacements dans les points de division de la barre. Ensuite, à partir des déplacements, le logiciel calcule les déformations dans les points de la section. A la base de la fonction définissant le modèle du matériau, le logiciel calcule pour la zone donnée, les contraintes dans chaque point en fonction des déformations actuelles. Ensuite, à partir des déformations, le logiciel détermine les efforts internes. A la fin, le logiciel effectue la sommation (intégration) des efforts internes dans tous les points (zones) de façon à obtenir les forces sectionnelles dans la barre.

- modèle du matériau : élasto-plastique parfait ou élasto-plastique par écrouissage : le comportement du matériau élastique et linéaire dans le domaine plastique linéaire par écrouissage ; le modèle est généré à la base des données pour le matériau : module d'Young (E) et limite de plasticité (R_e).

Vous devez également définir le mode de déchargement. Il définit le comportement du matériau après le dépassement du point de plasticité lors du déchargement, quand les déformations diminuent (gradient de déformations négatif). Quatre types de comportement du matériau sont disponibles (voir la figure ci-dessous) : élastique, plastique, endommagement et mixte.

Les résultats de l'analyse élasto-plastique des barres :

Flèches

Lors de l'analyse élasto-plastique, les flèches sont calculées directement à l'intérieur de la barre. Vous pouvez obtenir les valeurs des déplacements et les rotations des nœuds dans la division intérieure de la barre. Afin d'obtenir les flèches dans un point quelconque de la barre, l'interpolation linéaire entre les points de la division interne a été introduite.

Efforts internes

Les efforts internes dans la barre sont calculés de la même façon que pour l'analyse linéaire. Les efforts internes dans un point quelconque de la barre sont calculés à la base des efforts et des moments dans le nœud initial, et des chargements sur la longueur de la barre.

Un autre algorithme est utilisé pour l'analyse P-delta. Les efforts internes dans la barre prennent en compte l'effet de l'excentrement dû à la flexion de la barre. Les flèches de la barre sont obtenues dans les points de division interne de la barre.

Contraintes

Dans l'analyse élasto-plastique, les contraintes normales dans la section ne sont pas réparties de façon linéaire ; elles sont calculées indépendamment dans chaque zone de division.

Certaines zones se trouvent dans le domaine plastique, tandis que les autres restent toujours dans le domaine élastique des contraintes. De ce fait, il n'est pas possible de définir de façon univoque l'état des contraintes sur la longueur de la barre.

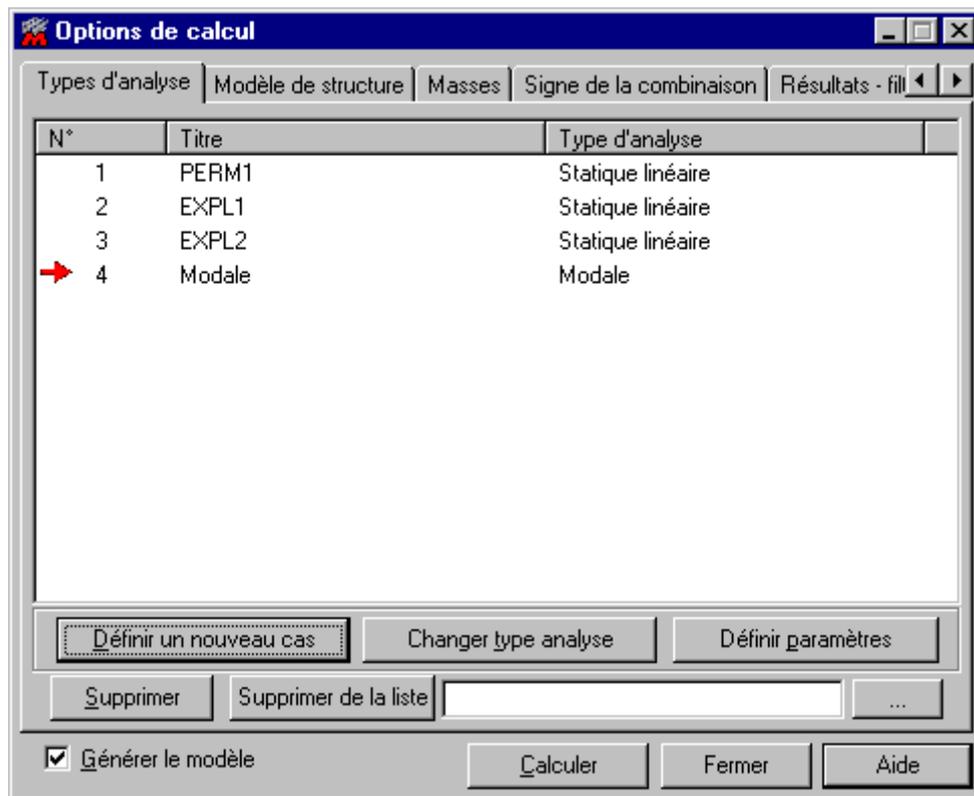
Le tableau contient les valeurs minimales et maximales des contraintes dans la section. Pour les sections à caractéristique élasto-plastique, les contraintes dues à la flexion et à l'effort axial ne sont pas disponibles séparément.



Dans le module *Analyse des contrantes*, l'analyse détaillée des contraintes dans la section des barres élasto-plastiques n'est pas possible.

4.3. Définition d'un nouveau cas ou modification du type d'analyse

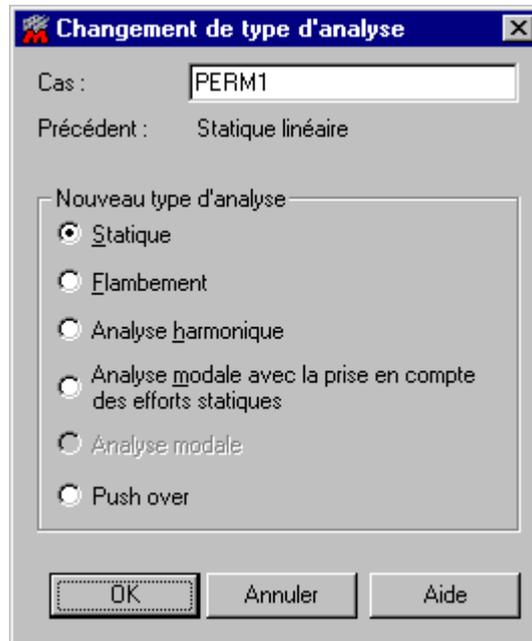
Après la sélection de la commande *Analyse/Types d'analyse*, le logiciel affiche la boîte de dialogue représentée sur la figure ci-dessous. La liste affichée dans l'onglet *Types d'analyse* de cette boîte de dialogue spécifie tous les cas de charges définis pour la structure actuelle.



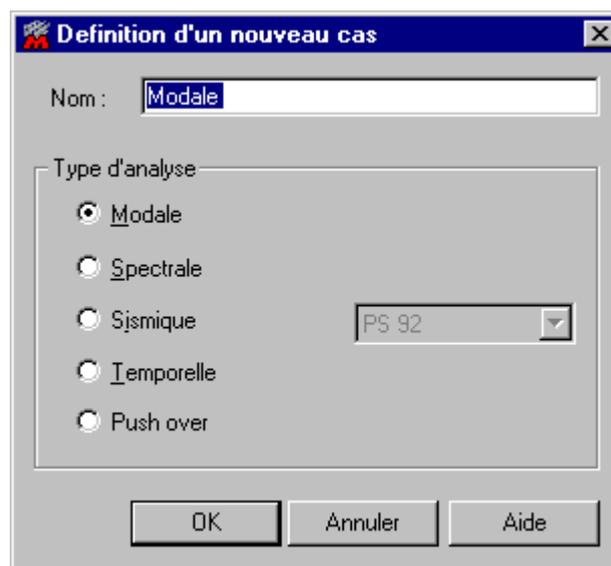
Dans cette boîte de dialogue vous pouvez définir un nouveau cas ou modifier le type d'analyse pour le cas de charge sélectionné.

Afin de modifier le type d'analyse donné, vous devez sélectionner le cas de charge voulu et cliquer sur le bouton **Changer type analyse**, le logiciel affichera alors la boîte de dialogue représentée ci-dessous, dans laquelle vous devez définir le nouveau type d'analyse.

Après la sélection du type d'analyse, une boîte de dialogue auxiliaire sera affichée dans laquelle vous pourrez définir les paramètres du type d'analyse sélectionné. Le nouveau type d'analyse de la structure sera présenté dans la boîte de dialogue **OPTIONS DE CALCUL** dans la colonne *Type d'analyse*.



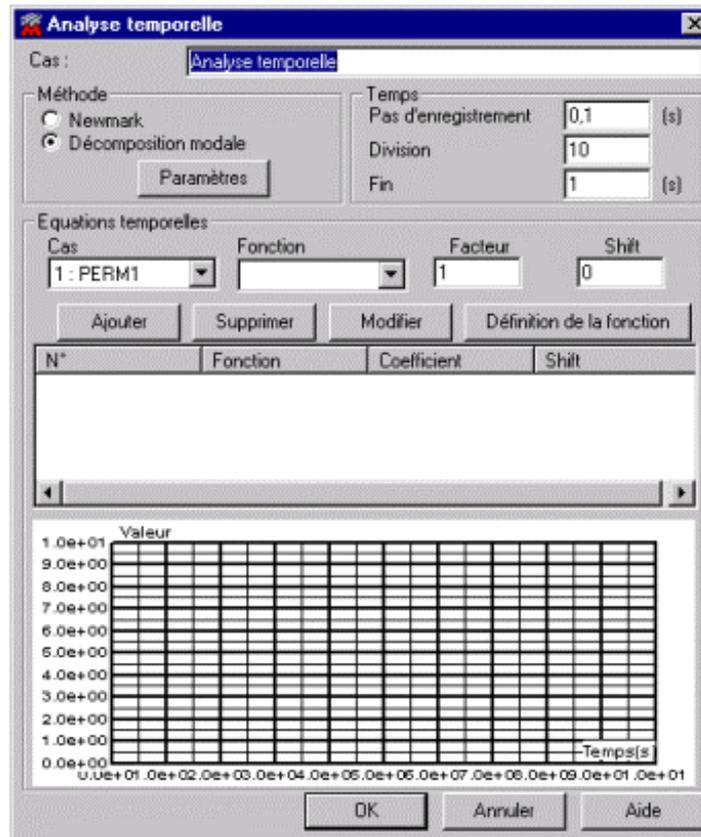
Afin de définir un nouveau cas, dans la fenêtre *Options de calcul* cliquez sur le bouton **Définir un nouveau cas**, le logiciel affichera la boîte de dialogue représentée sur la figure ci-après ; dans cette boîte de dialogue vous devez définir le nouveau type d'analyse. Après la sélection du type d'analyse, une boîte de dialogue auxiliaire sera affichée dans laquelle vous pourrez définir les paramètres du type d'analyse sélectionné. Le nouveau type d'analyse de la structure sera présenté dans la boîte de dialogue *Options de calcul* dans la colonne *Type d'analyse*.



A titre d'exemple, le mode de définition d'un cas de l'analyse temporelle sera présenté.

Après la définition de l'analyse modale pour la structure et après la sélection de l'option *Analyse temporelle* dans la boîte de dialogue représentée ci-dessus, le logiciel ouvre la boîte

de dialogue *Analyse temporelle* dans laquelle vous pouvez définir les paramètres de l'analyse temporelle.



Dans la boîte de dialogue *Analyse temporelle*, vous trouverez les paramètres suivants :

- la partie supérieure de la boîte de dialogue contient le champ d'édition *Cas* dans lequel vous pouvez saisir le nom du cas
- la zone *Méthode* permet de sélectionner la méthode de résolution de l'analyse temporelle ; par défaut, la méthode de décomposition modale est sélectionnée ; cette zone contient aussi le bouton *Paramètres*, un clic sur ce bouton ouvre la boîte de dialogue de définition des paramètres détaillés de la méthode de résolution;
- champs d'édition compris dans la zone *Temps* :
 - *Pas d'enregistrement* - pas de la variable temporelle pour laquelle l'enregistrement des résultats est effectué,
 - *Division* - nombre de divisions temporelles du pas d'enregistrement, pour lequel la résolution de la méthode est effectuée,
 - *Fin* - valeur finale de la variable temporelle pour laquelle l'analyse est effectuée.
 Si vous avez sélectionné la méthode de Newmark (analyse temporelle linéaire) ou la méthode Predictor-Corrector (analyse temporelle non-linéaire), le champ *Division* est renseigné par le nombre de division du pas de temps (pas d'enregistrement), afin de

pouvoir déterminer le pas d'intégration. Le pas d'intégration est égale à *Pas d'enregistrement / Division*. Dans le cas où la valeur de la division est égale à 1, le pas d'enregistrement est le même que le pas d'intégration.

Si vous avez sélectionné la méthode de la décomposition modale (analyse temporelle linéaire), l'algorithme définit pour chaque mode la valeur maximale du pas d'intégration égal à la valeur de la période divisé par 20 (une telle opération est effectuée pour assurer la stabilité et la précision des résultats). La valeur du pas ainsi obtenue est divisée par la valeur de la division ; la valeur obtenue (p. ex. *step_1*) est comparée au pas d'enregistrement des résultats. Parmi ces deux valeurs, le logiciel prend la valeur inférieure en tant que pas d'intégration (c'est-à-dire *step_1* et pas d'enregistrement). L'attention est attirée sur le fait que si la première valeur doit être utilisée (c'est-à-dire *step_1*) dans les calculs, elle est modifiée de façon à ce que le pas d'enregistrement soit le multiple de cette grandeur.

- liste déroulante des cas statiques simples accessibles et des masses dans les directions X, Y ou Z
- liste déroulante des fonctions du temps définies et l'aperçu du diagramme de la fonction sélectionnée
- champ d'édition *Facteur*
- champ *Shift*
- bouton *Définition de la fonction*

La définition de la fonction du temps peut être effectuée de deux manières :

- par la saisie de la valeur du point temporel T [s] et de la valeur sans dimension de la fonction F(T) dans les champs d'édition correspondants, en appuyant chaque fois le bouton **Ajouter**; les points successifs de la fonction sont insérés sur la liste et définissent l'évolution de la fonction
- par un clic sur le bouton *Ajouter expression* ; un clic sur ce bouton ouvre la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir l'évolution de la fonction à l'aide des expressions mathématiques (addition, soustraction, multiplication, division, fonctions trigonométriques, élévation à la puissance, racine carrée).
- tableau contenant les colonnes suivantes : cas - fonction - coefficient - shift, où :
 - *Cas* définit le numéro du cas sélectionné ou la direction des masses,
 - *Fonction* désigne le nom de la fonction de temps sélectionnée pour un cas donné,
 - *Coefficient* - coefficient multiplicateur de la valeur de fonction de temps pour un cas donné, la valeur par défaut du coefficient égale à 1.0,

- *Shift* - déphasage de la fonction de temps pour un cas donné, la valeur par défaut égale à 0.0.

La boîte de dialogue *Options de calcul* contient cinq autres onglets ;

- Modèle de structure
- Masses
- Signe de la combinaison
- Résultats - filtres
- Déformation de flambement.

Dans l'onglet *Modèle de structure*, la zone *Génération des nœuds* regroupe trois options :

- Générer les nœuds dans les points d'intersection des barres obliques
- Générer les nœuds dans les points d'intersection des barres verticales/horizontales
- Générer les nœuds dans les points d'intersection des barres avec éléments finis

De plus, cette zone contient deux options :

- liste de barres qui ne seront pas prises en compte lors de la génération des nœuds dans les points d'intersection.
- liste d'objets qui ne seront pas pris en compte lors de la génération du modèle de structure.

Dans la zone Définition du cas de montage pour les structures câblées, une liste déroulante est accessible, dans cette liste vous pouvez sélectionner le cas de montage pour la structure définie contenant des éléments de câble (cf. le chapitre 3.10 du présent manuel).

Dans la zone *Tolérance pour la génération du modèle de la structure*, vous pouvez définir le paramètre déterminant la tolérance de la définition de la structure. Après un clic sur le bouton **Calculer la tolérance**, le logiciel calcule la précision de la définition de la structure (par défaut, la valeur de 1 mm est prise, si la valeur calculée est inférieure à 1mm, la valeur calculée est affichée). Par défaut le logiciel prend la valeur de la tolérance égale à 1mm, mais vous pouvez définir une nouvelle valeur de la tolérance utilisateur.

Un clic sur le bouton **Génération du modèle de calcul** entraîne la génération du modèle de la structure. Le logiciel générera les éléments finis linéiques ou surfaciques de même que les intersections des barres et celles des barres et des éléments finis surfaciques conformément aux options définies dans cette boîte de dialogue.

Les options disponibles dans le troisième onglet de la boîte de dialogue *Options de calcul* servent à effectuer la conversion de cas de charge statiques en masses utilisées lors des calculs en dynamique.



Cette option vous permet d'effectuer une conversion des charges en masse pour éviter la définition séparée des charges (pour les calculs en statique) et des masses (pour les calculs en dynamique), il n'est plus nécessaire d'effectuer cette double définition.

A base des charges statiques définies, vous pouvez générer les masses utilisées lors des calculs en dynamique.

Pour convertir les charges statiques en masse, vous devez effectuer les opérations suivantes :

- sélectionnez les cas de charge pour lesquels la conversion des charges en masse sera effectuée (vous devez saisir les numéros des cas de charge, la direction de la conversion et le coefficient multiplicateur de la valeur de la charge statique)
- définissez l'ensemble des directions du repère global (X, Y et Z) sur lesquelles les masses seront actives
- sélectionnez le cas dynamique qui utilisera les masses générées à base des charges statiques ; après la sélection de l'option **Masse globale** dans la liste **Ajouter la masse à**, les masses obtenues à la suite de la conversion seront prises en compte dans tous les cas de l'analyse en dynamique de la structure.

- cliquez sur le bouton **Ajouter**.

A droite du bouton **Ajouter**, deux autres boutons sont disponibles :

- **Supprimer** - supprime le cas de charge sélectionné dans la liste des cas de charge à convertir en masse
- **Modifier** - modifie les paramètres du cas de charge sélectionné dans la liste des cas de charge à convertir en masse.

Lors de la conversion des charges en masse, le type de charge est conservé. Autrement dit, les charges ponctuelles sont converties de façon automatique en masses ponctuelles, les charges réparties sont converties en masses réparties, les moments sont repartis en masses rotatives. Les masses converties peuvent être consultées dans le tableau des masses qui est lancée par un clic sur l'option du menu : *Chargements /Tableau - masses*. Les valeurs des masses sont présentées dans le tableau en tant que valeurs des poids (on utilise l'accélération de la pesanteur). A la différence des masses définies par l'utilisateur, les masses générées par le processus de conversion sont marquées dans le tableau par le symbole **CNV** dans le champ *MEMO*. Le symbole informe également sur la provenance de la masse pour la procédure de conversion.

ATTENTION : Dans les cas des structures de type coque, la conversion des charges par pression hydrostatique en masses n'est pas possible.

Les options disponibles dans le quatrième onglet de la boîte de dialogue **Options de calcul** servent à définir le signe de la combinaison générée pour les cas sismiques ou spectraux. Dans cet onglet, on définit le cas d'analyse sismique ou spectrale et le mode dominant (numéro du mode dominant dans la définition du signe de la combinaison).

Si vous ne sélectionnez pas de mode dominant (c'est-à-dire que le numéro « 0 » est affiché), le logiciel prendra le signe de la combinaison tel qu'il a été calculé suivant la formule de combinaison CQC ou SRSS.

Dans la partie inférieure de la boîte de dialogue, vous pouvez sélectionner le type par défaut pour le calcul de la combinaison sismique :

- CQC - Complete Quadratic Combination
- SRSS - Square Root of Sums of Squares
- 10% double sum
- 2SM - double sum.

L'onglet *Résultats – filtres* est le cinquième onglet dans la boîte de dialogue **Options de calcul**. Les options disponibles dans la boîte de dialogue présentée ci-dessous servent à

effectuer la sélection globale des résultats obtenus pour les nœuds, barres, etc. définis dans la structure :

Dans cette boîte de dialogue, vous trouverez les champs d'édition suivants :

- *liste de cas*
- *liste de nœuds*
- *liste de barres*
- *liste de panneaux/objets*
- *liste d'éléments finis*

Dans ces champs d'édition vous pouvez saisir les numéros de cas, nœuds, barres, panneaux/objets ou éléments finis de la structure pour lesquels les résultats des calculs de la structure seront présentés ; autrement dit, dans le tableau de résultats seulement les lignes du tableau qui correspondent aux numéros des éléments saisis seront présentées, par contre les résultats pour les autres éléments (non saisis) ne seront pas présentés dans le tableau

A la fin de chaque champ d'édition, le bouton (...) est disponible. Un clic sur ce bouton ouvre la boîte de dialogue **Sélection** dans laquelle vous pouvez choisir les nœuds, les barres, etc. pour lesquels seront présentés les résultats de calculs.

ATTENTION : Si les champs d'édition affichés dans cet onglet sont vides, cela signifie que les calculs seront effectués pour tous les cas de charges, nœuds, barres, panneaux, objets et éléments finis qui ont été définis dans la structure.

Les options disponibles sur l'onglet *Déformation de flambement* servent à générer le modèle de la structure qui prend en compte les déformations dues au mode de flambement sélectionné ou à la combinaison linéaire des modes (les déformations ne produisent pas des forces ou des contraintes initiales dans la structure ; la prise en compte de la déformation ne provoque que le changement de la géométrie de la structure).

Afin de pouvoir utiliser cette option, il faut créer un cas de l'analyse de flambement et effectuer les calculs de la structure. La modification de la géométrie de la structure entraîne la suppression de la structure déformée ; il est nécessaire de recalculer la structure (les calculs doivent être effectués autant pour la structure initiale - calculs de nouveaux modes de flambement, que pour la structure déformée). Tous les résultats sont affichés sur la structure déformée et les déplacements des nœuds sont donnés par rapport à la géométrie initiale définie par l'utilisateur.

L'option *Prendre en compte le mode de flambement en tant que déformation initiale* permet d'activer/désactiver la prise en compte des déformations pour la structure (par défaut, l'option est désactivée) ; si l'option est désactivée, aucune option dans la boîte de dialogue n'est disponible. Si cette option est activée, les options dans la boîte de dialogue sont disponibles et vous pouvez définir les paramètres de la déformation. Un clic sur le bouton **Appliquer** valide les options sélectionnées (active ou désactive les déformations). Par contre, si vous cliquez sur le bouton **Fermer**, la boîte de dialogue est fermée sans enregistrement des modifications.

La zone *Paramètres* contient la liste de sélection *Cas* dans laquelle vous pouvez sélectionner les cas de flambement définis pour la structure. Les déformations de flambement sont définies à partir des cas de flambement sélectionnés. Au-dessous, les champs *Mode* et *Coefficient* sont disponibles. Dans ces champs, vous pouvez définir le numéro du mode de flambement et le coefficient avec lequel le mode sera pris en compte dans la combinaison linéaire. Le mode et le coefficient peuvent être également sélectionnés dans la liste de modes et de coefficients : un clic sur la ligne sélectionnée dans la liste saisit le numéro du mode et le coefficient dans les champs *Mode* et *Coefficient*. Vous pouvez ajouter, modifier ou supprimer les modes et coefficients au moyen des boutons suivants :

Ajouter - ajoute un élément à la liste (l'ajout du mode existant remplace les anciennes valeurs)

Supprimer - supprime la ligne sélectionnée de la liste

Modifier - modifie la valeur dans la ligne sélectionnée.

L'ajustement des déformations est possible après la définition de la valeur dans le champ Déplacement maximal ; la valeur permet d'ajuster le mode ou la combinaison des modes sélectionnés.

Si l'option *Négliger le cas pour la structure avec déformation* est désactivée, le cas de flambement donné est calculé pour la structure déformée ; si cette option est active, le cas est négligé lors des calculs.

Afin de définir les déformations de flambement dans la structure, vous devez définir le cas de flambement et effectuer les calculs. Ensuite, en utilisant les options disponibles dans la boîte de dialogue, vous devez définir la déformation initiale due au mode de flambement sélectionné. Après les modifications de la géométrie de la structure, le statut des résultats passe en NON-ACTUELS, et il faut recalculer la structure.

Les calculs pour la structure avec les déformations de flambement définies sont effectués en deux étapes :

- étape 1 - calculs de la structure initiale (sans déformations)
- étape 2 - calculs de la structure déformée.

Les deux étapes sont effectuées automatiquement.

4.4. Bibliographie

- K.J. BATHE, *Finite Element Procedures in Engineering Analysis*, Prentice Hall, New Jersey 1982
- E.L.WILSON, *An eigensolution strategy for large systems*. Computers&Structures, Vol.16, No. 1-4, pp.259-265, 1983
- E.L. WILSON, *A new method of dynamic analysis for linear and nonlinear systems. Finite Elements in Analysis and Design*, 1, 1985, 21-23, North-Holland
- E.L.WILSON, *Three dimensional dynamic analysis of structures*, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA, 1996
- R.W.CLOUGH, J.PENZIEN, *Dynamics of Structures*, McGraw-Hill Book Comp., 1975, 634 p.
- S. YU. FIALKO, *Investigations of the Initial Imperfections Influence to Natural Vibrations of Ribbed Conical Shells*, Soviet Applied Mechanics, 1982, 18, N11, pp.118 - 122. (In Russian)
- S. YU. FIALKO, *Non-steady vibrations of ribbed conical shells under the influence of local loads*, Soviet Applied Mechanics, 1987, v23, N6, p. 547-552
- S. YU. FIALKO, *High-performance aggregation element-by-element iterative solver for large-scale complex shell structure problems*, Archives of Civil Engineering, XLV, 2, 1999, p.193-207
- S. YU. FIALKO, *High-performance aggregation element-by-element Ritz-gradient method for structure dynamic response analysis. CAMES (Computer assisted mechanics - engineering sciences), IV, 2000*
- G. GAMBOLATI, G. PINI, F. SARTORETTO, *An improved iterative optimization technique for the leftmost eigenpairs of large symmetric matrices*, J. Comp. Phys., 74 : 41 - 60, 1988
- G. GAMBOLATI, G. PINI, F. SARTORETTO, *Accelerated simultaneous iterations for large finite element eigenproblems*, J. Comp. Phys., 81 : 53 - 69, 1989
- M. PAPADRAKAKIS, *A partial preconditioned conjugate gradient method for large eigenproblems*, Comp. Meth. Appl. Mech. Eng., 62 : 195 - 207, 1987
- M. PAPADRAKAKIS, *Solving large-scale problems in mechanics*, John Wiley & Sons Ltd, 1993
- S. BITZARAKIS, M. PAPADRAKAKIS, A. KOTSOPULOS, *Parallel solution techniques in computational structural mechanics*, Comp. Methods Appl. Mech. Engrg. 1997, 148 , p.75-104
- T.J.R. HUGHES, M. FERENCZ, *Implicit solution of large-scale contact and impact problems employing an EBE preconditioned iterative solver*, IMPACT 87 Int. Conference on Effects of Fast Transient Loading in the Context of Structural Mechanics, Lausanne, Switzerland, August 26-27, 1987
- T.J.R. HUGHES, M. FERENCZ, J.O.HALLQUIST, *Large-scale vectorized implicit calculations in solid mechanics on a CRAY X-MP/48 utilizing EBE preconditioned conjugate gradients*, Comput. Meths. Appl. Mech. Engrg., 61
- B. N. PARLETT, *The Symmetric Eigenvalue Problem*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632, 1980
- V. E. BULGAKOV, M. E. BELYI, K. M. MATHISEN, *Multilevel aggregation method for solving large-scale generalized eigenvalue problems in structural dynamics*, Int. J. Numer. Methods Eng., 40 : 453 - 471, 1997

V. E. BULGAKOV, *Iterative aggregation technique for large-scale finite element analysis of mechanical systems*, Comput. Struct, 52 : N4, 829-840, 1994

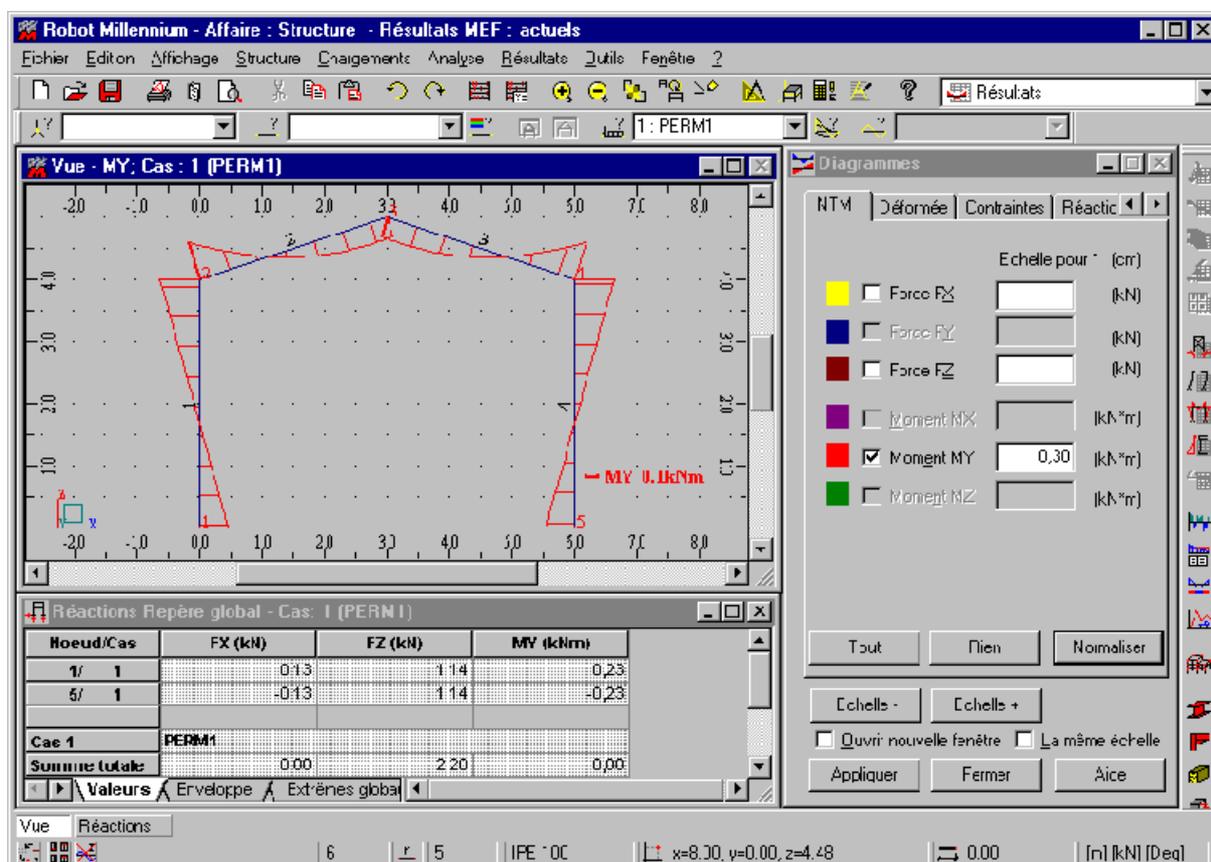
V. E. BULGAKOV, G. KUHN, *High-performance multilevel iterative aggregation solver for large finite-element structural analysis problems*, Int. J. Numer. Methods Eng., 38 : 3529-3544, 1995



5. EXPLOITATION DES RESULTATS

Une fois les calculs de la structure effectués, les résultats peuvent être consultés de deux différentes façons : sous forme graphique (les diagrammes seront présentés pour les barres spécifiques de la structure) ou sous forme de valeurs numériques (les tableaux affichent les composantes spécifiques des déplacements, réactions, efforts internes etc.).

La consultation des résultats est plus facile si vous sélectionnez le bureau **RESULTATS** (groupe **Résultats**). Après la fin des calculs, l'écran de *Robot Millennium* est divisé en trois parties (conf. la figure ci-dessous) : l'éditeur graphique dans lequel est affichée la structure étudiée, la boîte de dialogue *Diagrammes* et le tableau *Réactions*.



Dans le logiciel, l'option qui protège contre la perte des résultats de calcul de la structure (l'état de calcul : *Non actuels*) est disponible. Dans le cas où vous effectuez une opération qui modifie les données sur la structure enregistrées dans le fichier *.RTD, le verrouillage global des résultats a été implémenté. Il peut être effectué de trois manières :



- manuellement par l'utilisateur - dans le menu *Résultats*, l'option *Résultats figés* est disponible; cette option peut être activée/désactivée et de cela, les résultats sont verrouillés ou déverrouillés (ATTENTION : l'option n'est active que si les résultats de calcul de la structure sont Actuels)
- automatiquement suivant la configuration dans le *Préférences de l'affaire* - sur l'onglet Analyse de la structure, l'option *Figé automatiquement les résultats de calcul de la structure* est disponible ; si l'option est cochée, après chaque calcul de la structure (dans le cas où l'état des résultats de calcul change en *Actuels*), les résultats de calcul de la structure sont automatiquement figés ; l'option est activée par défaut
- semi-automatiquement en réponse à l'opération effectuée par l'utilisateur - concerne uniquement l'opération de libérer les résultats de calcul ; si les résultats de calcul sont figés et l'utilisateur effectue une opération quelconque à la suite de laquelle les données sur la structure sont modifiées, le logiciel affiche le message qui avertit l'utilisateur que les résultats actuels de calcul peuvent être perdus ; si vous acceptez, les données sur la structure sont changées et les résultats de calcul libérés (si vous n'acceptez pas, aucune modification dans la structure n'est effectuée et l'état des résultats ne change pas).

Il faut souligner que si vous effectuez une opération **quelconque** qui peut modifier les données sur la structure, le logiciel affichera le message d'avertissement (si les résultats sont figés). Cela veut dire que si vous définissez la combinaison manuelle (opération après les calculs est correcte), le logiciel affiche quand même le message d'avertissement . L'utilisateur peut, bien sûr, accepter l'avertissement et définir la combinaison et, ensuite, figer manuellement les résultats de calcul.

5.1. Analyse graphique des résultats

Cette boîte de dialogue permet d'afficher les déformées de la structure et les diagrammes d'efforts internes sur les éléments de la structure.

La commande est accessible par le menu déroulant *Résultats*, commande *Diagrammes...* ou après la sélection du bureau prédéfini **RESULTATS**.

La boîte de dialogue qui s'affiche alors comprend six onglets :

- *NTM*
- *Déformée*
- *Contraintes*
- *Réactions*
- *Ferraillage*
- *Paramètres*

La partie inférieure de la boîte de dialogue affiche les options suivantes :

Echelle + - après un clic sur ce bouton, le nombre d'unités pour 1cm de diagramme est réduit pour la grandeur sélectionnée

Echelle - - après un clic sur ce bouton, le nombre d'unités pour 1cm de diagramme est augmenté pour la grandeur sélectionnée

Ouvrir nouvelle fenêtre affiche les diagrammes des grandeurs sélectionnées dans une nouvelle fenêtre

La même échelle – si cette option est activée, la même échelle sera sélectionnée pour tous les diagrammes affichés (cette option est commode si vous comparez les résultats obtenus pour les différents cas de charge etc.).

Par exemple , après la sélection de l'onglet NTM, le logiciel affiche la boîte de dialogue suivante :



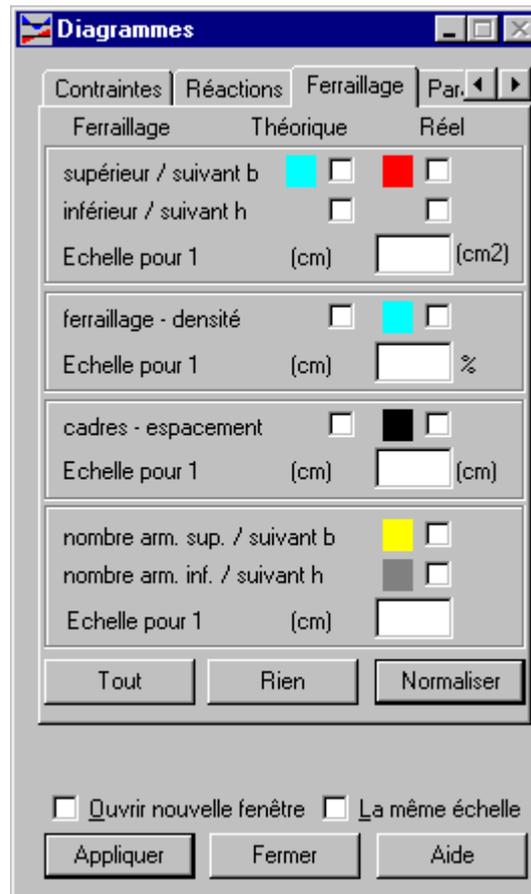
Dans cet onglet vous pouvez sélectionner les efforts internes calculés dont les diagrammes seront affichés. Un clic sur le bouton *Appliquer* affiche dans la fenêtre de l'éditeur graphique les diagrammes des résultats sélectionnés.

Après la sélection de l'onglet *Déformée*, vous pouvez sélectionner les déplacements calculés lors de l'analyse statique de la structure et les déformées modales obtenues pour les cas dynamiques de l'analyse de la structure.

Dans cet onglet, vous pouvez aussi retrouver les options permettant d'obtenir l'animation des diagrammes, de la déformée de la structure affichée à l'écran. Afin de lancer l'animation, vous devez définir deux paramètres, à savoir le nombre d'images à créer et le nombre d'images par seconde. Après un clic sur le bouton **Démarrer**, le logiciel prépare l'animation de la grandeur sélectionnée suivant les paramètres donnés et lance l'animation générée. Lors de la présentation de l'animation, le logiciel affiche une barre d'outils permettant d'arrêter et de recommencer la lecture de l'animation ou bien de la rembobiner ou faire avancer rapidement. Vous pouvez aussi enregistrer l'animation générée dans un fichier *.AVI. De plus, vous pouvez ouvrir un fichier *.AVI. dans lequel une animation de la déformée a été enregistrée préalablement.

Après la sélection de l'onglet *Contraintes*, vous pouvez sélectionner les composantes des contraintes obtenues lors de l'analyse statique de la structure.

Après la sélection de l'onglet *Ferrailage*, la boîte de dialogue *Diagrammes* prend la forme représentée ci-dessous :



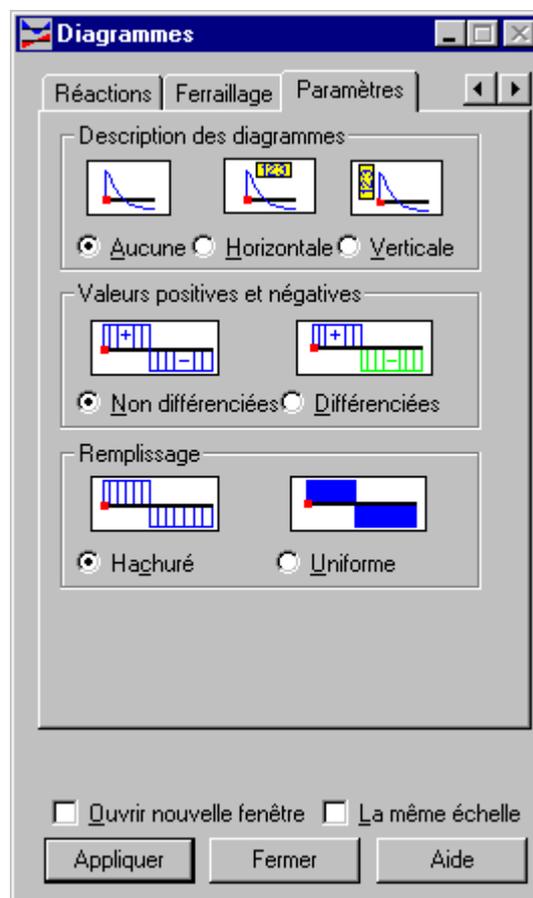
Dans cet onglet vous pouvez sélectionner les grandeurs dont les diagrammes seront affichés pour les barres composant la structure :

- première zone à partir du haut :
 - ferrailage théorique - ferrailage supérieur (le long du côté à longueur b), ferrailage inférieur (le long du côté à longueur h)
 - ferrailage réel - ferrailage supérieur (le long du côté à longueur b), ferrailage inférieur (le long du côté à longueur h)

- deuxième zone à partir du haut :
 - densité du ferrailage théorique et réelle troisième zone à partir du haut
 - espacement des cadres théorique et réel (espacements des armatures transversales)
 - dernière zone à partir du haut :
 - nombre des armatures supérieures (ferrailage supérieur) - le long du côté à longueur b
 - nombre des armatures inférieures (ferrailage inférieur) - le long du côté à longueur h.

Pour chacune des grandeurs ci-dessus vous pouvez définir une couleur et une échelle appropriée.

Après la sélection de l'onglet *Paramètres*, la boîte de dialogue prend l'aspect suivant :



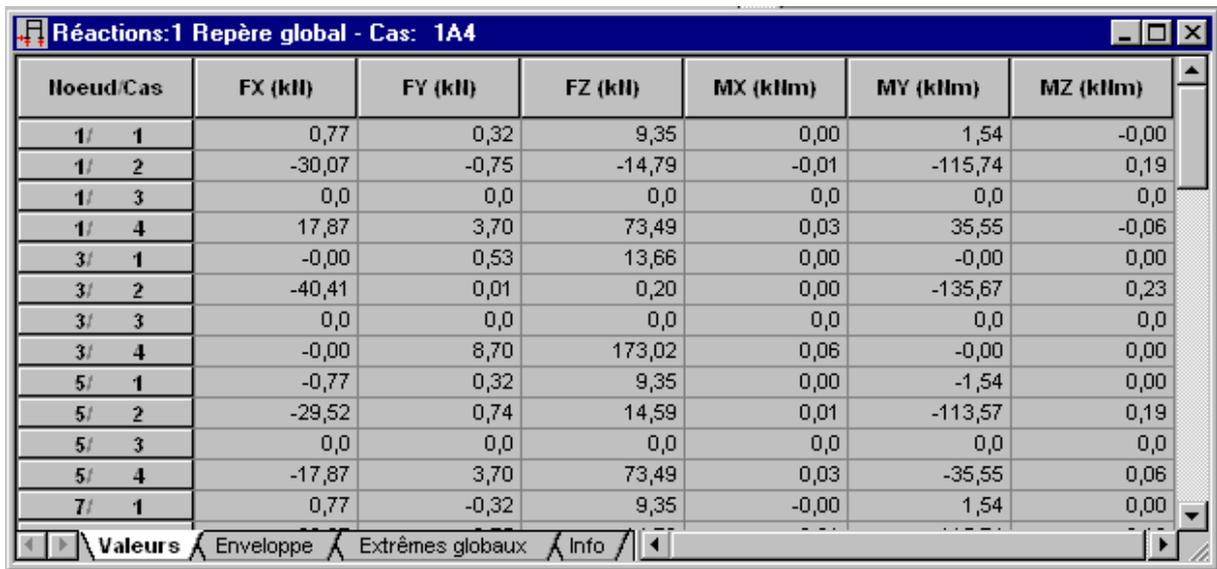
Dans cet onglet, vous pouvez définir le mode de présentation des diagrammes :

- dans la zone **Description des diagrammes**, vous pouvez définir le mode de présentation des descriptions des grandeurs affichées : aucune description, descriptions horizontales, descriptions verticales ;
- dans la zone **Valeurs positives et négatives**, vous pouvez définir la façon de présentation des valeurs positives et négatives de la grandeur affichée (différenciées et non différenciées)
- dans la zone **Remplissage**, vous pouvez définir le mode de remplissage des diagrammes (hachuré ou uniforme).
- Chaque diagramme affiché dans l'éditeur graphique peut être imprimé, vous pouvez le faire de deux façons :
- positionnez-vous dans la fenêtre de l'éditeur graphique et sélectionnez la commande *Imprimer* (menu *Fichier*) - le contenu de la fenêtre sera imprimée ;
- positionnez-vous dans la fenêtre de l'éditeur graphique et sélectionnez la commande *Capter écran* (menu *Fichier* ou par le menu contextuel *Bouton droit*) et ensuite la commande *Composer impression* (menu *Fichier*).

Pour plus de détails à propos des impressions dans le système **Robot Millennium**, veuillez consulter le chapitre 8 de ce manuel.

5.2. Tableaux

Par défaut, après la fin des calculs, le logiciel ouvre le tableau des réactions dans les nœuds d'appui, calculées lors de l'analyse de la structure. Les tableaux présentant les autres résultats des calculs de la structure (déplacements, contraintes, efforts internes etc.) peuvent être affichés à l'écran après la sélection de la commande *Tableaux* (menu *Affichage*) et la définition, dans la boîte de dialogue qui s'ouvre, des grandeurs que le tableau doit présenter. A titre d'exemple, le tableau des réactions est représenté sur la figure ci-dessous.



Nœud/Cas	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
1/ 1	0,77	0,32	9,35	0,00	1,54	-0,00
1/ 2	-30,07	-0,75	-14,79	-0,01	-115,74	0,19
1/ 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1/ 4	17,87	3,70	73,49	0,03	35,55	-0,06
3/ 1	-0,00	0,53	13,66	0,00	-0,00	0,00
3/ 2	-40,41	0,01	0,20	0,00	-135,67	0,23
3/ 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/ 4	-0,00	8,70	173,02	0,06	-0,00	0,00
5/ 1	-0,77	0,32	9,35	0,00	-1,54	0,00
5/ 2	-29,52	0,74	14,59	0,01	-113,57	0,19
5/ 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5/ 4	-17,87	3,70	73,49	0,03	-35,55	0,06
7/ 1	0,77	-0,32	9,35	-0,00	1,54	0,00

En bas du tableau, quatre onglets sont affichés : *Valeurs*, *Enveloppe*, *Extrêmes globaux* et *Info*. Afin de faire défiler la zone de gestion des onglets, il faut cliquer sur les flèches de défilement vers la gauche ou vers la droite.

La sélection de l'onglet *Valeurs* affiche les valeurs des grandeurs calculées (réactions, efforts internes etc.) pour tous les nœuds/barres de la structure et pour tous les cas de charge définis pour la structure.

Après la définition de l'onglet *Enveloppe* les valeurs minimales et maximales des valeurs sélectionnées seront affichées pour tous les nœuds/barres de la structure.

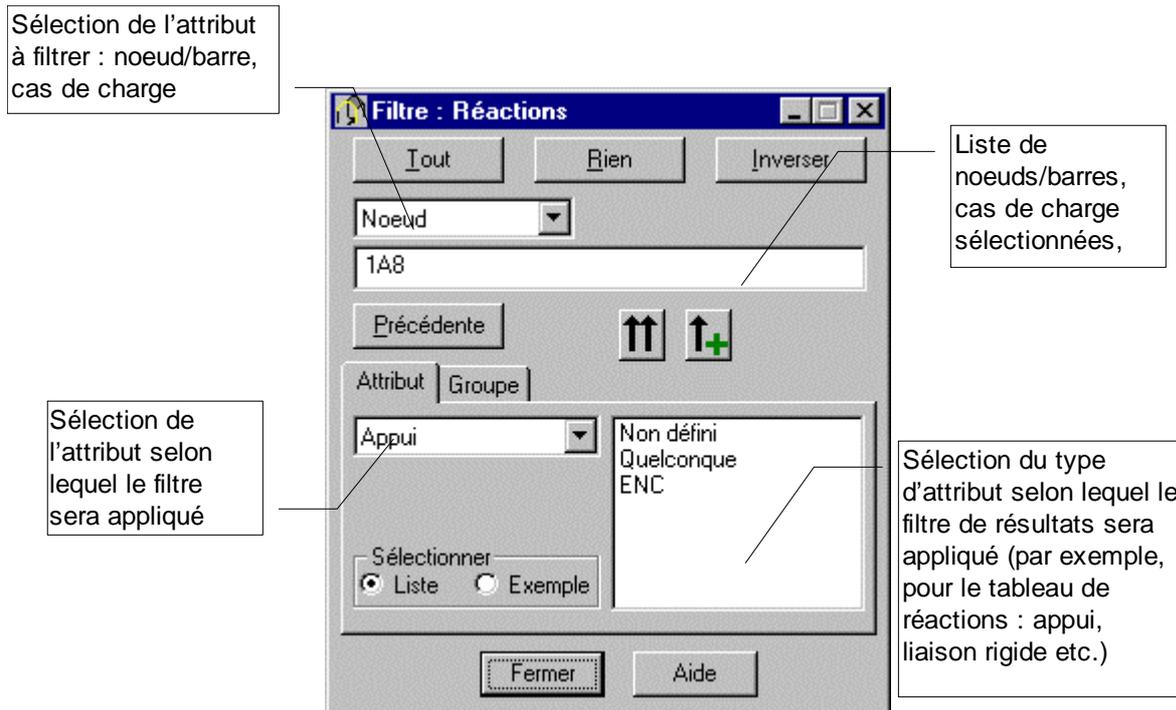
La sélection de l'onglet *Extrêmes globaux* affiche les valeurs minimales et maximales des grandeurs sélectionnés parmi toutes les valeurs obtenues lors de l'analyse de la structure.

L'onglet *Info* spécifie pour quels nœuds, barres et cas de charge seront présentées les valeurs obtenues lors de l'analyse de la structure.

Par défaut, l'onglet *Valeurs* du tableau affiche les résultats des calculs pour tous les nœuds/barres et pour tous les cas de charge définis dans la structure. Afin de sélectionner les résultats qui vous intéressent le plus, il faut positionner le pointeur sur le tableau, cliquez du

bouton droit de la souris, et, dans le menu contextuel qui s'ouvre, sélectionnez la commande *Filtres*.

Le logiciel ouvre alors la boîte de dialogue représentée sur la figure ci-après (la figure représente la boîte de dialogue affichée pour le tableau de réactions dans les nœuds d'appui de la structure).



Dans cette boîte de dialogue, vous pouvez définir la sélection des résultats à présenter dans le tableau des résultats : vous pouvez sélectionner les nœuds/barres et les cas de charge à prendre en compte. Pour ce faire, vous pouvez utiliser les boutons affichés dans la partie supérieure de la fenêtre (Tout, Rien, Inverser, Précédente) ou les options affichées dans l'onglet *Attributs*. Les barres/nœuds et cas de charge sélectionnés seront inscrits dans la partie supérieure de la boîte de dialogue *Filtres*.

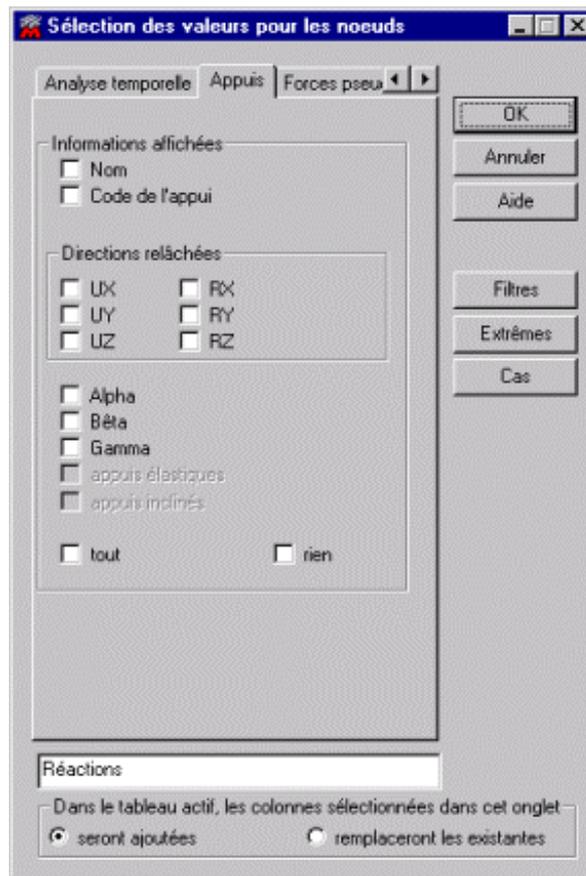
Le contenu du tableau des résultats de l'analyse de la structure peut être défini librement. Après l'achèvement des calculs de la structure, le logiciel affiche le tableau des valeurs des réactions dans les nœuds d'appui de la structure.

Dans ce tableau vous pouvez ajouter des colonnes supplémentaires avec des données et d'autres résultats de calculs. Pour ce faire, vous devez positionner le pointeur sur le tableau, cliquer sur le bouton droit de la souris et, dans le menu contextuel, sélectionner la commande *Colonnes*, le logiciel affichera alors la boîte de dialogue représentée dans laquelle vous pouvez sélectionner les grandeurs dont les valeurs seront affichées dans le tableau.

La boîte de dialogue comprend plusieurs onglets (Général, Déplacements, Réactions etc.). Après la sélection d'une ou de plusieurs grandeurs affichées, dans un onglet quelconque (elles

sont alors accompagnées du symbole " $\sqrt{\quad}$ "), et après un clic sur le bouton OK, dans le tableau apparaîtront de nouvelles colonnes dans lesquelles seront affichées les valeurs des grandeurs que vous aurez sélectionnées.

A titre d'exemple, la figure ci-dessous représente l'onglet *Appuis* (aucune option n'a été sélectionnée dans la boîte de dialogue).



La partie inférieure de cette boîte de dialogue affiche deux options :

- les colonnes sélectionnées seront ajoutées au tableau - la sélection de cette option ajoute au tableau actif des colonnes supplémentaires avec les valeurs des grandeurs sélectionnées dans cette boîte de dialogue ;
- les colonnes sélectionnées remplaceront les colonnes existantes - la sélection de cette option supprime les colonnes existantes et crée de nouvelles colonnes afin d'afficher les valeurs des grandeurs sélectionnées.

De même que pour les diagrammes, le contenu de chaque tableau peut être imprimé. L'impression du contenu du tableau peut être effectuée de deux manières :

- activez le tableau et sélectionnez la commande *Imprimer* dans le menu *Fichier*, le contenu de l'onglet affiché dans le tableau sera imprimé (attention : le contenu du tableau ne peut pas être imprimé si le tableau est ouvert en mode *Edition*);
- activez le tableau et sélectionnez la commande *Capturer écran* dans le menu *Fichier* (le contenu du tableau sera enregistré pour la composition du tableau) et ensuite sélectionnez la commande *Composer impression* dans le menu *Fichier*.

Pour obtenir plus de détails, veuillez vous référer au chapitre 8 de ce manuel.

Vous pouvez aussi copier le contenu du tableau entier ou une partie du tableau vers un tableur (MS Excel, Lotus 1-2-3 etc.). Pour ce faire, mettez en surbrillance le tableau entier ou la partie voulue du tableau et utilisez la combinaison des touches Ctrl+C ou cliquez sur l'icône **Copier** , ensuite ouvrez ou activez le tableur et appuyez sur les touches Ctrl+V ou cliquez sur l'icône **Coller**.

Une option intéressante utilisant le tableau pour présenter les résultats est l'option *Devis*. L'option sert à effectuer l'estimation du devis de la structure étudiée. L'option est accessible dans le menu après la sélection de la commande Outils\Devis.

Pour obtenir le devis détaillé, vous devez tout d'abord définir certains groupes de sections dans la boîte de dialogue **Devis** (en général, les prix des profilés acier varient en fonction du type de section).

Après la définition des groupes et des types de protections, il faut attribuer les sections aux groupes appropriés. L'affectation des sections aux groupes et protections appropriés termine l'estimation du devis. Le devis sous forme de tableaux est accessible, après un clic sur le bouton **Appliquer** dans la boîte de dialogue *Devis*, ou après la sélection de la commande *Affichage/Tableaux*, et après la sélection de l'option *Devis* dans la boîte de dialogue **Tableaux – données et résultats**.

5.3. Cartographies pour les barres

L'option **Cartographies** sert à présenter les cartographies couleur des contraintes, déformations, efforts internes etc. obtenus lors de l'analyse des éléments de type barre composant la structure.

L'option **Cartographies pour les barres** est accessible :

- dans le menu *Résultats*, après la sélection de la commande *Cartographies pour les barres*.
- dans la barre d'outils, après un clic sur l'icône *Cartographies pour les barres* .

Le logiciel affiche alors la boîte de dialogue *Cartographies sur les barres* composée de quatre onglets :

- *NTM/Contraintes*
- *Dimensionnement*
- *Echelle*
- *Paramètres*

Pour la structure, seulement une grandeur sélectionnée dans cette boîte de dialogue peut être présentée dans une fenêtre.

A titre d'exemple, la figure présente l'onglet *NTM/Contraintes* de la boîte de dialogue en question.



Dans cet onglet, vous pouvez sélectionner les grandeurs dont les diagrammes seront présentés :

- dans la zone *Composantes des efforts* : FX, FY, FZ, MX, MY, MZ
- dans la zone *Contraintes normales* : contraintes maximales (dus à My et Mz), contrainte axiale FX/AX
- dans la zone *Contraintes de cisaillement / de torsion* : contraintes de cisaillement TY et TZ et les contraintes de torsion T.

Dans la partie inférieure de la boîte de dialogue, l'option *Déformation structure* est disponible. Si vous cochez cette case, le logiciel affichera la déformation de la structure due à la charge appliquée.

De plus, dans la partie inférieure de la boîte de dialogue, le bouton **Normaliser** est disponible. Après un clic sur ce bouton le diagramme sera affiché de sorte que l'échelle soit ajustée à la valeur minimale et maximale de la grandeur sélectionnée.

Dans l'onglet *Dimensionnement*, vous pouvez sélectionner pour la présentation les valeurs suivantes relatives au dimensionnement des barres de la structure : coefficient de taux de travail, longueur de la barre, élancement Lay, élancement Laz.

Les options disponibles dans l'onglet *Echelle* permettent de définir la palette de couleurs et l'intervalle des valeurs pour la grandeur sélectionnée pour être affichée sur les diagrammes.

Dans l'onglet **Paramètres** de la boîte de dialogue en question, vous pouvez sélectionner le mode de présentation des cartographies pour les barres composant la structure :

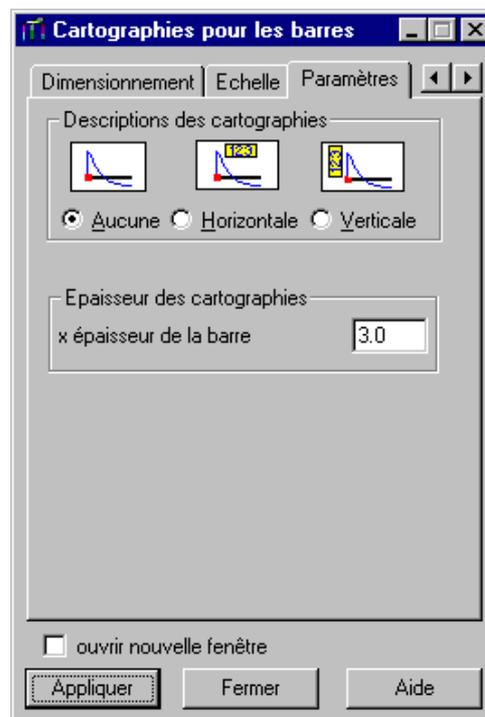
- dans la zone *Descriptions des cartographies*, vous pouvez le mode de présentation des descriptions des valeurs sur les diagrammes

Aucune vous sélectionnez cette option, les descriptions des grandeurs disponibles dans la boîte de dialogue *Cartographies pour les barres* ne seront pas affichées

Horizontale si vous sélectionnez cette option, les descriptions des grandeurs disponibles dans la boîte de dialogue *Cartographies pour les barres* seront affichées horizontalement.

Verticale si vous sélectionnez cette option, les descriptions des grandeurs disponibles dans la boîte de dialogue *Cartographies pour les barres* seront affichées verticalement.

- la zone *Epaisseur des cartographies* contient un champ dans lequel vous pouvez saisir le nombre définissant le rapport entre l'épaisseur de la ligne présentant la cartographie de la grandeur sélectionnée et l'épaisseur des lignes représentant les barres de la structure.



5.4. Cartographies (panneaux)

L'option *Cartographies* sert à présenter les cartographies ou les isolignes des contraintes, efforts et moments obtenus lors de l'analyse des éléments finis surfaciques, composant la structure de type plaque ou coque.

L'option *Cartographies* est accessible dans le menu *Résultats* ou après le passage au bureau *Résultat : cartographies* (groupe de bureaux **RESULTATS**).

La boîte de dialogue *Cartographies* comprend sept onglets : *Détaillés*, *Extrêmes*, *Composés*, *Paramètres*, *Echelle*, *Déformations* et *Croix*.

Les résultats obtenus pour les éléments finis surfaciques sont présentés dans les repères locaux que vous pouvez définir et modifier dans un moment quelconque de la présentation des résultats.

Les résultats obtenus pour la structure contenant des éléments finis surfaciques peuvent être affichés sous forme d'isolignes ou de cartographies en couleur pour les éléments sélectionnés. Seulement une grandeur peut être présentée dans une fenêtre. Afin d'afficher à l'écran une cartographie d'une autre grandeur, vous devez effectuer une des opérations suivantes :

sélectionnez la grandeur en question dans la boîte de dialogue *Cartographies* et cliquez sur le bouton **Appliquer**, la cartographie de la grandeur sélectionnée remplacera la cartographie affichée jusqu'alors.

sélectionnez la grandeur en question dans la boîte de dialogue *Cartographies* et cochez la case *Ouvrir nouvelle fenêtre* avant de cliquer sur le bouton **Appliquer**, la cartographie de la grandeur sélectionnée sera affichée dans une nouvelle fenêtre, la fenêtre de la cartographie affichée jusqu'alors ne sera pas fermée.

L'aspect des isolignes et des cartographies peut être modifié si vous utilisez les options *Lissage* et/ou *Description*.

Les résultats, pour les éléments finis surfaciques sont calculés pour les points de Gauss situés à l'intérieur de chaque élément, les résultats calculés pour un nœud commun des éléments voisins peuvent différer légèrement pour chacun des éléments, par conséquent les isolignes peuvent être discontinues.

Afin d'obtenir une cartographie « régulière » pour la grandeur sélectionnée, vous devez utiliser l'option *Lissage*.

Le lissage peut être appliqué de la façon suivante :

- pas de lissage
- lissage global (pour la structure entière)



- lissage à l'intérieur du panneau – les bords entre les panneaux successifs ne sont pas pris en compte
- lissage avec la prise en compte de la sélection- le lissage sera appliqué ux éléments sélectionnés

De plus, deux autres options sont disponibles :

descriptions - Si vous cochez cette case, les cartographies seront présentées avec la description des valeurs des isolignes spécifiques.

normaliser - Si cette option est activée, les cartographies de la grandeur sélectionnée seront présentées de façon que l'échelle soit ajustée pour la valeur maximale et la valeur minimale de la grandeur sélectionnée.

Dans les onglets spécifiques de la boîte de dialogue **Cartographies** vous pouvez définir les grandeurs à afficher, à savoir :

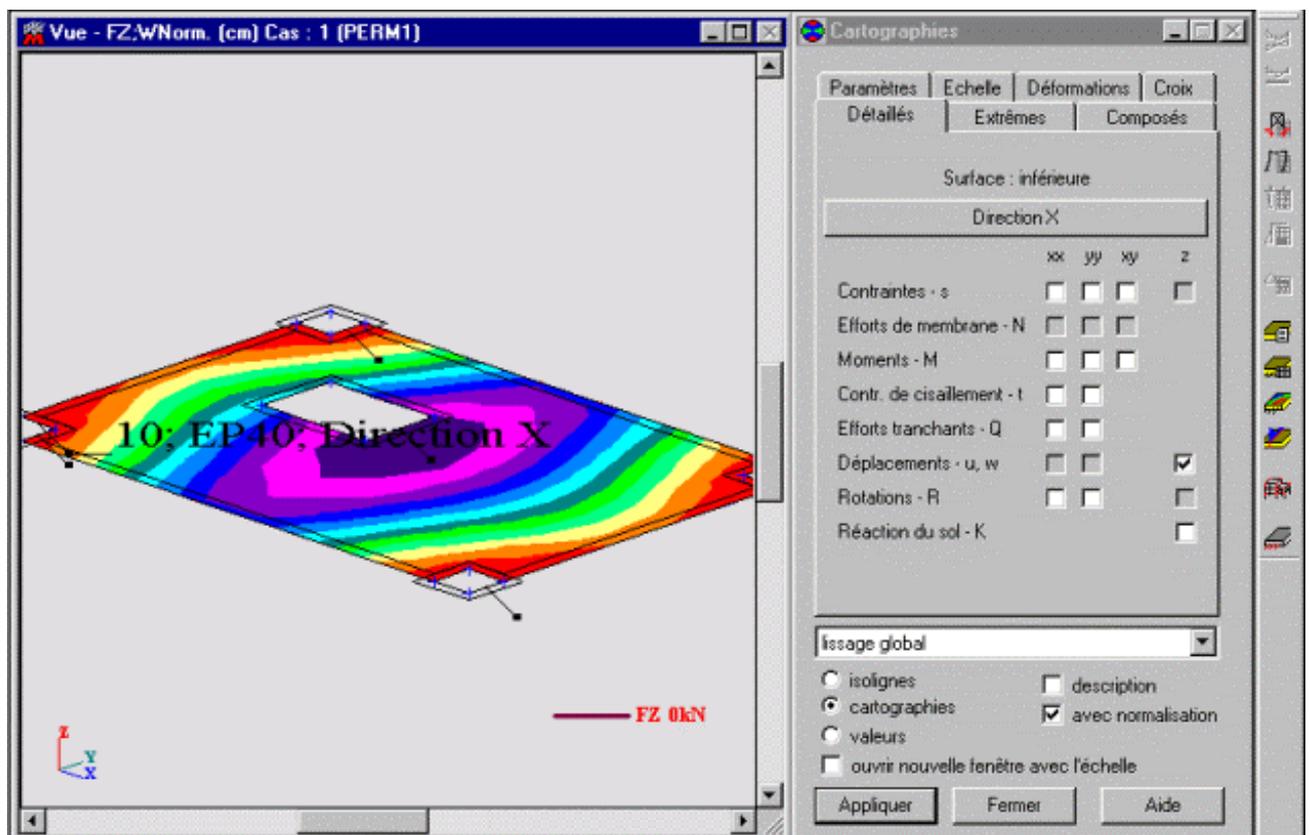
- onglet *Détaillés* - dans cet onglet, vous pouvez sélectionner les valeurs suivantes pour la présentation des résultats : contraintes, efforts de membrane, moments, contraintes de cisaillement, efforts tranchants, déplacements, rotations ; de même vous pouvez sélectionner la direction de l'axe X du repère utilisé pour la présentation des résultats pour les éléments finis surfaciques
- onglet *Extrêmes* - dans cet onglet, vous pouvez sélectionner les valeurs suivantes pour la présentation des résultats : contraintes, efforts de membrane, moments, contraintes de cisaillement et efforts tranchants
- onglet *Composés* - dans cet onglet, vous pouvez sélectionner les valeurs réduites suivantes pour la présentation des résultats : contraintes, efforts de membrane et moments
- onglet *Paramètres* – dans cet onglet, vous pouvez définir la surface pour laquelle seront présentés les résultats obtenus pour les éléments finis surfaciques
- onglet *Echelle* – dans cet onglet, vous pouvez modifier les paramètres de la présentation des cartographies : nombre de divisions utilisé pour les zones de couleurs différentes, type d'échelle (linéaire, logarithmique, arbitraire), limite inférieure et supérieure de l'intervalle pour lequel la cartographie de la grandeur sélectionnée sera affichée, valeurs pour ces couleurs ; Lors de la création des cartographies, il arrive très souvent que les informations concernant le signe des valeurs présentées et leurs distances à partir du zéro sont perdues. Si la boîte de dialogue avec l'échelle sélectionnée n'est pas ouverte, il est impossible d'indiquer sur la cartographie le lieu où le signe change et donner le rapport des valeurs maximales et minimales ; il est possible d'utiliser l'échelle automatique ; l'échelle automatique est générée de façon à ce que les valeurs négatives de la grandeur présentée sur la cartographie aient des couleurs « froides » (nuances du bleu) et les valeurs positives - couleurs « chaudes » (nuances du rouge) ; l'échelle ainsi définie permet de retrouver les zones où le signe est changé et de définir le rapport des valeurs extrêmes.

-
- On admet que les deux groupes de couleurs (couleurs « froides » et « chaudes ») peuvent être divisés en 128 composants au maximum. L'échelle des couleurs est créée après la définition des valeurs extrêmes (v_{min} , v_{max}) pour une grandeur donnée. La plus grande valeur (valeur absolue) entre les valeurs v_{min} et v_{max} obtient 128ème couleur (avec la prise en compte du signe). La couleur de la seconde valeur est affectée à partir de la proportion entre les valeurs v_{min} et v_{max} , et les couleurs intermédiaires sont affectées par la division uniforme de l'échelle. Il est également possible de définir le zéro en tant qu'une des valeurs limites sur l'échelle.

ATTENTION : Dans le cas de la sélection de l'échelle arbitraire, les valeurs peuvent être éditées ; pour cela, faites un double-clic du bouton gauche de la souris dans le champ contenant la valeur affectée à la couleur donnée

- onglet *Déformations* – présentation de la déformée de la plaque/coque étudiée, animation des déformées affichées
- onglets *Croix* – présentation des croix des contraintes, moments ou forces normales.

A titre d'exemple, la figure ci-dessous représente la boîte de dialogue **Cartographies** et la cartographie des déplacements normaux pour une plaque.



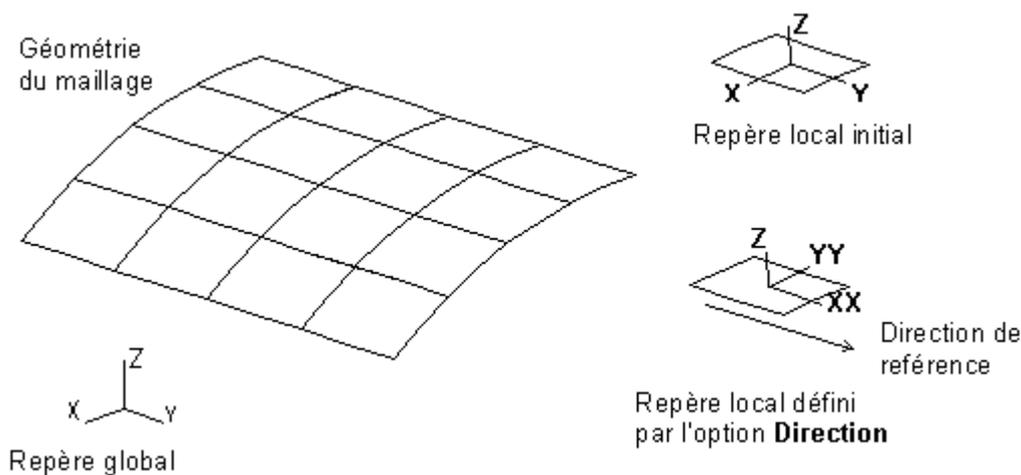
Les axes X et Y sont des axes locaux définis à l'aide de l'option *Direction* affichée dans l'onglet *Détailés*. Cette option permet de définir la direction principale (axe x) du repère

locale à utiliser. Les valeurs des résultats, pour tous les éléments sont recalculés pour le repère réorienté de cette façon.

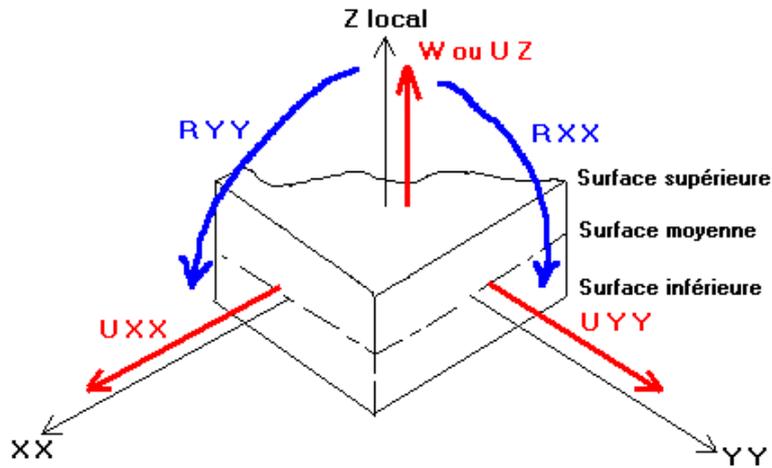
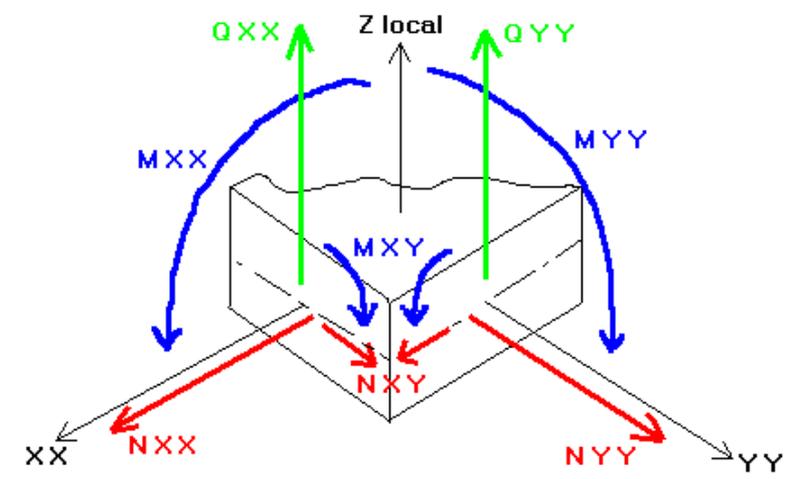
Vous pouvez définir la direction par un vecteur quelconque définissant la direction « principale » pour le calcul des résultats pour les éléments surfaciques, le vecteur en question est ensuite projeté sur l'élément pour définir la direction x locale, ce qui définit finalement la position de l'axe local x .

Il existe une seule limitation pour la sélection de la direction : le vecteur « principal » ne peut pas être normal à l'élément (c'est-à-dire parallèle à l'axe local z). Si l'utilisateur sélectionne une telle direction, la projection du vecteur sur l'élément donne un point et tous les résultats seront égaux à zéro.

Une situation typique a été représentée sur la figure ci-dessous : tous les éléments sont situés sur la surface d'un cylindre. Au début, les axes locaux x sont parallèles à l'axe x global, ces axes seront redéfinis en utilisant la direction « principale » parallèle à l'axe global Z .



Les conventions de signe pour les éléments finis surfaciques sont représentées sur les figures ci-dessous.

Conventions de signe des déplacements et rotations

Conventions de signe des efforts


5.5. Coupes sur panneaux

L'option *Coupes sur panneaux* complète l'option *Cartographies - panneaux* (chapitre 5.4)

L'option permet de créer les diagrammes des efforts internes et des déplacements dans les éléments finis surfaciques. Les diagrammes sont affichées pour les coupes quelconques définies par l'utilisateur. Pour les structures planes, la coupe est effectuée le long de la droite (segment) situé dans le plan de la structure. Pour les coques, la coupe est définie par le plan situé de façon quelconque dans l'espace 3D. Pour la même structure, vous pouvez définir plusieurs diagrammes pour les coupes par la structure.

L'option est accessible :

- dans le menu, sélectionnez la commande *Coupes sur panneaux* dans le menu *Résultats*
- dans la barre d'outils, après un clic sur l'icône *Coupes sur panneaux* .

La commande ouvre la boîte de dialogue servant à définir la coupe et à sélectionner les grandeurs à présenter pour la coupe. Pour créer le diagramme d'une des grandeurs accessibles actuellement (efforts internes, contraintes et déplacements locaux dans les éléments finis), il est nécessaire de définir la ligne de coupe et de déterminer quelle des valeurs disponibles sera affichée sur le diagramme.

L'option permet de définir plus d'un plan de coupe (ou plus d'une ligne de coupe. Par conséquent, les diagrammes peuvent être affichés simultanément le long de plusieurs coupes. La définition d'une nouvelle coupe ajoute cette coupe aux coupes définies préalablement. Les diagrammes peuvent être affichés dans la direction tangent ou normale au plan de coupe, de plus il est possible d'effectuer le lissage éventuel des passages entre les éléments voisins.

La boîte de dialogue qui s'ouvre après la sélection de l'option est représentée sur la figure ci-dessous.

La boîte de dialogue comprend neuf onglets : *Définition*, *Coupes*, *Détaillés*, *Extrêmes*, *Composés*, *Paramètres*, *Diagrammes*, *Ferrailage* et *ELU*.

Les deux derniers onglets concernent les résultats des calculs du ferrailage pour la plaque/coque définie. Pour la présentation, vous pouvez sélectionner les valeurs calculées pour la section d'acier ou pour l'espacement des armatures. Si vous sélectionnez une norme de dimensionnement des plaques et coques prenant en compte les calculs de l'état limite de service, vous pouvez consulter les valeurs relatives à ELU (largeur des fissures etc.).

Pour afficher le diagramme d'une grandeur quelconque :

- définissez la coupe par la structure de type plaque ou coque

- sélectionnez la grandeur à afficher sur le diagramme
- définissez les paramètres du diagramme
- cliquez sur le bouton **OK**.

Le diagramme de la valeur sélectionnée sera affiché à l'écran.

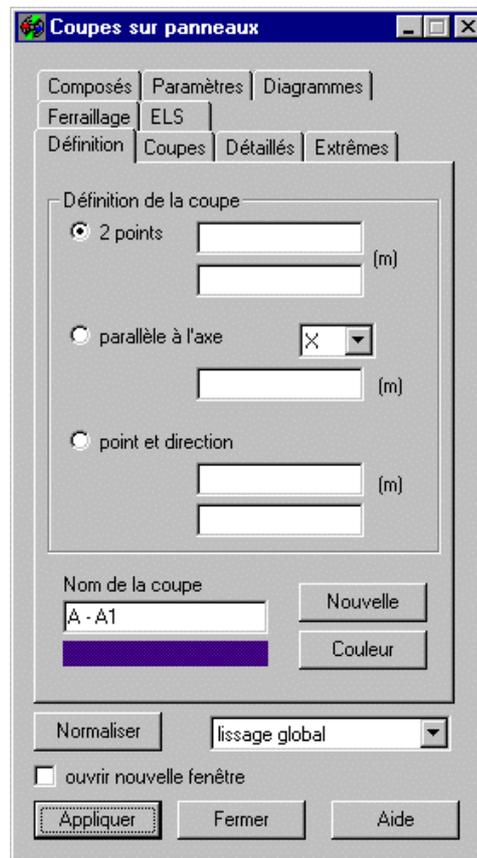
ATTENTION : Pour les coupes sur panneaux (EF surfaciques), les directions sont déterminées de la façon suivante : la direction xx est tangente à la surface par laquelle passe la coupe et normale à la ligne de coupe, la direction yy est tangente à la ligne de coupe.

DEFINITION DE LA COUPE POUR LES STRUCTURES PLANES (PLAQUES)

Si la structure étudiée est une structure plane, le plan de la coupe doit être parallèle à l'axe OZ. Par conséquent, il n'est nécessaire que de définir une ligne droite - intersection du plan de la coupe et du plan OXY. De plus, pour les structures planes, il est possible de définir un segment à une longueur donnée pour lequel la coupe sera effectuée. Les segments de ce type peuvent former une polygone quelconque.

Dans le logiciel, plusieurs modes de définition de la ligne droite ou du segment. Les points nécessaires peuvent être définis soit en mode graphique (sélection des nœuds appropriés) soit en mode texte (pour cela, saisissez les coordonnées des points ou les numéros des nœuds dans les champs d'édition appropriés de la boîte de dialogue).

L'onglet *Définition* prend la forme représentée sur la figure ci-dessous.



Pour les structures planes, la définition de la coupe peut être effectuée des trois manières suivantes :

- 2 points - après la sélection de cette option, vous devez définir (en mode graphique ou à partir du clavier) les coordonnées de deux points : origine et extrémité du segment pour lequel la grandeur sélectionnée sera présentée.
- parallèle à l'axe - après la sélection de cette option, la définition de la coupe consiste en la sélection d'un des axes du repère global (axe X ou Y) auquel la ligne de coupe doit être parallèle, de plus, il faut donner la distance entre le plan de la coupe et l'origine du repère. Si la définition de la coupe est sélectionnée en mode graphique après la sélection de l'axe, il suffit d'indiquer le nœud par lequel la coupe doit passer.
- point et direction - après la sélection de cette option, on définit la ligne et non pas le segment. En mode graphique, il suffit de définir deux points, en mode texte il faut saisir un point situé sur la ligne droite et la direction de la ligne droite (dx et dy).

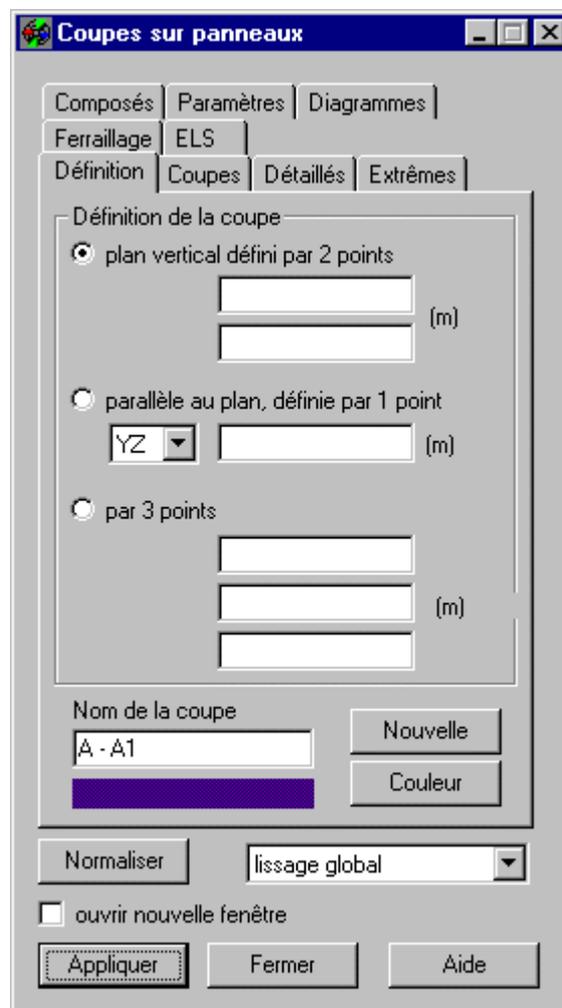
La coupe définie sera ajoutée à la liste de coupes disponibles affichées dans l'onglet *Coupes*.

DEFINITION DE LA COUPE POUR LES STRUCTURES SPATIALES (COQUES)

Si la structure étudiée est une structure spatiale, le plan de la coupe doit être défini sous forme générale. Dans la plupart des cas, cela signifie qu'il est nécessaire de définir un point appartenant au plan de la coupe et la direction d'un vecteur normal à ce plan. Le plan peut être également défini par trois points non colinéaires.

Dans le logiciel, plusieurs modes de définition de la coupe sont disponibles pour les structures spatiales. Les points nécessaires peuvent être définis soit en mode graphique (sélection des nœuds appropriés) soit en mode texte (pour cela, saisissez les coordonnées des points ou les numéros des nœuds dans les champs d'édition appropriés de la boîte de dialogue).

L'onglet *Définition* prend la forme représentée sur la figure ci-dessous.



Pour les structures spatiales, la définition de la coupe peut être effectuée des trois manières suivantes :

- plan vertical défini par deux points - après la sélection de cette option, la définition de la coupe consiste en la définition du plan parallèle à l'axe Z du repère global (ATTENTION : toujours parallèle à l'axe Z !); la définition du plan de la coupe consiste en la définition des coordonnées de deux points appartenant au plan de la coupe. Si la définition de la coupe est effectuée en mode graphique, après la sélection de l'axe il faut indiquer le nœud par lequel passera le plan de la coupe.
- parallèle au plan, définie par 1 point - après la sélection de cette option, la définition de la coupe consiste en la sélection d'un des plans des axes du repère global (plans XY, XZ ou YZ) auquel le plan de la coupe doit être parallèle; de plus, il est nécessaire de spécifier la distance entre le plan de la coupe et l'origine du repère. Si la définition de la coupe est effectuée en mode graphique après la sélection de l'axe, il suffit d'indiquer le nœud par lequel la coupe doit passer.
- par 3 points - après la sélection de cette option, il faut spécifier (en mode graphique ou en utilisant le clavier pour définir les coordonnées des points) les coordonnées de trois points colinéaires définissant de façon univoque le plan de la coupe.

La coupe définie sera ajoutée à la liste de coupes disponibles affichées dans l'onglet *Coupes*.

L'onglet *Coupes* de la boîte de dialogue *Coupes sur panneaux* affiche toutes les coupes définies pour la structure.

Pour chaque coupe, trois informations sont présentées :

- activation/désactivation de l'affichage de la coupe définie pour la structure (si cette option est active, la coupe et les diagrammes de la grandeur sélectionnée sont affichés pour la structure)
- couleur de la coupe et du diagramme affiché pour cette coupe
- nom de la coupe.

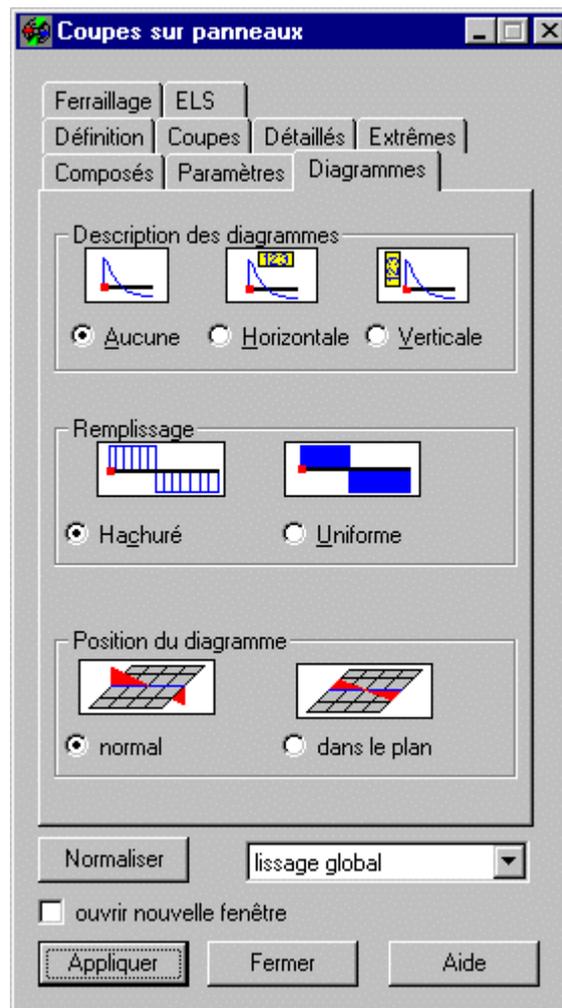
Dans les onglets *Détaillés*, *Extrêmes* et *Composés*, vous pouvez sélectionner les grandeurs dont les diagrammes seront présentés pour les lignes de coupe définies. L'onglet *Paramètres* regroupe les options permettant de sélectionner la surface parallèle au feuillet moyen de la structure surfacique, c'est pour cette surface que les résultats des calculs seront présentés.

Dans l'onglet *Diagrammes* vous pouvez définir le mode de présentation des diagrammes :

- dans la zone *Descriptions des diagrammes* vous pouvez définir la façon de présentation des descriptions des valeurs sur les diagrammes (Aucune, Horizontale et Verticale)
- dans la zone *Valeurs positives et négatives* vous pouvez décider si des couleurs différentes seront utilisées pour la présentation des valeurs positives et négatives de la grandeur affichée (Non différenciées et Différenciées)

- dans la zone *Position du diagramme*, vous pouvez déterminer la position du diagramme par rapport à la structure (normale à la structure ou dans le plan de la structure).

ATTENTION : Lors de la présentation des descriptions des diagrammes le long de la ligne de coupe, le logiciel présente les valeurs minimales et maximales du diagramme et la valeur de l'intégrale pour la composante sélectionnée pour la longueur de la ligne de coupe.



5.6. Cartographies pour les solides

L'option sert à présenter les cartographies ou isolignes des déplacements, contraintes et déformations obtenus lors de l'analyse de la structure volumique. Les résultats sont présentés sous forme des cartographies ou isolignes avec les valeurs. Les résultats sont présentés sur la surface extérieure du solide ou des éléments sélectionnés.

Après la sélection de cette option, la boîte de dialogue présentée sur la figure ci-dessous s'affiche. Cette boîte de dialogue se compose de quatre onglets : *Détaillés*, *Principaux*, *Echelle*, *Déformations*.

La commande est accessible par :

- le menu déroulant *Résultats*, commande *Cartographies - solides...*
- la barre d'outils, icône .



Dans cette boîte de dialogue, vous pouvez sélectionner les valeurs dont les grandeurs seront présentées dans le tableau, à savoir : contraintes, déformations et déplacements. Les groupes de résultats disponibles sont :

Contraintes

- dans le repère local défini par l'utilisateur (globalement pour le modèle entier)
- dans les directions principales, dans le cas où le tenseur prend la forme d'une diagonale
- en tant que valeurs réduites suivant l'hypothèse sélectionnée

Déformations

- dans le repère local défini par l'utilisateur (globalement pour le modèle entier)
- dans les directions principales, dans le cas où le tenseur prend la forme d'une diagonale
- en tant que valeurs réduites suivant l'hypothèse sélectionnée

Déplacements

- disponibles dans le repère local défini par l'utilisateur (globalement pour le modèle entier)
- dans le repère global en tant que déplacements totaux, c'est-à-dire la longueur du vecteur de déplacement.

La partie inférieure de la boîte de dialogue contient les options qui permettent de sélectionner la forme graphique de la présentation des résultats (Cartographies, Isolignes, Isosurfaces). Si vous activez l'option *Valeurs*, le logiciel active automatiquement l'option *Description*; les valeurs sont présentées dans les centres des éléments sans dessiner les cartographies ou les isolignes. Vous pouvez sélectionner la présentation des résultats en forme de :

- isolignes - les résultats obtenus pour les éléments volumiques seront présentés sous forme d'isolignes sur le contour extérieur du solide
- cartographies - les résultats obtenus pour les éléments volumiques seront présentés sous forme de cartographies sur le contour extérieur du solide
- isosurfaces - les résultats obtenus pour les éléments volumiques seront présentés en tant que surfaces à l'intérieur du solide ayant les mêmes valeurs (les isolignes sur les panneaux présentent le parcours de la même valeur ; par contre, les isosurfaces présentent le parcours de la valeur dans l'espace du solide). Le nombre de surfaces est défini par le nombre de couleurs de l'échelle (*ATTENTION : plus le nombre de couleurs est grand, plus le temps de génération des isosurfaces est long*)

Les cartographies et les isolignes peuvent être présentées sous forme de valeurs moyennes entre les éléments. La prise de la moyenne (lissage) est effectuée par la sélection d'une des options de la liste disponible dans la partie inférieure de la boîte de dialogue :

- *Sans lissage*

- *Lissage global*
- *Lissage à l'intérieur du solide*
- *Lissage suivant la sélection*
- *Lissage suivant les caractéristiques*

D'autres options disponibles dans la partie inférieure de la boîte de dialogue :

Description - active les descriptions des isolignes ou affiche les valeurs dans le centre de l'élément

Avec normalisation - ajuste automatiquement l'échelle pour la valeur maximale et minimale de la grandeur sélectionnée pour les cartographies et isolignes

Ouvrir une nouvelle fenêtre avec l'échelle - ouvre une nouvelle fenêtre contenant uniquement les éléments et les objets sélectionnés. La fenêtre est divisée en deux parties : vue et légende de l'échelle.

Dans la boîte de dialogue ci-dessus, sur l'onglet *Détailés*, vous pouvez sélectionner les valeurs suivantes pour la présentation des résultats : contraintes, déformations et déplacements. Vous ne pouvez sélectionner qu'une seule valeur sur tous les onglets.

Dans l'onglet *Principaux*, vous pouvez sélectionner les valeurs des contraintes ou des déformations à afficher dans le tableau. Les valeurs réduites sont données suivant l'hypothèse choisie dans la liste des hypothèses disponibles dans la partie inférieure de la boîte de dialogue. A présent, deux hypothèses sont accessibles :

Huber – Mises

Invariant du tenseur I1.

Le premier invariant du tenseur est défini suivant la formule :

$$I1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = \sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}$$

Le deuxième invariant du tenseur est égal :

$$J2 = I2 = 0.5[(\sigma_{xx} - p)^2 + (\sigma_{yy} - p)^2 + (\sigma_{zz} - p)^2] + \tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2 = \\ = \frac{1}{6}[(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)]$$

où :

$p = I1/3$ - contrainte moyenne.

La valeur réduite suivant l'hypothèse d'Huber-Mises est égale :

$$\sigma_M = \sqrt{|3 J2|}$$

Les onglets *Echelle* et *Déformation* contiennent les mêmes options que pour les diagrammes (barres) ou cartographies (barres, cartographies). De plus, l'onglet *Déformations* contient l'option *Déformée dans l'échelle de la structure* – si vous activez cette option, les valeurs réelles de la déformation de la structure seront relatives aux dimensions de la structure ; cette option est étroitement liée à l'option *Facteur de zoom* – dans ce champ d'édition, vous devez saisir le facteur de multiplication des valeurs de la déformée de la structure ; dans le cas où

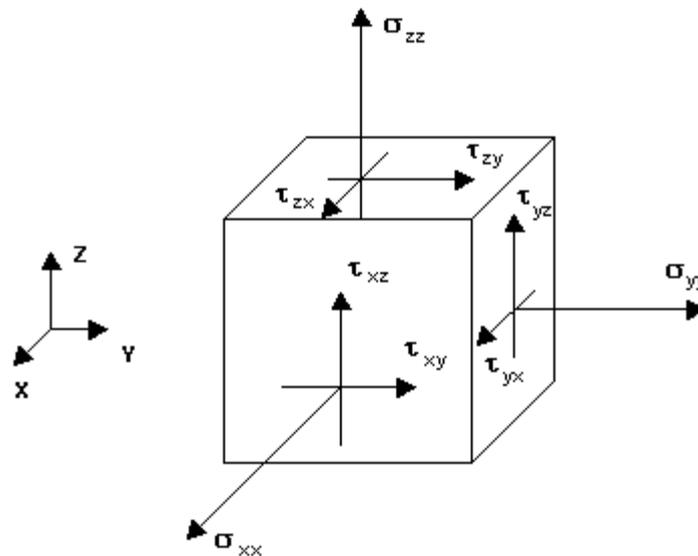
vous activez l'option *La même échelle*, l'échelle est la même pour tous les diagrammes affichés (cette option est utile lors de la comparaison les résultats obtenus pour différents cas de charge, etc.) ; l'option *Echelle pour 1* – dans ce champ, vous définissez à combien de centimètres (pouces) correspond un centimètre sur le dessin.

La différence entre les options *Echelle pour 1* et *Déformée dans l'échelle de la structure* est visible lorsque vous effectuez l'opération de zoom avant/zoom arrière sur la structure ; dans le cas de l'option *Echelle pour 1* la taille de la déformée ne change pas, par contre, dans le cas de l'option *Déformée dans l'échelle de la structure*, la déformée est ajustée à la taille de la structure.

Les axes X et Y sont des axes locaux définis à l'aide de l'option **Direction** affichée dans l'onglet **Détailés**. Cette option permet de définir la direction principale (axe x) du repère locale à utiliser. Les valeurs des résultats pour tous les éléments sont recalculés pour le repère réorienté de cette façon.

Vous pouvez définir la direction par un vecteur quelconque définissant la direction « principale » pour le calcul des résultats pour les éléments surfaciques, le vecteur en question est ensuite projeté sur l'élément pour définir la direction x locale, ce qui définit finalement la position de l'axe local x. Il existe une seule limitation pour la sélection de la direction : le vecteur « principal » ne peut pas être normal à l'élément (c'est-à-dire parallèle à l'axe local z). Si l'utilisateur sélectionne une telle direction, la projection du vecteur sur l'élément donne un point et tous les résultats seront égaux à zéro.

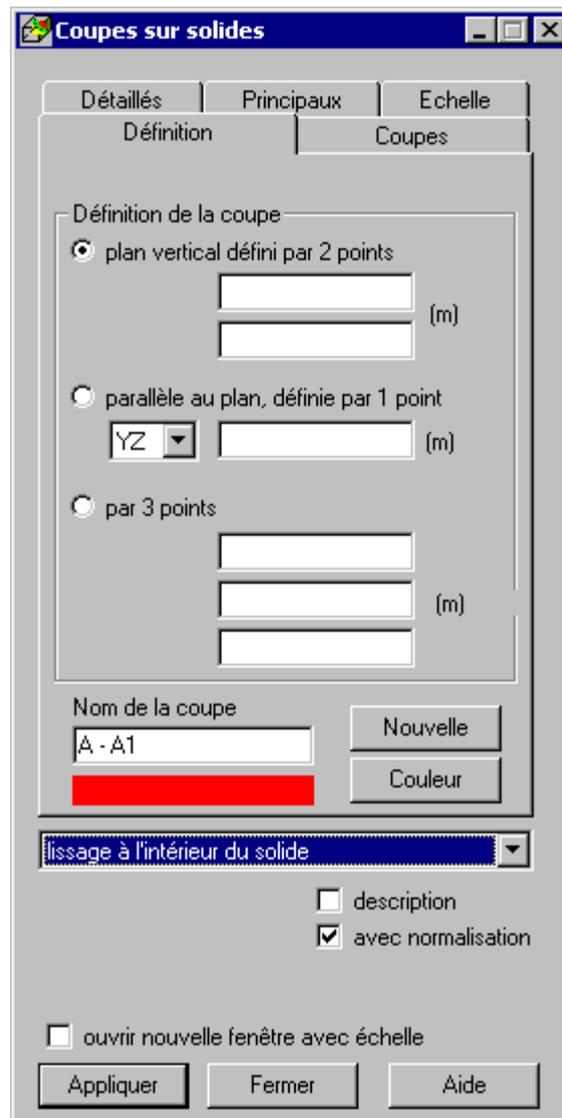
La convention des signes est présentée de façon schématique sur la figure ci-dessous. La convention est présentée pour les contraintes ; les contraintes représentées sur le dessin ont le signe positif.



5.7. Coupes sur solides

L'option sert à présenter les cartographies sur les coupes sur les solides. Les résultats sont présentés sur la surface de la coupe.

Après la sélection de cette option, la boîte de dialogue présentée sur la figure ci-dessous s'affiche. Cette boîte de dialogue se compose de cinq onglets : *Définition*, *Coupes*, *Détaillés*, *Principaux* et *Echelle*.



ATTENTION: Les trois derniers onglets sont identiques avec les onglets de la boîte de dialogue **Cartographies - solides**.

Le principe du dessin des cartographies sur les coupes par les solides consiste à ce que les cartographies sur toutes les coupes sont dessinées pour la même grandeur. C'est la différence principale par rapport à la présentation des diagrammes sur coupes des panneaux pour lesquelles vous pouvez sélectionner différentes grandeurs pour chaque diagramme. Pour les résultats qui dépendent du repère local de l'élément fini, la direction est définie indépendamment du plan de coupe. Par exemple, si la cartographie des contraintes S_{xx} est affichée, la direction des contraintes x est définie par l'utilisateur indépendamment du plan de coupe.

Les cartographies sur coupes ne sont donc qu'une autre forme d'affichage des cartographies pour la grandeur sélectionnée dans la boîte de dialogue *Cartographies pour les solides*. Il est possible d'afficher une cartographie sur le contour extérieur du solide ou sur les coupes intérieures par solide.

Les options disponibles dans cet onglet permettent de définir les plans de coupe par solide. Le fonctionnement et le contenu de l'onglet de définition des coupes sont les mêmes que pour la définition des coupes pour les structures de type coque.

La définition de la coupe peut être effectuée des trois manières suivantes :

- plan vertical défini par deux points - après la sélection de cette option, la définition de la coupe consiste en la définition du plan parallèle à l'axe Z du repère global.
- parallèle au plan, définie par 1 point - après la sélection de cette option, la définition de la coupe consiste en la sélection d'
- un des plans des axes du repère global (plans XY, XZ ou YZ) auquel le plan de la coupe doit être parallèle ;
- par 3 points dans l'espace.

Pour définir une coupe pour la structure étudiée :

- sélectionnez la méthode de définition de la coupe
- définissez les paramètres de la coupe
- affectez un nom à la coupe définie
- sélectionnez la couleur pour la coupe
- cliquez sur le bouton **Nouvelle**.

La coupe définie sera ajoutée à la liste de coupes disponibles affichées dans l'onglet *Coupes*.

La coupe définie sera ajoutée à la liste des coupes disponibles sur l'onglet *Coupes*. Les options dans cet onglet permettent de sélectionner les coupes à afficher.

La zone *Liste de coupes* affiche toutes les coupes définies pour la structure. Pour chaque coupe, trois informations sont présentées :

- activation/désactivation de l'affichage de la coupe définie pour la structure (si cette option est active, la coupe et les diagrammes de la grandeur sélectionnée sont affichés pour la structure)
- couleur de la coupe et du diagramme affiché pour cette coupe
- nom de la coupe.

5.7. Analyse graphique des contraintes

La boîte de dialogue *Analyse graphique des contraintes* permet de visualiser les répartitions des contraintes dans la section transversale et dans la section longitudinale de la barre.

L'option est accessible :

- après la sélection de la commande *Analyse des contraintes dans la barre* disponible dans le menu *Résultats*
- après la sélection du bureau **ANALYSE DES CONTRAINTES - BARRE** (groupe de bureaux **RESULTATS**)

Pour les sections pleines, après la sélection du bureau **ANALYSE DES CONTRAINTES DANS LA BARRE** (groupe de bureaux **RESULTATS**), l'écran sera divisé en quatre parties : boîte de dialogue *Analyse des contraintes* et trois fenêtres dans lesquelles les cartographies des contraintes seront affichées (pour la section transversale et pour deux sections longitudinales XY et XZ). Dans de cas des profilés minces, l'écran est divisé en deux parties : boîte de dialogue *Analyse des contraintes* présentant les résultats numériques de l'analyse des contraintes dans la section et la fenêtre présentant les cartographies des contraintes en mode graphique.

La boîte de dialogue *Analyse des contraintes* comprend cinq onglets : *Transversale*, *Coupe XY*, *Coupe XZ*, *Point* et *Barre*. Pour les profilés à parois minces, un onglet supplémentaire (*Tableau*) est affiché. L'onglet en question affiche sous forme de tableau les valeurs des contraintes pour les points caractéristiques de la section à parois minces.

La partie inférieure de la boîte de dialogue est commune pour tous les onglets en question.

Pour afficher les cartographies des contraintes dans les trois fenêtres dans la partie gauche de l'écran, vous devez effectuer les opérations suivantes :

- sélectionnez la barre et le cas de charge pour lesquels les cartographies des contraintes seront affichées
- sélectionnez le type de contrainte (normale, tangente, composée); les composantes des efforts internes prises en compte dans les calculs de la contrainte (FX, FY, FZ, MX, MY et MZ) seront sélectionnées de façon automatique
- les valeurs des efforts internes calculées pour la barre sélectionnée seront affichées dans les champs spécifiques (vous pouvez modifier ces valeurs)
- définissez la position des plans de coupe

ATTENTION : Si la présentation de la contrainte normale SIGMA X a été sélectionnée, le logiciel affichera sur la section transversale de la section pleine l'axe neutre sous forme d'une ligne en pointillés.

Après la définition de ces paramètres et un clic sur le bouton **Appliquer**, la boîte de dialogue affiche les valeurs des contraintes dans la section sélectionnée, les trois fenêtres à gauche de l'écran affichent les cartographies des contraintes dans la section transversale et dans deux sections longitudinales de la barre.

Un clic sur le bouton **Note de calculs** appelle le traitement de texte interne du système **Robot Millennium** et ouvre la note de calculs contenant les résultats de l'analyse des contraintes dans la section de la barre sélectionnée dans la structure étudiée.

Si vous modifiez les paramètres disponibles dans la boîte de dialogue **Analyse des contraintes** (par exemple, le cas de charge, le type de contrainte etc.), un clic sur le bouton **Appliquer** entraîne le calcul des contraintes et la génération des cartographies pour les nouveaux paramètres.

Dans le menu du module **Analyse des contraintes dans la barre**, quatre options intéressantes sont accessibles :

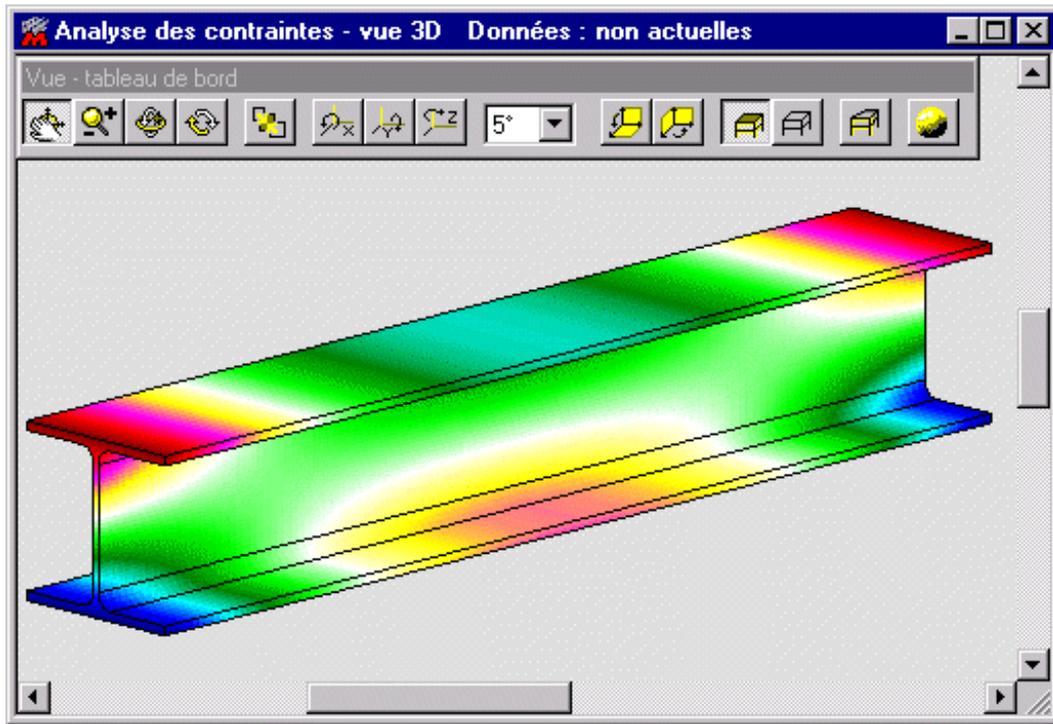
Plan de coupe - cette commande, disponible dans le menu *Edition*, permet de définir le plan de coupe du point. Après la sélection de la commande *Plan de coupe*, le pointeur prend la forme d'une mire. Positionnez le pointeur de la souris sur la fenêtre voulue, un clic du bouton gauche de la souris définit le plan de coupe, les coordonnées du plan de coupe sélectionné seront transférées automatiquement dans les champs appropriés ($x=$, $y=$ et $z=$).

Valeurs des contraintes dans le point - cette commande, disponible dans le menu *Edition* permet de définir en mode graphique les coordonnées du point dans lequel les contraintes seront calculées. Après la sélection de la commande sélectionnez la commande *Contraintes dans le point* (le pointeur prend alors la forme d'une mire) et cliquez sur le point voulu. Si vous basculez entre les fenêtres relatives aux sections spécifiques (transversales et longitudinales), les paramètres de l'onglet *Point* changent (le plan approprié et les coordonnées appropriées sont sélectionnées).

Attributs de l'affichage - cette commande, dans le menu affichage, permet de définir les paramètres des cartographies des contraintes (échelles pour les vues spécifiques, couleurs, axes etc.). Après la sélection de la commande, le logiciel affiche une boîte de dialogue dans les onglets de laquelle vous pouvez définir les paramètres de présentation des cartographies des contraintes.

Vue 3D - cette commande, dans le menu affichage, permet de présenter la barre de structure sélectionnée en vue 3D, avec l'affichage du type de contrainte sélectionné. La vue supplémentaire avec la barre d'outils auxiliaire s'affiche à l'écran; cette barre d'outils contient les options supplémentaires permettant de déplacer, tourner, agrandir la barre de structure sélectionnée. L'option est

également accessible dans la barre d'outils auxiliaire (sur le bureau *Analyse des contraintes dans la barre*) : .



Pour la section transversale et pour les sections longitudinales XY et XZ de la barre, le logiciel affiche les contraintes extrêmes suivantes calculées dans la section sélectionnée :

- contrainte normale σ_x (maximale et minimale)
- contrainte tangente (de cisaillement) - τ_{xy} , τ , τ_{xz}
- contrainte de torsion
- contrainte σ_i .

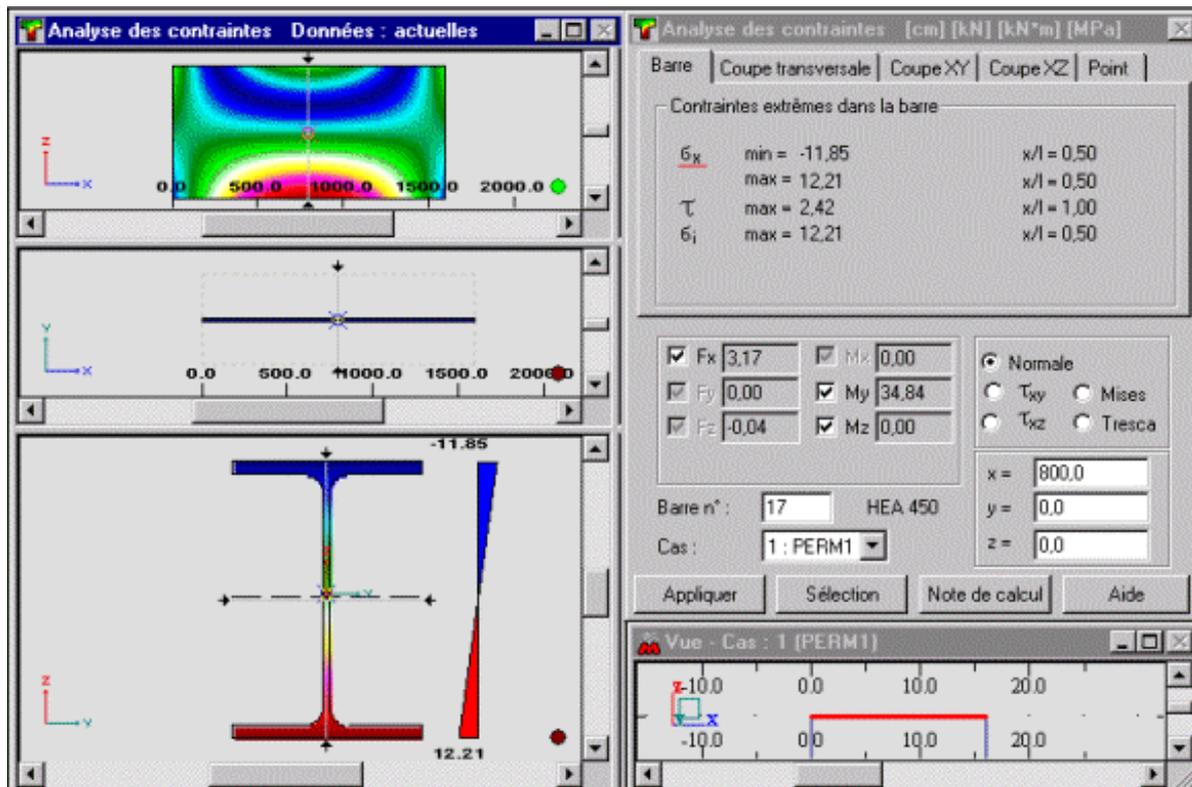
Pour chacune de ces grandeurs, le logiciel affiche la valeur de la coordonnée pour laquelle les valeurs extrêmes de la contrainte ont été obtenues.

Après la sélection de l'onglet *Point*, le logiciel affiche les contraintes extrêmes suivantes calculées pour le point sélectionné :

- contrainte normale σ_x (maximale et minimale)

- contrainte tangente (de cisaillement) - τ
- contrainte de torsion
- contrainte σ_i .

La figure ci-dessous présente le bureau *Analyse des contraintes* pour une structure à barres prise à titre d'exemple.



5.8. Analyse des contraintes dans la structure

Une fois l'analyse de la structure terminée, le système **Robot** permet de définir les cartographies pour l'ensemble des barres de la structure. Pour cela, sélectionnez l'option *Analyse des contraintes dans la structure*. L'option est disponible par :

un clic sur le menu Résultats, sous-menu Analyse des contraintes, commande Analyse de la structure

la sélection du bureau **RESULTATS/ANALYSE DES CONTRAINTES - STRUCTURE**.

Après la sélection du bureau **ANALYSE DES CONTRAINTES - STRUCTURE**, l'écran est divisé en trois parties et contient : la fenêtre graphique, le tableau dans la partie inférieure et la boîte de dialogue de gestion de l'analyse des contraintes. Dans cette boîte de dialogue, vous pouvez sélectionner les contraintes à visualiser ainsi que le type de présentation graphique.

La fenêtre de résultats (tableau) de l'analyse des contraintes contient les valeurs numériques des contraintes présentées en forme de tableau. Vous pouvez présenter toutes les contraintes types et les contraintes utilisateur. Les contraintes pour les barres sont présentées en forme de valeurs extrêmes pour les cas de charge sélectionnés. Ensuite, le logiciel présente les extrêmes globaux pour les types de contraintes appropriés avec l'information sur les barres et les cas auxquels ces valeurs extrêmes se réfèrent.

La boîte de dialogue *Analyse des contraintes* comprend les onglet suivants : *Contraintes – Diagrammes, Echelle, Paramètres*. Dans cette boîte de dialogue, vous pouvez sélectionner les contraintes utilisateur. Pour cela, vous disposez du jeu de types de contraintes de base : normales, tangentes, Mises, Tresca. Pour chaque type de contrainte, vous pouvez sélectionner le jeu de forces qui seront prises en compte lors des calculs. Cela permet d'estimer l'influence de chaque force sectorielle sur le taux de travail de la barre.

Dans cette boîte de dialogue, vous pouvez sélectionner le jeu de contraintes à afficher en forme de diagrammes et vous pouvez également choisir les couleurs des cartographies des contraintes utilisés sur la vue 3D. L'onglet *Echelle* regroupe les options permettant de sélectionner les couleurs utilisées dans la vue 3D de la structure avec les contraintes.

La partie inférieure de la boîte de dialogue est la même pour tous les onglets. Afin d'obtenir la répartition des contraintes présentée sur la vue de la structure et en forme de tableau, il faut :

1. sélectionner les cas de charge de la structure pour lesquels les cartographies des contraintes seront affichées
2. si vous avez sélectionné l'option *Toutes les barres* (disponible dans la partie inférieure de la boîte de dialogue), les contraintes affichées concernent toutes les barres de la structure. Par contre, si vous sélectionnez l'option *Barres sélectionnées*, vous pouvez sélectionner les barres pour lesquelles le logiciel effectuera les calculs et affichera les diagrammes/cartographies
3. sélectionner le type de contrainte (normales, tangentes, réduites). Les composantes des forces sectorielles prises en compte dans les calculs de la contrainte (FX, FY, FZ, MX, MY et MZ) seront sélectionnées de façon automatique
4. indiquer le type de contraintes présentées en forme des diagrammes.

Après la définition de ces paramètres et un clic sur le bouton **Appliquer**, le logiciel effectue les calculs et la boîte de dialogue affiche les valeurs des contraintes dans les barres de la structure. Le tableau de résultats présente les valeurs des contraintes appropriées.

Si vous avez modifié des paramètres dans la boîte de dialogue *Analyse des contraintes* (p. ex. vous avez changé le cas de charge ou le type de contrainte, etc.), un clic sur le bouton **Appliquer** entraîne la définition des valeurs des contraintes et de leurs diagrammes et/ou des cartographies pour les nouveaux paramètres.

Le tableau *Contraintes dans la structure* affiche les valeurs des contraintes pour les barres sélectionnées de la structure. Vous pouvez sélectionner les types de contraintes qui apparaissent dans le tableau dans la boîte de dialogue après un clic sur l'option *Colonnes* à partir du menu contextuel (bouton droit de la souris). Le logiciel peut afficher les valeurs minimum et maximum pour toutes les types de contraintes disponibles ainsi que pour les contraintes utilisateur.

A la fin du tableau, le logiciel affiche le jeu de valeurs extrêmes pour la structure entière. Pour le type de contrainte donné, les informations suivantes sont affichées :

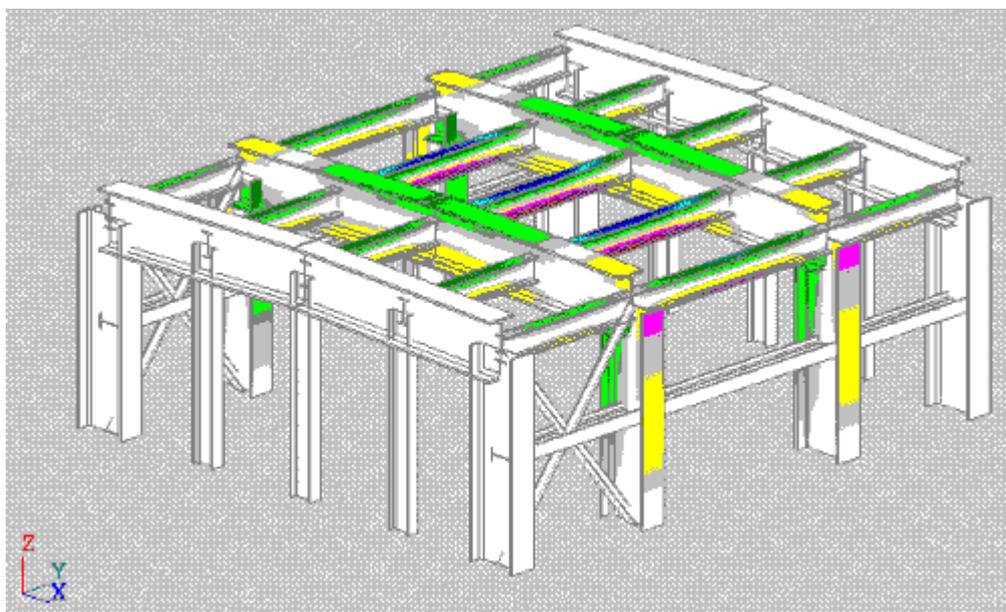
valeur extrême de la contrainte

cas pour lequel la valeur extrême de la contrainte a été obtenue

barre laquelle cette valeur concerne

position de la valeur extrême sur la longueur de la barre.

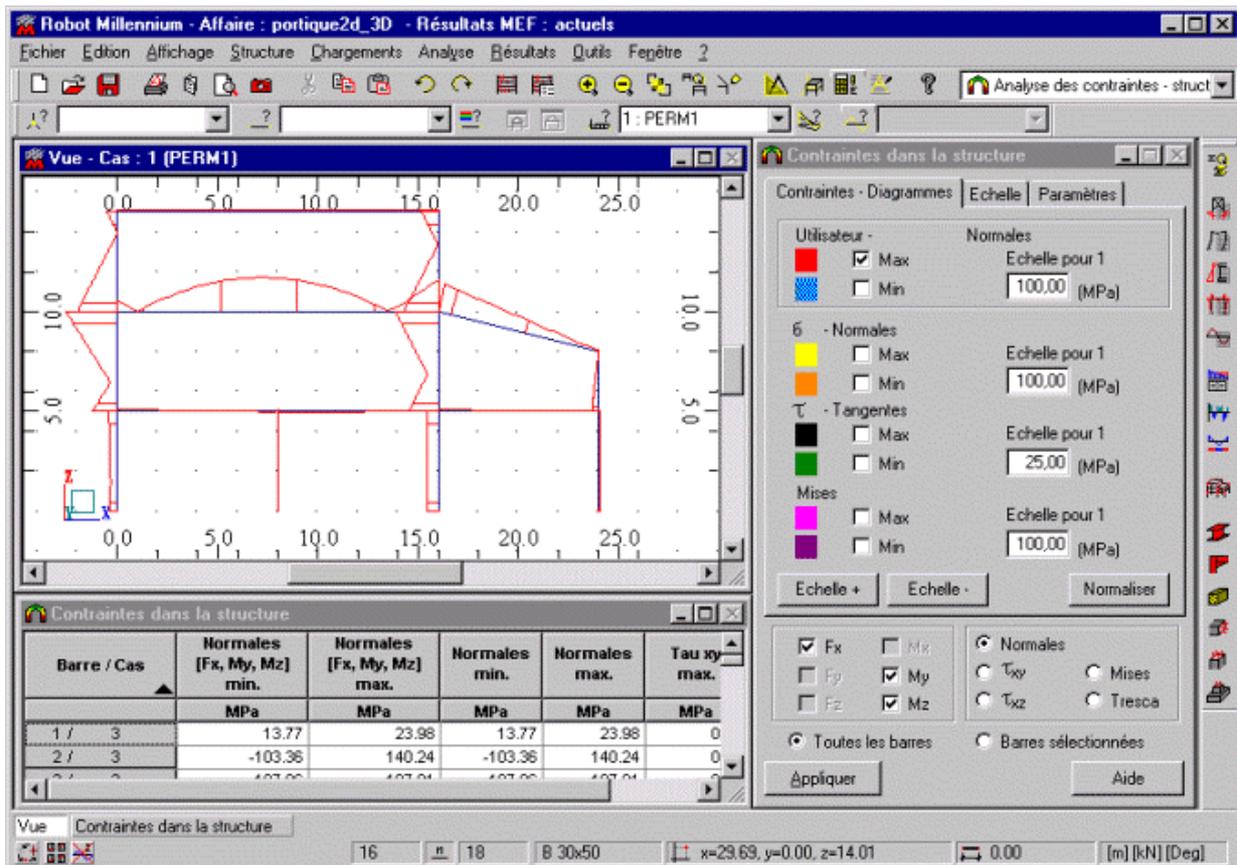
 *Vue 3D – Cartographies des contraintes* - l'option est disponible à partir du menu *Résultats/Analyse*, cette option permet de présenter la structure avec les formes des profilés et les cartographies détaillées des contraintes dans ces profilés (à titre d'exemple, la figure ci-dessous présente la structure avec les contraintes).



ATTENTION : *Les calculs des contraintes de la structure peuvent durer un peu de temps car les calculs détaillés des contraintes pour la section donnée de la barre sont complexes (cela concerne surtout les contraintes dues aux forces de torsion et les valeurs extrêmes des contraintes dans la section), les calculs. Pour cela, le logiciel possède une certaine invention permettant de réduire de façon importante la durée de l'analyse des contraintes. Chaque profilé utilisé dans la structure est analysée de façon détaillée par le logiciel Robot une seule fois. Chaque utilisation ultérieure d'un tel profilé (cela concerne également d'autres*

sessions avec Robot) n'entraîne pas des opérations qui demandent beaucoup de temps. De ce fait, le temps de calculs est réduit au minimum.

La figure ci-dessous présente le bureau **ANALYSE DES CONTRAINTE DE LA STRUCTURE** pour une structure à barres.



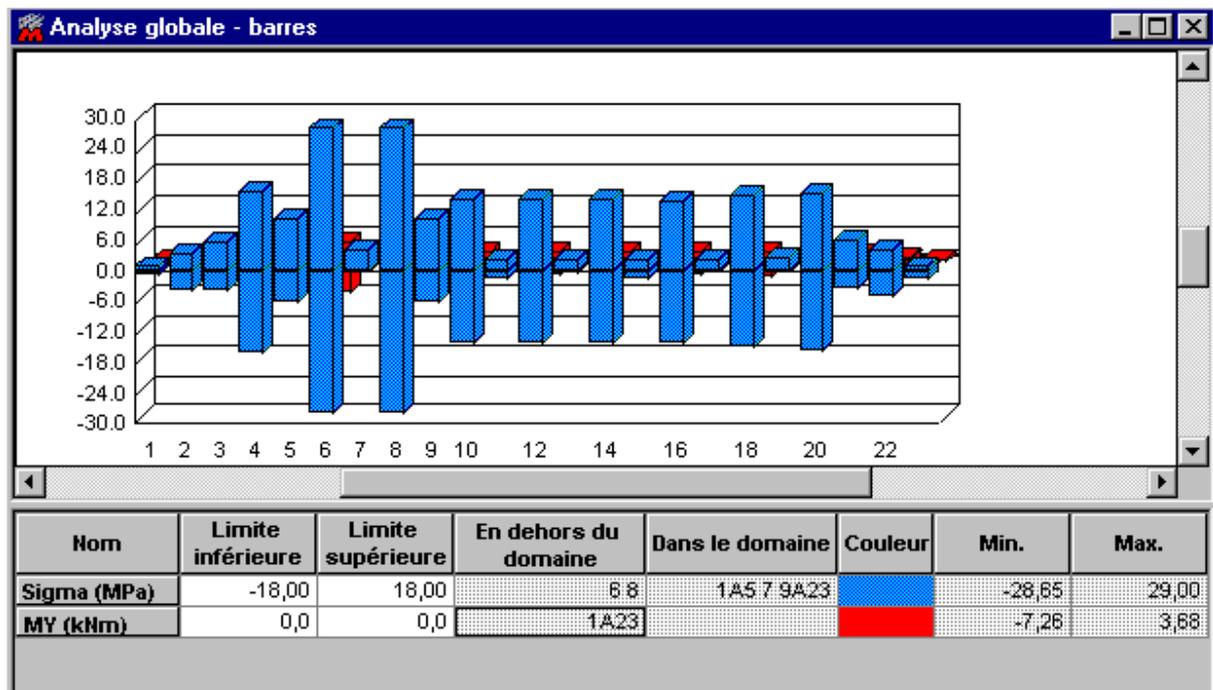
5.9. Analyse globale

L'option *Analyse globale - barres* sert à présenter les variations de la grandeur sélectionnée (déplacements, efforts internes) pour toutes les barres composant la structure étudiée.

L'option est disponible :

- dans le menu, après la sélection de la commande *Résultats/Analyse globale - barres*
- dans la barre d'outils, après un clic sur l'icône

L'option permet d'afficher sur un diagramme les valeurs minimales et maximales de la grandeur voulue pour chaque barre. Après la sélection de cette option, le logiciel affiche une boîte de dialogue auxiliaire dans laquelle vous pouvez sélectionner les grandeurs à présenter. Une fois la sélection effectuée, le logiciel crée un diagramme global pour les barres sélectionnées. A titre d'exemple, la figure ci-dessous présente les diagrammes et le tableau pour les moments et pour les contraintes extrêmes.



La partie supérieure de la fenêtre représentée ci-dessus affiche le diagramme global pour toutes les barres sélectionnées pour la présentation des grandeurs voulues. Vous pouvez modifier la forme de ce diagramme. Pour cela, cliquez du bouton droit de la souris sur le diagramme, le logiciel affichera un menu contextuel dans lequel vous devez sélectionner l'option *Type de diagramme*. Cinq types de diagrammes sont disponibles : courbes, barres verticales, barres horizontales, barres 3D verticales et barres 3D horizontales.

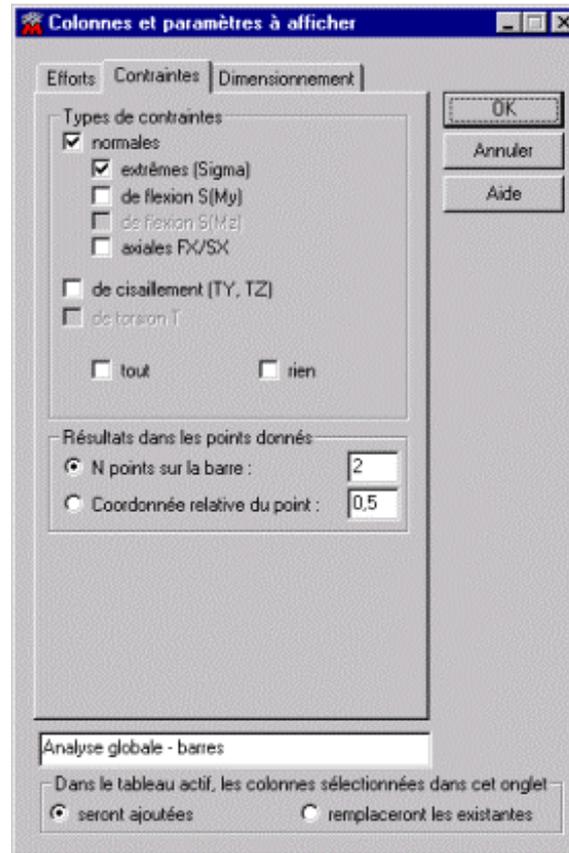
La partie inférieure de la fenêtre contient le tableau dans lequel vous pouvez trouver les informations suivantes :

- la première colonne affiche les grandeurs sélectionnées pour la présentation (efforts internes, contraintes, paramètres du dimensionnement)
- la deuxième colonne affiche la valeur de la limite inférieure ; la valeur en question permet de définir la limite inférieure pour la grandeur sélectionnée, ce qui permet de sélectionner les barres pour lesquelles les valeurs limites ont été dépassées
- la troisième colonne affiche la valeur de la limite supérieure ; la valeur en question permet de définir la limite supérieure pour la grandeur sélectionnée, ce qui permet de sélectionner les barres pour lesquelles les valeurs limites ont été dépassées
- la quatrième colonne affiche la liste des barres pour lesquelles les valeurs limites pour les grandeurs sélectionnées ont été dépassées
- la cinquième colonne affiche la liste des barres pour lesquelles les valeurs des grandeurs sélectionnées appartiennent au domaine défini par les limites inférieures et supérieures
- la sixième colonne affiche la couleur utilisée pour la présentation de la grandeur affichée sur le diagramme
- la septième et la huitième colonne affichent respectivement la valeur minimale et maximale des grandeurs sélectionnées pour la présentation calculées pour toutes les barres de la structure.

Vous pouvez sélectionner les valeurs à présenter sur les diagrammes et dans le tableau. Après un clic du bouton droit de la souris sur le tableau, le logiciel affiche le menu contextuel contenant la commande *Colonnes*. Après la sélection de cette commande, le logiciel affiche la boîte de dialogue **Résultats pour les barres** dans laquelle vous pouvez sélectionner les grandeurs à présenter. La boîte de dialogue contient trois onglets : *Efforts*, *Contraintes* et *Dimensionnement*. A titre d'exemple, la figure ci-dessous représente l'onglet *Contraintes*.

Les valeurs de la limite supérieure et inférieure pour les grandeurs spécifiques peuvent être définies de deux façons :

- en mode texte : saisissez la valeur de la limite supérieure ou inférieure dans le champ approprié dans le tableau
- en mode graphique - placez le pointeur de la souris dans la cellule appropriée du tableau (limite supérieure ou inférieure pour la grandeur sélectionnée), passez à la zone affichant le diagramme et utilisez la souris pour positionner la ligne définissant la valeur limite.



5.10. Analyse détaillée

L'option permet de présenter les résultats détaillés (diagrammes, tableaux) pour les barres sélectionnées dans la structure.

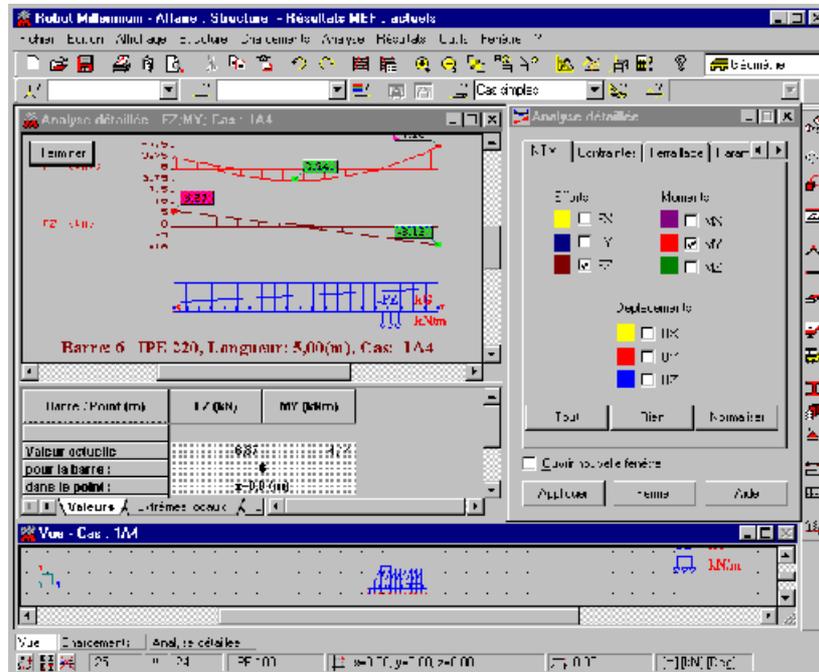
L'option est accessible de trois façons :

- après la sélection du bureau **RESULTATS / ANALYSE DETAILLEE**
- après la sélection de la commande *Analyse détaillée* dans le menu *Résultats*
- après un clic sur l'icône  disponible dans la barre d'outils

ATTENTION : Avant d'appeler cette fonction, sélectionnez une ou plusieurs barres pour lesquelles l'analyse détaillée doit être présentée.

L'option *Analyse détaillée* permet de présenter les diagrammes détaillés et les tableaux des résultats numériques pour les barres spécifiques composant la structure. Après le lancement de l'option, l'écran est divisé en trois parties principales (dessin ci-dessous) :

- boîte de dialogue *Analyse détaillée* dans laquelle vous pouvez sélectionner les grandeurs à présenter et définir le mode de leur présentation.
- tableau dans lesquels les résultats numériques des calculs seront présentés pour les barres sélectionnées dans la structure
- écran graphique sur lequel le logiciel présente les diagrammes des variations des grandeurs sélectionnées le long des barres sélectionnées de la structure.



Le tableau présente les grandeurs sélectionnées pour la présentation définies dans la boîte de dialogue *Analyse détaillée* (déplacements globaux, valeurs des efforts internes et des contraintes pour l'origine et l'extrémité de l'élément et, éventuellement pour les points intermédiaires).

Le tableau contient trois onglets :

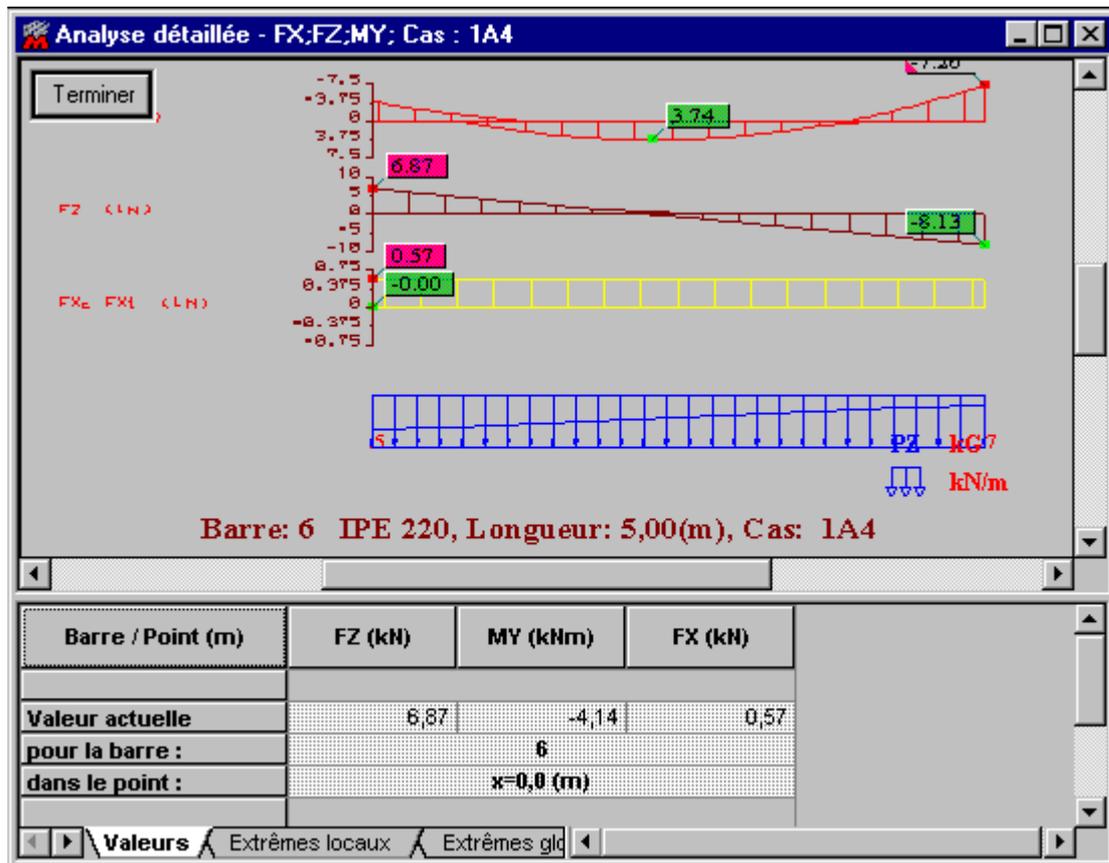
Valeurs - présente les valeurs sélectionnées pour la présentation des grandeurs dans les points sélectionnés

Extrêmes locaux - présente les extrêmes locaux des grandeurs sélectionnées pour les barres spécifiques pour lesquelles l'analyse détaillée est effectuée

Extrêmes globaux - présente les extrêmes globaux des grandeurs sélectionnées pour les barres spécifiques pour lesquelles l'analyse détaillée est effectuée. Si seulement une barre a été sélectionnée pour l'analyse détaillée, les extrêmes locaux sont égaux aux extrêmes globaux.

Dans l'onglet *Points de division* de la boîte de dialogue *Analyse détaillée*, vous pouvez définir la position des points intermédiaires pour lesquels les valeurs des grandeurs sélectionnées seront affichées.

A l'écran graphique, le logiciel présente le diagramme détaillé des variations des grandeurs sélectionnées pour le cas de charges actif (déplacements, efforts internes, contraintes). Les valeurs des efforts sont présentées conformément à la convention des signe (voir le chapitre 2.3). Si les descriptions des diagrammes sont activées, les points correspondant aux maxima et aux minima des grandeurs présentées seront affichés sur les diagrammes.

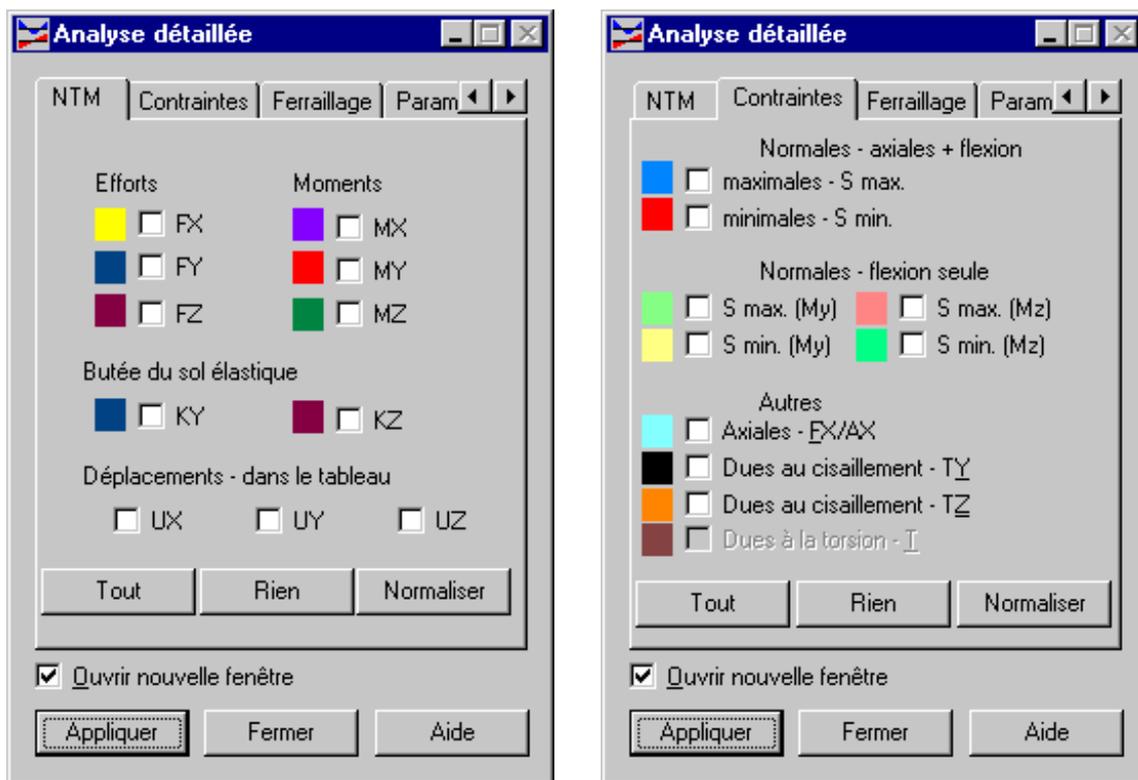


La boîte de dialogue *Analyse détaillée* est affichée après la sélection de l'option *Analyse détaillée*. Le fenêtré contient cinq onglets :

- *NTM*
- *Contraintes*
- *Ferraillage*
- *Paramètres*
- *Points de division*.

Les deux premiers onglets (*NTM* et *Contraintes*) permettent de sélectionner les grandeurs à présenter pour les barres sélectionnées. Les valeurs des grandeurs sélectionnées (déplacements, butée du sol élastique, efforts internes et contraintes) seront présentées de façon graphique à l'écran et en mode texte dans les tableaux. Vous pouvez évidemment sélectionner plusieurs valeurs à présenter pour les barres sélectionnées.

Les onglets *NTM* et *Contraintes* de la boîte de dialogue *Analyse détaillée* sont représentées sur les figures ci-dessous.



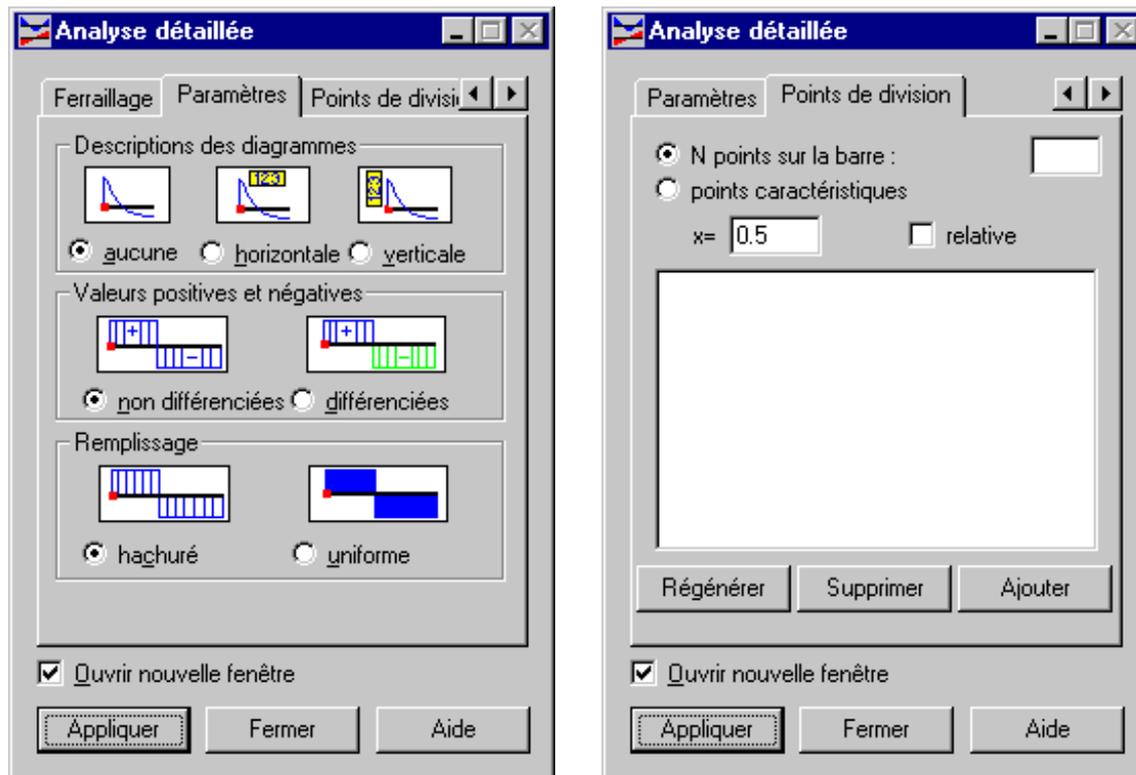
Les options disponibles dans l'onglet *Ferraillage* permettent de présenter les résultats des calculs du ferraillage théorique pour les barres BA de la structure. Vous pouvez présenter le ferraillage théorique et réel, espacement des armatures (cadres), densité du ferraillage etc.

Dans la partie inférieure de la boîte de dialogue, l'option *Présenter la valeur théorique et réelle sur le même diagramme* est disponible. Si cette option est activée, pour la grandeur sélectionnée (par exemple pour le ferraillage supérieur), un diagramme présentera deux diagrammes pour la valeur théorique et réelle (par exemple, le ferraillage théorique supérieur et la section d'acier réelle des armatures supérieures). Si cette option est désactivée, toutes les valeurs sont présentées sur des diagrammes différents.

Les deux onglets suivants de la boîte de dialogue *Analyse détaillée* permettent de définir le mode de présentation des grandeurs sélectionnées sur les diagrammes et dans les tableaux.

Dans l'onglet *Paramètres* vous pouvez définir le mode de présentation des diagrammes à l'écran graphique. L'onglet *Points de division* permet de définir les points intermédiaires sur la barre pour lesquels les tableaux afficheront les valeurs des grandeurs à présenter.

Les onglets *Paramètres* et *Points de division* de la boîte de dialogue *Analyse détaillée* sont représentés sur les figures ci-dessous.



Dans l'onglet *Paramètres*, la zone *Descriptions des diagrammes* vous permet de décider si les descriptions des valeurs seront affichées à l'écran (l'affichage horizontal et vertical est possible, vous pouvez aussi désactiver l'affichage des descriptions des valeurs).

Dans la zone *Valeurs positives et négatives*, vous pouvez décider si les valeurs positives et négatives seront affichées en couleurs différentes sur les diagrammes de la grandeur sélectionnée.

Dans l'onglet *Points de division*, vous pouvez définir les points pour lesquels les tableaux afficheront les valeurs des grandeurs sélectionnées.

Si vous sélectionnez l'option *N-points sur la barre*, dans le champ prévu à cet effet vous pourrez définir le nombre de points répartis de façon uniforme pour lesquels les résultats seront affichés (les nœuds aux extrémités sont pris en compte).

Par défaut, $N=2$, cela signifie que les valeurs des grandeurs sélectionnées ne seront présentées dans le tableau que pour les deux extrémités de la barre ; si $N=3$, un point sera ajouté au milieu de la barre (la barre sera divisée en deux segments à longueur égale) et les résultats correspondants seront affichés.

Si vous cochez la case *Caractéristiques*, vous pourrez définir les points situés sur la longueur de la barre pour lesquels les valeurs des grandeurs sélectionnées seront affichées (pour définir un tel point, saisissez la distance entre le point et l'origine de la barre en termes absolus ou relatifs).

Les descriptions suivantes seront données pour les points successifs pour lesquels les résultats seront présentés :

- AUTO - points générés automatiquement
- USER - points définis par l'utilisateur
- ZERO - points caractéristiques sur la longueur de la barre (les points pour lesquels la valeur de la grandeur sélectionnée est nulle, points des valeurs extrêmes de la grandeur sélectionnée).

La partie inférieure de la fenêtre *Analyse détaillée* (onglet *Points de division*) regroupe trois boutons :

Régénérer - après les modifications effectuées, met à jour le liste des points pour lesquels les valeurs des grandeurs sélectionnées seront présentées

Supprimer - supprime les points pour lesquels les valeurs des grandeurs sélectionnées seront présentées

Ajouter - ajoute des points pour lesquels les valeurs des grandeurs sélectionnées seront présentées.

Si vous cochez la case *Ouvrir nouvelle fenêtre*, le logiciel affichera une nouvelle fenêtre pour présenter les diagrammes des grandeurs sélectionnées dans la boîte de dialogue *Analyse détaillée*.

5.11. Lignes de l'influence

L'option permet de présenter les résultats pour les charges roulantes.

Ces résultats peuvent être affichées de deux façons :

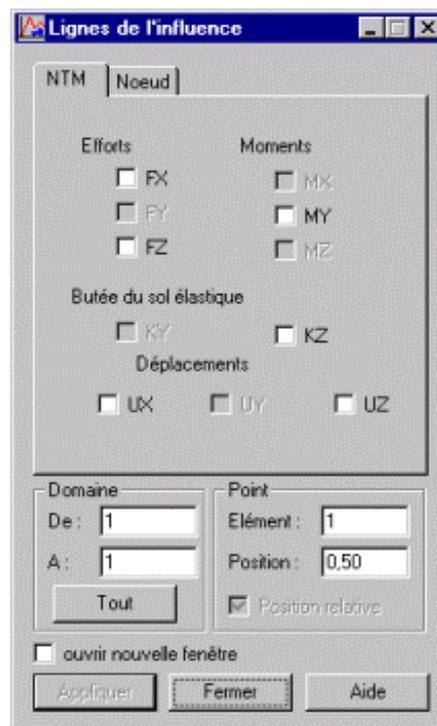
La première méthode consiste à présenter les résultats du cas statique pour la position de la charge roulante sélectionnée par l'utilisateur. Les options permettent la modification de la position de la charge roulante. Vous pouvez déplacer la charge pas à pas ou exploiter l'animation du convoi et des résultats pour la charge roulante.

La deuxième méthode consiste à présenter les modifications de la valeur sélectionnée dans le point donné lors du déplacement de la charge, c'est-à-dire à présenter les lignes d'influences de la grandeur sélectionnée.

Pour créer les lignes d'influences pour la grandeur sélectionnée, l'option *Lignes de l'influence* est utilisée, vous pouvez le faire de deux façons :

- sélectionnez la commande *Lignes d'influences* dans le menu *Avancé*, sous-menu *Résultats*
- cliquez sur l'icône **Ligne de l'influence**  disponible dans la barre d'outils

Le logiciel affiche alors le boîte de dialogue représentée ci-dessous.



Pour les structures à barres, seulement deux onglets sont disponibles dans cette boîte de dialogue, à savoir *Nœuds* et *NTM*. Pour les structures de type plaque ou coque, les onglets *Détaillés*, *Extrêmes*, *Composés* et *Paramètres* sont accessibles.

Dans ces onglets vous pouvez sélectionner les grandeurs pour lesquelles les lignes d'influences peuvent être présentées.

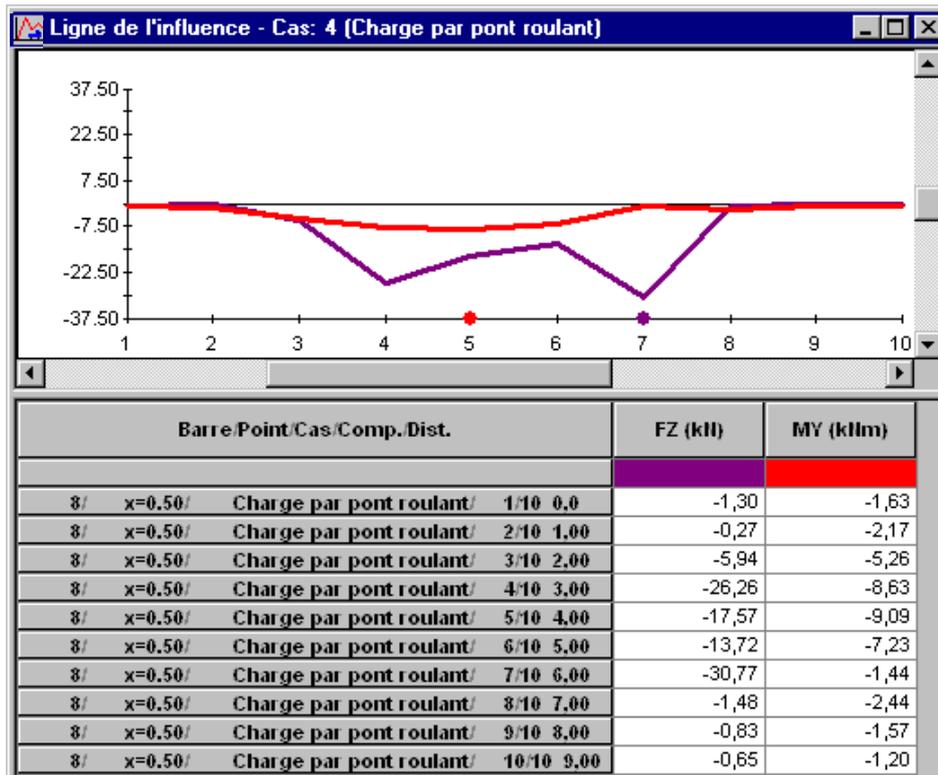
Pour afficher la ligne de l'influence d'une grandeur quelconque :

- définissez l'étendue de l'analyse (options **de** et **à**) ; un clic sur le bouton **Tout** entraîne la prise en compte de toutes les positions définies pour la charge roulante étudiée
- définissez le point pour lequel la ligne d'influence de la grandeur sélectionnée sera créée (options élément, position et position relative)
- dans les onglets de la boîte de dialogue, sélectionnez les grandeurs pour lesquelles la ligne de l'influence sera créé
- pour les structures de type plaque ou coque, définissez la surface pour laquelle la ligne de l'influence sera créé
- cliquez sur le bouton **OK**.

Le logiciel affichera une nouvelle fenêtre (conf. la figure ci-dessous) dans laquelle la ligne de l'influence pour la grandeur sélectionnée sera présentée. La fenêtre en question contient deux parties :

- le tableau présentant les valeurs numériques calculées, les informations suivantes seront présentées :
- première colonne - numéro de la barre (élément) pour laquelle la ligne de l'influence a été créée, position du point sur la barre (élément), nom du cas de charge roulante, position de la charge roulante, position de la charge sur la structure ;
- les deux ou trois colonnes suivantes (leur nombre varie en fonction du type de la structure) présentent la position du convoi dans le repère local
- les colonnes suivantes présentent les valeurs des grandeurs sélectionnées pour la création de la charge roulante.
- la partie graphique présentant les diagrammes des lignes d'influences pour les grandeurs sélectionnées.

A titre d'exemple, la figure ci-dessous présente des lignes d'influence de l'effort FZ et du moment fléchissant MY.

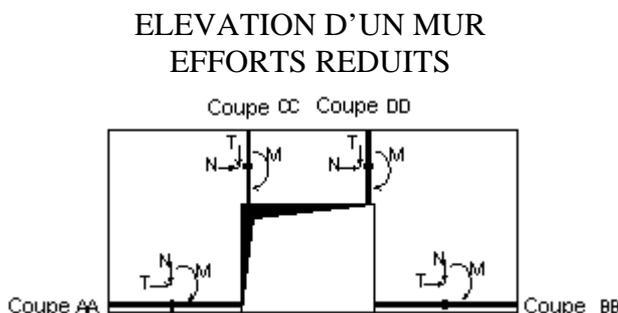


5.12. Résultats réduits pour les panneaux

Le but de ce tableau est de permettre aux utilisateurs d'extraire facilement et rapidement les résultats EF sur les panneaux pour les utiliser dans d'autres calculs.

Comment l'obtenir : menu Résultats/Résultats réduits pour les panneaux.

Par exemple, pour calculer les ferrailages à mettre en place dans les murs servant à la stabilité d'un bâtiment sous des efforts de vent ou sous les efforts sismiques, les utilisateurs doivent connaître les efforts de réduction le long de différentes coupes.



Les coupes sur lesquels les efforts de réduction doivent être récupérés peuvent être horizontales en pied de mur (voir coupe AA et coupe BB) ou verticales (voir coupe CC et coupe DD).

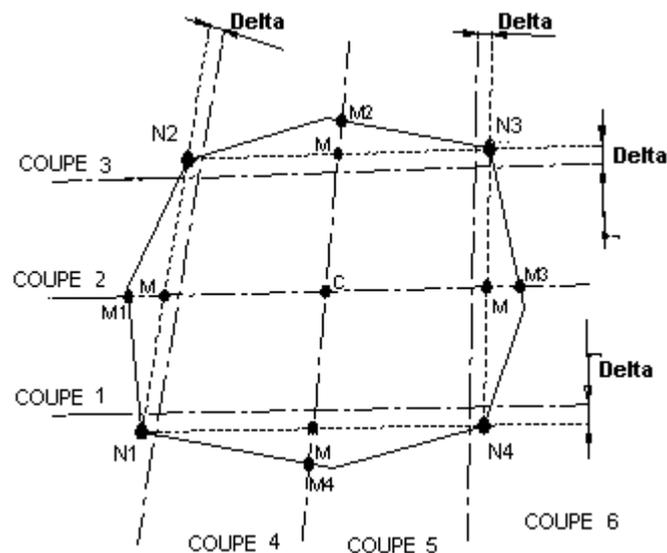
Afin d'obtenir un système d'extraction de ces efforts réduits qui soit simple et rapide à utiliser pour les utilisateurs, les voiles devront être décomposés en panneaux quadrangulaires suivant le schéma défini ci-après :



Le logiciel devra donner l'effort réduit pour les panneaux 2D de forme quadrangulaire convexe (voir figure ci-dessous). Les efforts réduits ne seront pas calculés pour les panneaux suivants :

- panneaux créés à l'aide des options d'édition : *Extrusion et Révolution*
- panneaux 3D
- panneaux de forme non quadrangulaire
- panneaux de forme quadrangulaire non convexes
- panneaux à épaisseurs variables

Localisation des coupes possibles pour les résultats réduits



Afin que les coupes 1, 3, 4 et 6 soient bien définies à l'intérieur des panneaux (manque de précision des coordonnées), il faut les décaler d'une valeur Delta par rapport aux nœuds principaux des panneaux N1, N2, N3 et N3. Cette valeur delta pourra être égale à la valeur de la tolérance utilisée dans la génération du modèle de calcul.

Position des points :

Le point M1 est le milieu du segment N1-N2.

Le point M2 est le milieu du segment N2-N3.

Le point M3 est le milieu du segment N3-N4.

Le point M4 est le milieu du segment N4-N1.

Le point C est le milieu du segment M1-M3 ou bien le milieu du segment M2-M3

Le point M1' est le point d'intersection entre la droite (M1,M3) et le bord du panneau.

Le point M2' est le point d'intersection entre la droite (M2,M4) et le bord du panneau.

Le point M3' est le point d'intersection entre la droite (M1,M3) et le bord du panneau.

Le point M4' est le point d'intersection entre la droite (M2,M4) et le bord du panneau.

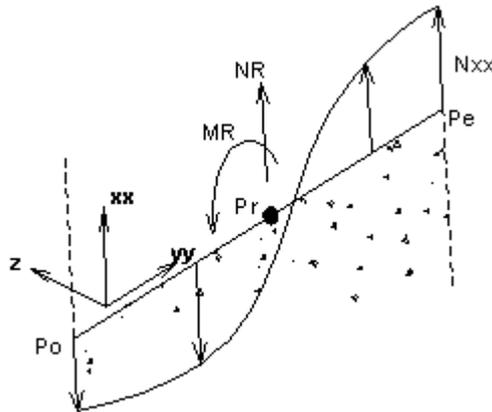
CALCUL DES RESULTAS REDUITS

Le repère de résultats est identique au repère de résultats utilisé sur les coupes de panneaux. L'origine du repère est placée sur le point Pr (point de référence) qui est confondu avec le point M1, M2, M3, M4 ou C suivant les coupes demandées.

Les points Po et Pe seront confondus avec les points N1 et N4 pour la coupe 1.
 Les points Po et Pe seront confondus avec les points N2 et N3 pour la coupe 3.
 Les points Po et Pe seront confondus avec les points N1 et N2 pour la coupe 4.
 Les points Po et Pe seront confondus avec les points N3 et N4 pour la coupe 6.
 Les points Po et Pe seront confondus avec les points M1' et M3' pour la coupe 2.
 Les points Po et Pe seront confondus avec les points M2' et M4' pour la coupe 5.

Calcul de NRx et MRz

Convention de signe des efforts réduits normaux et des moments fléchissants réduits (NRx et MRz)



$$NR_x = \int_{P_o}^{P_e} N_{xx} \cdot dy$$

$$MR_z = \int_{P_o}^{P_e} N_{xx} \cdot yy \cdot dy$$

Un moment MRz positif met en traction les fibres se trouvant du côté positif de l'axe yy.

Calcul des autres composantes de résultats

$$TR_y = \int_{P_o}^{P_e} N_{xy} \cdot dy$$

$$MR_y = \int_{P_o}^{P_e} M_{xx} \cdot dy$$

Les moments MRy suivent la même convention que les moments Mxx : Un moment MRY positif met en traction les fibres se trouvant du côté positif de l'axe z local des panneaux.

$$TR_z = \int_{P_0}^{P_e} Q_{xx} \cdot dy$$

Calcul des contraintes réduites sigma et tau

Ces composantes sont nécessaires à la justification du ferrailage à mettre en place dans les murs de contreventement en béton armé.

$$sR_o = \frac{NR_x}{e \cdot L_c} - \frac{6 \cdot MR_z}{e \cdot L_c^2}$$

$$sR_e = \frac{NR_x}{e \cdot L_c} + \frac{6 \cdot MR_z}{e \cdot L_c^2}$$

$$tR = \frac{TR_y}{e \cdot (L_c - \frac{e}{2})}$$

e étant l'épaisseur du panneau

Lc étant la longueur de la coupe

La réduction e/2 sur la longueur de la coupe permet de prendre en compte l'enrobage des aciers à placer en extrémité des murs de contreventement.

Calcul de la longueur de la coupe Lc

Cette information est généralement indispensable pour justifier le ferrailage nécessaire à mettre en place dans les murs de contreventement en béton armé.

$$L_c = \int_{P_0}^{P_e} dy = \left\| \vec{P_0 P_e} \right\| \sqrt{(X_{pe} - X_{po})^2 + (Y_{pe} - Y_{po})^2 + (Z_{pe} - Z_{po})^2}$$

Xpo, Ypo et Zpo sont les coordonnées absolues du point Po.

Xpe, Ype et Zpe sont les coordonnées absolues du point Pe.

Calcul de la hauteur des panneaux Ht

Cette information est généralement indispensable pour justifier le ferrailage nécessaire à mettre en place dans les murs de contreventement en béton armé.

Pour les coupes horizontales 1, 2 et 3, Ht sera définie par :

$$H_t = \max(L_{C4}, L_{C5}, L_{C6}) = \max(\left\| \vec{N_1 N_2} \right\|, \left\| \vec{M_2 M_4} \right\|, \left\| \vec{N_3 N_4} \right\|)$$

Pour les coupes verticales 4, 5 et 6, Ht sera définie par :

$$H_t = \max(L_{C1}, L_{C2}, L_{C3}) = \max(\left\| \vec{N_1 N_4} \right\|, \left\| \vec{M_1 M_3} \right\|, \left\| \vec{N_2 N_3} \right\|)$$

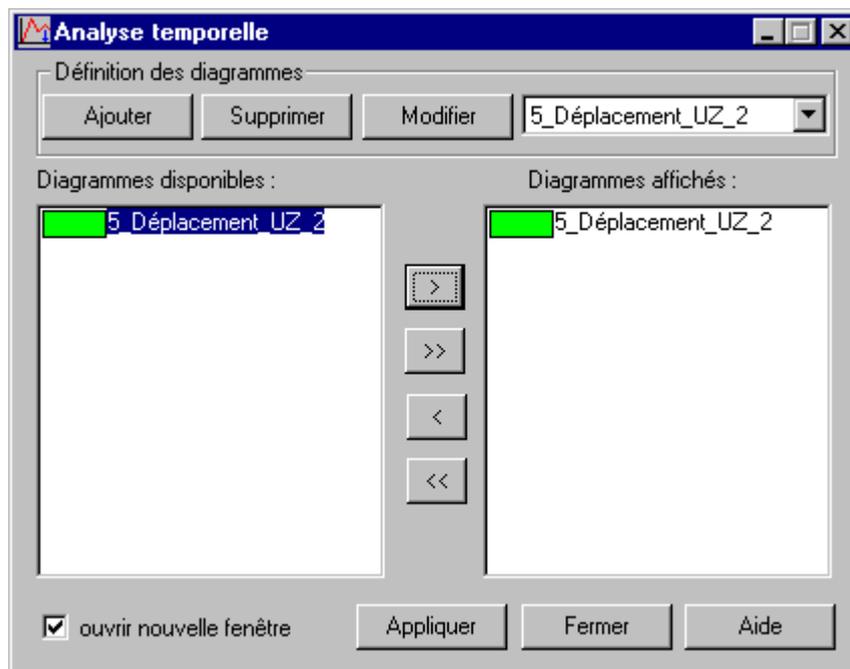
La description des sections est effectuée par rapport aux numéros N1, N2, N3 et N4 des nœuds principaux des panneaux.

Les coupes 1, 3, 4 et 6 sont décrites par N1-N4, N2-N3, N1-N2 et N3-N4.

Les coupes 2 et 5 sont décrites par N1~N2-N3~N4 et N1~N4-N2~N3.

5.13. Diagrammes de l'analyse temporelle / analyses avancées

Les résultats de l'analyse temporelle peuvent être présentés sous forme graphique, en tant que diagrammes, cartographies, déformations de la structure. Les diagrammes sont présentés pour une enveloppe ou pour chacune des composantes temporelles. Si vous sélectionnez le cas auxiliaire (+/-), ce sont les enveloppes qui seront affichées. Par contre, si vous sélectionnez le cas principal, les résultats pour la composante simple dans les intervalles respectifs sont accessibles. Après la sélection de l'option *Avancé/Analyse temporelle* du menu *Résultats*, la boîte de dialogue ci-dessous s'affiche à l'écran :



Les résultats de l'analyse temporelle en forme graphique sont présentés en tant que diagrammes de la grandeur sélectionnée, par rapport à la variable temporelle pour le cas d'analyse temporelle sélectionné. Les diagrammes sont affichés dans une nouvelle fenêtre graphique "Analyse temporelle" dans laquelle les diagrammes et le tableau contenant la description des diagrammes sont présentés.

Dans la boîte de dialogue sur la figure ci-dessus, vous trouverez les options suivantes :

dans la zone *Définition des diagrammes* :

boutons :

- **Ajouter** - un clic sur ce bouton ouvre la boîte de dialogue de définition d'une nouvelle fonction

- **Modifier** - un clic sur ce bouton ouvre la boîte de dialogue de définition de la fonction (modification de son nom ou de la valeur sélectionnée sur la liste déroulante)
- **Supprimer** - un clic sur ce bouton supprime la définition de la fonction sélectionnée dans la liste.

la partie inférieure de la boîte de dialogue contient deux panneaux : un affiche les diagrammes définis (*Diagrammes disponibles*), l'autre présente les diagrammes choisis pour affichage (*Diagrammes affichés*).

Les boutons standard entre les deux panneaux servent à transférer les éléments entre les panneaux :

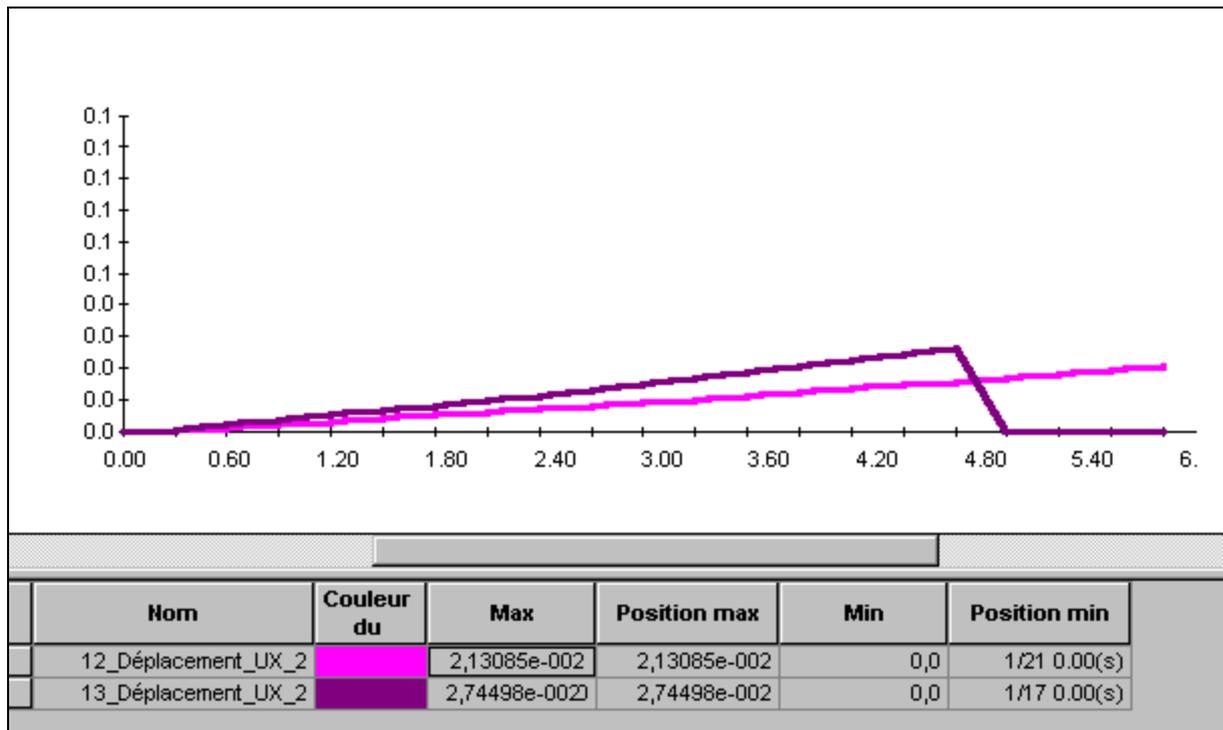
- > - un clic sur ce bouton déplace le diagramme sélectionné vers le panneau droit
- >> - un clic sur ce bouton déplace tous les diagrammes vers le panneau droit
- < - un clic sur ce bouton supprime le diagramme sélectionné du panneau droit
- << - un clic sur ce bouton supprime tous les diagramme du panneau droit

Le panneau dans lequel les diagrammes définis sont présentés, contient deux types de fonctions : premièrement, ce sont toutes les fonctions définies par l'utilisateur qui se trouvent sur la liste déroulante située dans la partie supérieure de la boîte de dialogue, deuxièmement - les fonctions temporelles définies en tant que données pour l'analyse temporelle dans la boîte de dialogue Options de calculs (elles sont transférées par défaut à partir de la définition du cas).

Ouvrir nouvelle fenêtre - l'activation de cette option ouvre la vue contenant les diagrammes dans une nouvelle fenêtre graphique.

Après la définition des diagrammes et leur transfert vers le champ *Diagrammes affichés* dans la boîte de dialogue *Analyse temporelle*, un clic sur le bouton **Appliquer** affiche la vue contenant les diagrammes choisis.

Sur la figure ci-dessous, nous présentons l'exemple du diagramme pour le cas d'analyse temporelle.



La partie supérieure de la vue contient les diagrammes des valeurs sélectionnées, situées sur le même dessin. L'abscisse est la variable du temps. La partie inférieure contient le tableau avec la description des diagrammes et les valeurs extrêmes de grandeurs sélectionnées.

Si vous mettez le pointeur sur le tableau et, ensuite, cliquez sur le bouton droit de la souris, le logiciel affiche le menu contextuel dans lequel vous pouvez sélectionner l'option *Colonnes*. Après avoir activé cette option, dans la boîte de dialogue qui s'affiche, vous pouvez sélectionner les valeurs à afficher dans les tableaux pour le cas d'analyse temporelle.

Le menu contextuel contient aussi les options suivantes (menu *Diagrammes - propriété*) :

Afficher les lignes principales de la grille - activation/désactivation de l'affichage des lignes principales de la grille sur le diagramme du cas d'analyse temporelle

Afficher les lignes intermédiaires de la grille - activation/désactivation de l'affichage des lignes intermédiaires de la grille sur le diagramme du cas d'analyse temporelle

Intervalle automatique – l'activation de cette option ajuste l'intervalle sur les axes des coordonnées du diagramme à l'intervalle de la variable de temps et de la grandeur sélectionné

Définir l'intervalle utilisateur - permet de définir l'intervalle de temps pour lequel le diagramme du cas d'analyse temporelle sera présenté.

Pour le cas d'analyse temporelle, à part le cas principal, deux cas auxiliaires contenant l'enveloppe supérieure (+) et inférieure (-) sont générés. Après la sélection du cas principal, les résultats pour les composantes respectives du cas combiné sont accessibles.

Dans la boîte de dialogue ci-dessus, vous pouvez sélectionner les valeurs qui seront présentées dans le tableau de l'analyse temporelle (tableau nœuds de la structure) : composantes des accélérations et composantes de la vitesse pour le cas de l'analyse temporelle.

ATTENTION : Si le nombre d'intervalles est important, vous pouvez obtenir une grande quantité de résultats. Dans ce cas, il est conseillé de limiter le contenu des tableaux de résultats, pour cela, vous pouvez utiliser l'option qui se trouve dans l'onglet Filtres-résultats de la boîte de dialogue Options de calcul.

Si vous n'avez pas sélectionné le seul cas combiné d'analyse temporelle, les résultats affichés dans le tableau concernent les cas auxiliaires de l'enveloppe supérieure (+) et inférieure (-). Par contre, si vous avez sélectionné le seul cas combiné d'analyse temporelle, les résultats pour les composantes respectives sont accessibles. Dans la première colonne du tableau, les informations suivantes sont présentées :

Nœud	Cas	Composante	Temps(s)
par exemple :			
1	analyse temporelle	2/100	0.0

ATTENTION : Dans le tableau de réactions, les résultats sont présentés de la même manière que dans le tableau de déplacements. Dans le cas de l'analyse temporelle, il n'est pas nécessaire de présenter l'équilibre de forces et de réactions pour les pas temporels successifs.

Dans le tableau d'analyse temporelle pour les barres et les éléments surfaciques, les valeurs sont présentées de la même façon que pour les nœuds. La première colonne contient le numéro de la composante du cas et le pas de la variable temporelle.

Les résultats de l'analyse temporelle peuvent être également présentés après la sélection de l'option *Résultats/Avancé/Diagrammes*. Cette option permet de définir et de présenter les diagrammes pour les cas de l'analyse non-linéaire, temporelle et PushOver. Les diagrammes présentent différentes grandeurs (p. ex. déplacements, efforts internes, contraintes) collectées en pas/incréments successifs de l'analyse non-linéaire et PushOver ou incréments successifs du temps dans le cas de l'analyse temporelle. Les résultats peuvent être affichés en fonction des incréments successifs (pas itératifs ou temporels) et en fonction des autres grandeurs. Les diagrammes peuvent être affichés pour un cas de charge simple ou pour plusieurs cas sélectionnés. Dans le cas où vous avez sélectionné différents types de cas de charge (la sélection contient, par exemple, les cas d'analyse non-linéaire, temporelle et analyse PushOver), les diagrammes peuvent être affichés uniquement pour un type d'analyse.

ATTENTION : Sur le diagramme, vous pouvez afficher 'n' différentes grandeurs (présentées sur l'axe vertical Y) en fonction d'une seule grandeur qui se trouve sur l'axe horizontal X.



ATTENTION : Si vous avez sélectionné plusieurs cas de charge, chaque diagramme défini est affiché pour les cas successifs (c'est-à-dire, 'n' différents diagrammes créés) ; l'étendue sur l'axe X est définie par <min,max> parmi tous les cas de charge ; par contre, l'étendue sur l'axe Y est définie par <min,max> parmi tous les cas de charge (respectivement pour chaque type d'ajustement).

6. DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES

6.1. Dimensionnement acier / aluminium

Dans le système *Robot Millennium*, le dimensionnement des barres des structures acier peut être effectué suivant plus d'une norme acier.

La liste des normes acier disponibles actuellement dans le logiciel est représentée ci-dessous :

- Eurocode 3
- CM66 (France)
- Add80 (France)
- Eurocode 3 (des normes EC3 avec DAN sont disponibles: français, anglais, allemand, belge, hollandais, suédois, finnois)
- NEN6770/6771(Pays Bas)
- PN90/B-03200 (Pologne)
- LRFD et LRFD nouvelle édition (Etats-Unis)
- ASD (Etats-Unis)
- EIA (Etats-Unis)
- DIN 18800 (Allemagne)
- BS 5950 (Grande-Bretagne) et BS 5950:2000
- CNR-UNI 10011 (Italie)
- SABS 0162-1:1993 (Afrique du Sud)
- MV 103-1972 et (NBE EA-95) (Espagne)
- CAN/CSA-S16.1-M89 (Canada)
- BSK 99 (Suède)
- norme norvégienne CNS 34
- norme russe SniP-II-23-81.

Dans le logiciel, une norme de dimensionnement des éléments des structures aluminium est disponible, à savoir la norme française AL76. Lors du dimensionnement des éléments des structures aluminium, le mode de procéder est le même que lors du dimensionnement des éléments des structures acier.

Le procédé d'étude d'une structure comprend plusieurs étapes : la géométrie de la structure et les charges appliquées sont d'abord définies par l'utilisateur, ensuite les efforts internes et les déplacements sont calculés ; pour terminer, les conditions réglementaires sont vérifiées et les éléments spécifiques de la structure sont vérifiés. Le dimensionnement peut concerner des barres spécifiques ou les familles de barres.

En fonction de la norme acier sélectionnée, le nombre des paramètres définis avant le dimensionnement des éléments peut varier mais les définitions de base (notion de pièce et de famille) utilisées dans le module sont indépendantes de la norme acier sélectionnée. Les définitions suivantes sont utilisées :

Pièce : La pièce est un élément de base utilisé lors de la vérification/dimensionnement dans le module. En général, les pièces considérées en tant qu'éléments de construction appartiennent à un type défini - poutre, poteau, panne, contreventement etc. Lors de la vérification/dimensionnement, dans certains cas, la pièce est définie comme une file d'éléments formant une poutre ou un poteau de la structure.

Famille : La famille est un ensemble de pièces formant la structure auxquelles vous voulez affecter la même section. Après la vérification ou le dimensionnement de la famille, on sélectionne la section qui est correcte pour toutes les barres appartenant à la famille (indépendamment des différences concernant les valeurs des efforts internes dans ces barres, de même les paramètres de l'étude ne sont pas pris en compte). Les familles sont définies afin de réduire la diversité des sections utilisées dans la structure étudiée.

Après la sélection du bureau *Dimensionnement acier*, la fenêtre de **Robot Millennium** se divise en trois parties : éditeur graphique (la fenêtre dans laquelle la structure est affichée) et deux boîtes de dialogue : **Définitions** et **Calculs**.

La boîte de dialogue **Définitions** comprend deux onglets : *Familles* et *Pièces* représentés sur la figure ci-dessous.

Après la définition des pièces et des familles, il est possible de les vérifier ou de les dimensionner. Après un clic sur le bouton **Paramètres** affiché dans l'onglet *Pièces*, le logiciel ouvre la boîte de dialogue **Paramètres** (l'aspect de cette boîte de dialogue varie en fonction de la norme sélectionnée).

Dans cette boîte de dialogue vous pouvez définir les paramètres réglementaires stipulés par la norme acier sélectionnée, à savoir : les longueurs de flambement, paramètres de flambement, paramètres de déversement, conditions de rigidité etc.



Une des fonctionnalités intéressantes du système ROBOT est la possibilité d'étudier les structures en utilisant les profilés paramétrés à inertie variable. L'option est accessible après un clic sur le bouton **Sect. Param.** disponible dans la boîte de dialogue *Définitions*. L'option est disponible pour les profilés acier de même que pour les profilés bois. L'aspect de la boîte de dialogue varie en fonction du matériau de la barre (barre acier ou barre bois).

Deux types de profilés peuvent être sélectionnés (la sélection est effectuée dans le champ *Type de section* dans la partie droite, en haut de la boîte de dialogue) :

Profilés acier



section en I



section caisson (tube rectangulaire)

Profilés bois



section rectangulaire



section moisée.

Dans la zone *Définition des sections* vous pouvez définir les dimensions des sections acier et bois. Pour commencer la définition d'une nouvelle section, cliquez sur le bouton **Nouveau**. Le tableau affichera alors une nouvelle ligne dans laquelle vous devez saisir les dimensions appropriées. Un clic sur les boutons **Supprimer** et **Supprimer tout** entraîne respectivement la suppression du profilé mis en surbrillance ou la suppression de toutes les sections.

Deux types de sections sont disponibles :

- *section variable (dH)*
- *section variable (auto)*.

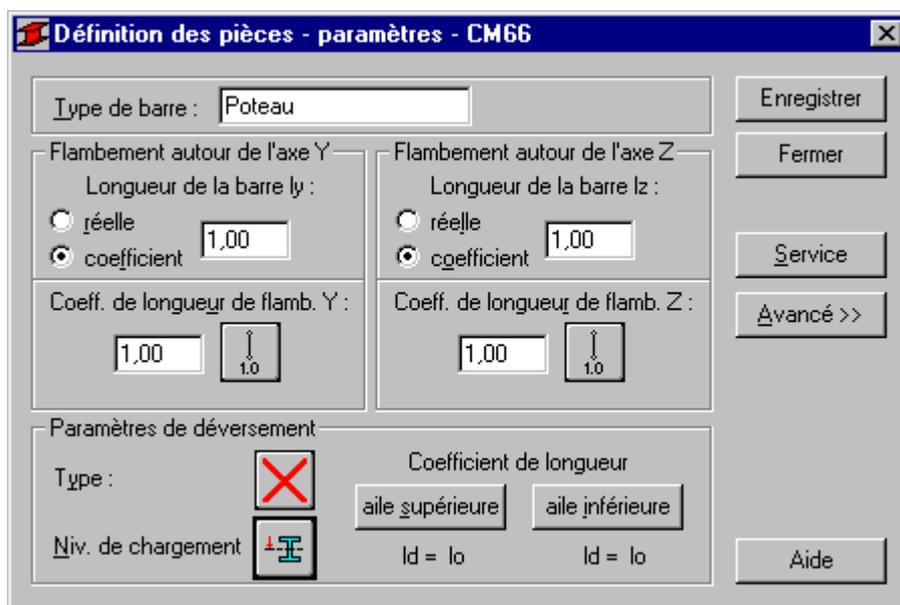
De plus, pour les profilés bois, l'option *section constante* est accessible.

Pour que les profilés définis soient pris en compte, il faut les transférer dans le champ *Sections prises dans les calculs*.

A titre d'exemple, les figures ci-dessus présentent la boîte de dialogue *Définitions* pour la norme acier française CM66.

Le champ *Type de barre* affiche le nom du type de barre sélectionné (dans ce champ vous pouvez saisir un nom quelconque).

Pour visualiser et/ou modifier le type de barre actif, cliquez sur le bouton Paramètres, la boîte de dialogue suivante s'ouvre :



Dans les zones *Longueur de la barre en Y* et *Longueur de la barre en Z*, vous pouvez définir la longueur de la barre, vous pouvez le faire de deux façons :

- après la sélection de l'option *Réelle*, la valeur saisie est interprétée directement comme longueur
- après la sélection de l'option *Coefficient*, la valeur saisie est interprétée comme facteur par lequel la longueur réelle sera multipliée pour obtenir la valeur voulue. Par exemple, si vous saisissez la valeur 0.25, la valeur obtenue sera égale à un quart de la longueur réelle.

Le deuxième mode de définition est très commode pour la définition simultanée de plusieurs barres dont les longueurs réelles sont différentes et dont les appuis sont disposés de la même façon.

Si vous voulez enregistrer les paramètres saisis en tant que catégorie, cette façon de définir la longueur est indispensable. La saisie de la valeur 1.0 garantit que chaque barre définie en tant que Ly à l'aide de cette catégorie prendra la longueur réelle.

Dans le champ *Coefficient de flambement*, vous pouvez définir les longueurs de flambement de la barre en deux directions.

Le logiciel propose automatiquement la longueur réelle de la barre (ou, éventuellement, la longueur totale des barres composantes).

Le coefficient de longueur de flambement dépend des conditions d'appui des nœuds aux extrémités de la barre, situés dans le plan du flambement. La longueur de flambement de la barre peut être définie dans la boîte de dialogue *Conditions de flambement* qui s'ouvre après un clic sur l'icône représentant de façon schématique le modèle de flambement sélectionné.

La boîte de dialogue *Conditions de flambement* propose les conditions d'appui typiques, après la sélection d'un des modèles la valeur du coefficient sera calculée ou prise de façon automatique.

Actuellement dans le logiciel il est possible de définir les paramètres des raidisseurs limitant la longueur de flambement (dans les deux directions) et la longueur de déversement de la barre (séparément pour l'aile inférieure et supérieure). Grâce à cela, lors de l'analyse l'utilisateur peut lire facilement les jeux de moments fléchissants dans les points caractéristiques de la barre. Les options disponibles dans le logiciel permettent également de définir les coefficients de longueur de flambement et/ou de déversement pour les tronçons de la barre entre les raidisseurs.

L'option est disponible après un clic sur l'icône  disponible dans la boîte de dialogue *Modèles de flambement*.

Dans le logiciel, vous pouvez aussi calculer le coefficient de flambement de la barre principale à base des paramètres des barres aboutissantes.

L'option est accessible après un double clic sur une des icônes , ,  disponibles dans la boîte de dialogue *Conditions de flambement*.

Les paramètres des barres aboutissantes peuvent être définis dans la boîte de dialogue représentée sur la figure ci-dessous (à titre d'exemple, la boîte de dialogue pour trois barres aboutissantes a été prise).



Dans cette boîte de dialogue vous pouvez définir les informations nécessaires sur la barre aboutissant à la barre principale. Dans les champs appropriés, vous devez saisir les informations suivantes :

- le numéro de la barre (ou pièce) aboutissante (dans la deuxième colonne, le logiciel affiche automatiquement le profilé de la barre sélectionnée) ; vous pouvez saisir le numéro de la barre aboutissante dans le champ d'édition approprié ou effectuer la sélection graphique dans la zone graphique.
- la position de la barre dans la structure, deux situations sont possibles : le profilé est positionné soit verticalement  soit horizontalement .

Pour un certain nombre de normes (ADD8, Eurocode3, NEN6770/6771, PN90), il faut définir encore un paramètre, à savoir les conditions d'appui de la deuxième extrémité de la barre aboutissante. Les types d'appui disponibles pour la deuxième extrémité de la barre aboutissante dépendent de la norme acier sélectionnée.

Vous pouvez aussi définir manuellement les paramètres des barres aboutissantes, vous pouvez le faire dans la boîte de dialogue appropriée.

Dans le champ *Paramètres de déversement*, vous pouvez sélectionner les options utilisées lors de la vérification du déversement de la barre, à savoir le type de déversement, le niveau de charge et le coefficient de longueur de déversement. Un clic sur l'icône appropriée ouvre la boîte de dialogue de définition des paramètres correspondants.

L'option *Type de déversement* sert à définir les paramètres réglementaires demandés en fonction du schéma statique de la barre. Conformément aux conditions réglementaires, vous devez sélectionner un des modèles prévus par la norme.

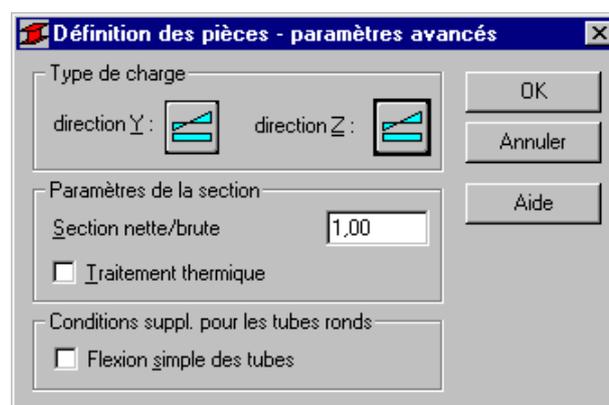
Les modèles sous forme d'icônes représentent exactement les modèles réglementaires. Si vous voulez que les effets de déversement ne soient pas pris en compte lors des calculs, vous devez sélectionner la dernière icône, le déversement ne sera pas alors pris en compte lors des calculs.

Le calcul en déversement demande la définition de la distance entre les sections protégées contre la torsion c'est-à-dire la longueur de déversement.

Vu que l'aile inférieure et l'aile supérieure peuvent être montées séparément et que dans les cas de charges différents les contraintes de compression peuvent apparaître dans l'aile supérieure ou dans l'aile inférieure, on distingue deux longueurs de déversement.

On définit le coefficient multiplicateur de la longueur de base de la barre pour obtenir la longueur de flambement. Comme longueur de base, on prend la longueur l_z . Vous pouvez saisir la valeur du coefficient directement ou sélectionner l'icône avec les conditions d'appui typiques pour lesquelles le coefficient sera pris de façon automatique.

Un clic sur le bouton **Avancé** ouvre la boîte de dialogue auxiliaire dans laquelle vous pouvez définir les autres paramètres du type de barre définis dans la norme, à savoir le type de charge, les paramètres de la section et les déplacements limites.



La boîte de dialogue *Calculs* se présente quant à elle de la façon suivante :



Dans la zone *Option de vérification* vous pouvez sélectionner :

- ***vérification des pièces*** - la vérification des pièces consiste à effectuer successivement des calculs indépendants pour chaque pièce appartenant à la liste. La vérification de la pièce consiste à trouver le point appartenant à la barre et le cas de charge pour lesquels les paramètres réglementaires sont les plus défavorables. Vous devez définir le nombre des points pris en compte lors des calculs, de même vous devez établir la liste des cas de charge pris en considération. Autrement dit, la vérification consiste à contrôler les profilés sélectionnés avant le calcul, pour les efforts internes donnés, qui satisfont les conditions réglementaires. A la suite d'une telle sélection, la section est qualifiée comme correcte, incorrecte ou instable.
- ***vérification des familles*** - la vérification des familles consiste à effectuer successivement des calculs indépendants pour chaque pièce appartenant à la famille (Vérification des pièces). Lors des calculs, les caractéristiques du matériau adoptées pour la famille donnée sont prises en compte.
- ***dimensionnement des familles*** - Le dimensionnement consiste à réviser successivement l'ensemble des profilés créés préalablement par la définition de la famille et à rejeter les profilés qui ne satisfont pas les conditions réglementaires. L'élimination de profilés est poursuivie jusqu'au moment où le premier profilé satisfaisant les conditions réglementaires soit trouvé. Le procédé décrit est effectué séparément pour chaque famille de profilés appartenant à la famille analysée. Les calculs réglementaires de chaque profilé sont effectués de façon successive pour les points intermédiaires situés sur la longueur de la barre, pour tous les cas de charge successifs, pour tous les composants de la pièce et pour toutes les pièces appartenant à la famille. Si le profilé donné ne remplit pas les conditions réglementaires pour un point intermédiaire quelconque, un cas de charge etc., le profilé est éliminé et la vérification est poursuivie pour le profilé suivant dans la liste des profilés formant la famille. Ce procédé est poursuivi jusqu'à ce que tous les profilés de la liste de profilés soient vérifiés. Afin de commencer les calculs en mode de dimensionnement, il faut qu'au moins une famille soit définie. Le dimensionnement peut

être effectué pour plusieurs familles, dans un tel cas le procédé décrit ci-dessus est effectué pour chaque famille séparément.

Si vous activez l'option *Optimisation*, après un clic sur le bouton **Options**, la boîte de dialogue auxiliaire *Options d'optimisation* est affichée.

Dans cette boîte de dialogue, vous pouvez sélectionner les options d'optimisation suivantes pour le calcul des familles de barres:

- *poids* - si vous sélectionnez cette option, l'optimisation prendra en compte le poids du profilé, par conséquent le profilé le plus léger satisfaisant les conditions réglementaires sera recherché dans la famille donnée
- *hauteur max. de la section* - si vous sélectionnez cette option, l'optimisation prendra en compte la hauteur maximale de la section dont la valeur peut être spécifiée dans le champ d'édition affiché à droite de l'option.
- *hauteur min. de la section* - si vous sélectionnez cette option, l'optimisation prendra en compte la hauteur minimale de la section dont la valeur peut être spécifiée dans le champ d'édition affiché à droite de l'option.
- *épaisseur min. de la semelle* - si vous sélectionnez cette option, l'optimisation prendra en compte l'épaisseur minimale de la semelle de la section dont la valeur peut être spécifiée dans le champ d'édition affiché à droite de l'option.
- *épaisseur minimale de l'âme* - si vous sélectionnez cette option, l'optimisation prendra en compte l'épaisseur minimale de l'âme de la section dont la valeur peut être spécifiée dans le champ d'édition affiché à droite de l'option.

Dans la partie inférieure de la boîte de dialogue, l'option *Calculs pour le jeu complet de sections* est disponible. Si cette option est activée, lors des calculs, la totalité de la base de profilés accessible sera scannée afin de retrouver le profilé optimal (cela est particulièrement important si les profilés dans la base ne sont pas triés dans l'ordre ascendant c'est-à-dire que chaque profilé suivant est « plus grand » que le profilé suivant.)

Dans la partie inférieure de la boîte de dialogue *Calculs*, le bouton **Paramétrage** est disponible. Un clic sur ce bouton ouvre la boîte de dialogue *Paramétrage du calcul réglementaire* dans laquelle vous pouvez définir les paramètres utilisés lors de la vérification de la barre acier. Dans cette boîte de dialogue, vous pouvez définir les paramètres de calculs suivants :

- les points de calcul peuvent être calculés de deux manières :
 - = par la saisie du nombre de points sur la longueur de la barre (points répartis de façon uniforme sur la longueur de la barre) - option *Nombre de points*
 - = par la saisie des coordonnées des points caractéristiques; pour cela, vous devez activer l'option *Points caractéristiques* et cliquer sur le bouton **Option**; le logiciel affiche alors la boîte de dialogue *Calculs dans les points caractéristiques*.
- Taux de travail - ce paramètre définit le coefficient multiplicateur pour la limite de plasticité (agrandissement ou réduction de la limite de plasticité)
- Elancement maximal - si vous cochez cette case, l'élancement de la barre est vérifiée. De plus, vous pouvez spécifier la valeur admissible de l'élancement.

Si l'option *Barres composant la pièce non prises en compte* est activée, les barres composant les pièces composées ne seront pas prises en compte dans les calculs des pièces en question. Dans la partie centrale de la boîte de dialogue, vous pouvez sélectionner les efforts internes qui seront pris en compte dans les calculs réglementaires des barres ; si vous activez l'option (p. ex. Fx), l'effort Fx est pris en compte dans les calculs.

De plus, vous pouvez sélectionner les unités pour la présentation des résultats du dimensionnement des barres. Pour afficher les résultats, vous pouvez sélectionner soit les unités utilisées dans la norme acier sélectionnée soit les unités utilisées dans le système

Robot.

La partie inférieure de la boîte de dialogue contient la liste de sélection du cas de charge (charges permanentes) pour lequel les déplacements définis sont considérés comme les contreflèches de la structure. Pour cela, vous devez activer l'option *Prendre en compte les flèches dues au cas*.

La partie inférieure de la boîte de dialogue **Calculs** affiche deux zones : *Charges* et *Etat limite*. La première des zones affiche les options :

- liste de cas de charge - dans ce champ le logiciel affiche les cas de charge sélectionnés qui seront pris en compte lors des calculs des pièces. Dans ce champ, vous pouvez aussi saisir des numéros de cas de charge (y compris les combinaisons ou l'ELU et l'ELS provenant des pondérations).
- bouton sélectionner cas de charge - un clic sur ce bouton ouvre la boîte de dialogue auxiliaire **Sélection de cas de charges**, dans laquelle vous pouvez sélectionner les cas de charge pris en compte lors des calculs des pièces.

Les calculs peuvent être effectués pour l'état limite ultime et pour l'état limite de service.

Un clic sur le bouton **Calculer** lance la vérification ou le dimensionnement des pièces acier selon les paramètres définis dans les boîtes de dialogue **Définition** et **Calculs**. Une fois les calculs terminés, le logiciel affiche la boîte de dialogue de résultats simplifiés. Cette boîte de dialogue comprend deux onglets : *Résultats* et *Messages*. Le deuxième onglet affiche les informations générales concernant les avertissements et les erreurs qui ont eu lieu lors de la vérification/dimensionnement des barres de la structure. Un clic sur la section affichée dans l'onglet *Résultats* de cette boîte de dialogue ouvre la boîte de dialogue de résultats détaillés.

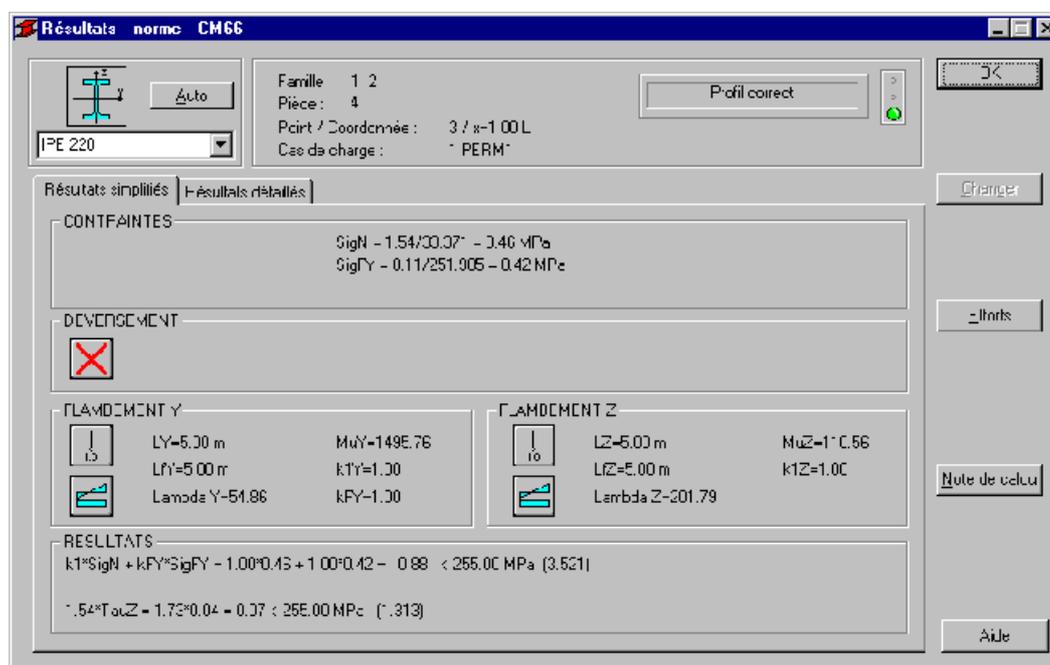
Il y a de légères différences dans le mode d'affichage des Résultats simplifiés pour les autres types des calculs effectués :

- Vérification d'une liste de barres ou de familles : le logiciel affiche seulement une ligne pour chaque barre ou famille incluse dans la liste. Les profilés qui satisfont les conditions réglementaires sont accompagnés du symbole , ceux qui ne satisfont pas les conditions réglementaires sont accompagnés du symbole . Les profilés instables sont accompagnés de l'icône  ou . Le premier icône signifie que la barre ou la famille de barres est instable, le deuxième icône signifie que la barre ou la famille de barres est instable et le taux de travail est supérieur à 1.0.

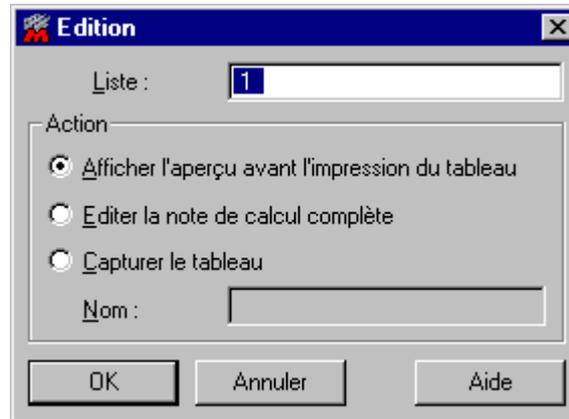
- dimensionnement des familles : le logiciel affiche trois profilés successifs pour chaque famille du type sélectionné. Le profil au milieu satisfait les conditions réglementaires, les caractères  et  précédant les noms de profilés signifient respectivement que les profilés ne satisfont les conditions réglementaires ou satisfont les conditions réglementaires avec une marge de sécurité trop importante. Les profilés qui satisfont les conditions réglementaires sont accompagnés du symbole , ceux qui ne satisfont pas les conditions réglementaires sont accompagnés du symbole .
- optimisation des familles (la case *Optimisation* est cochée et l'option *Dimensionnement des familles* est sélectionnée) : l'aspect de la boîte de dialogue **Résultats simplifiés** est le même que pour le dimensionnement des familles. De plus, au début des lignes spécifiques, le logiciel affiche le caractère  si le profilé est optimal (si le profilé optimal existe).

Les calculs peuvent être effectués pour les valeurs des efforts internes définis par l'utilisateur et non pas calculés par le logiciel. Pour ce faire, vous devez sélectionner la commande *Calculer manuellement* disponible dans le menu *Dimensionnement barres acier*. Vous pouvez effectuer la vérification ou dimensionner la pièce.

A titre d'exemple, la figure ci-dessous représente la boîte de dialogue de résultats simplifiés.



Après un clic sur le bouton **Note de calcul** le logiciel affichera la boîte de dialogue de sélection du type d'impression pour la note de calcul.



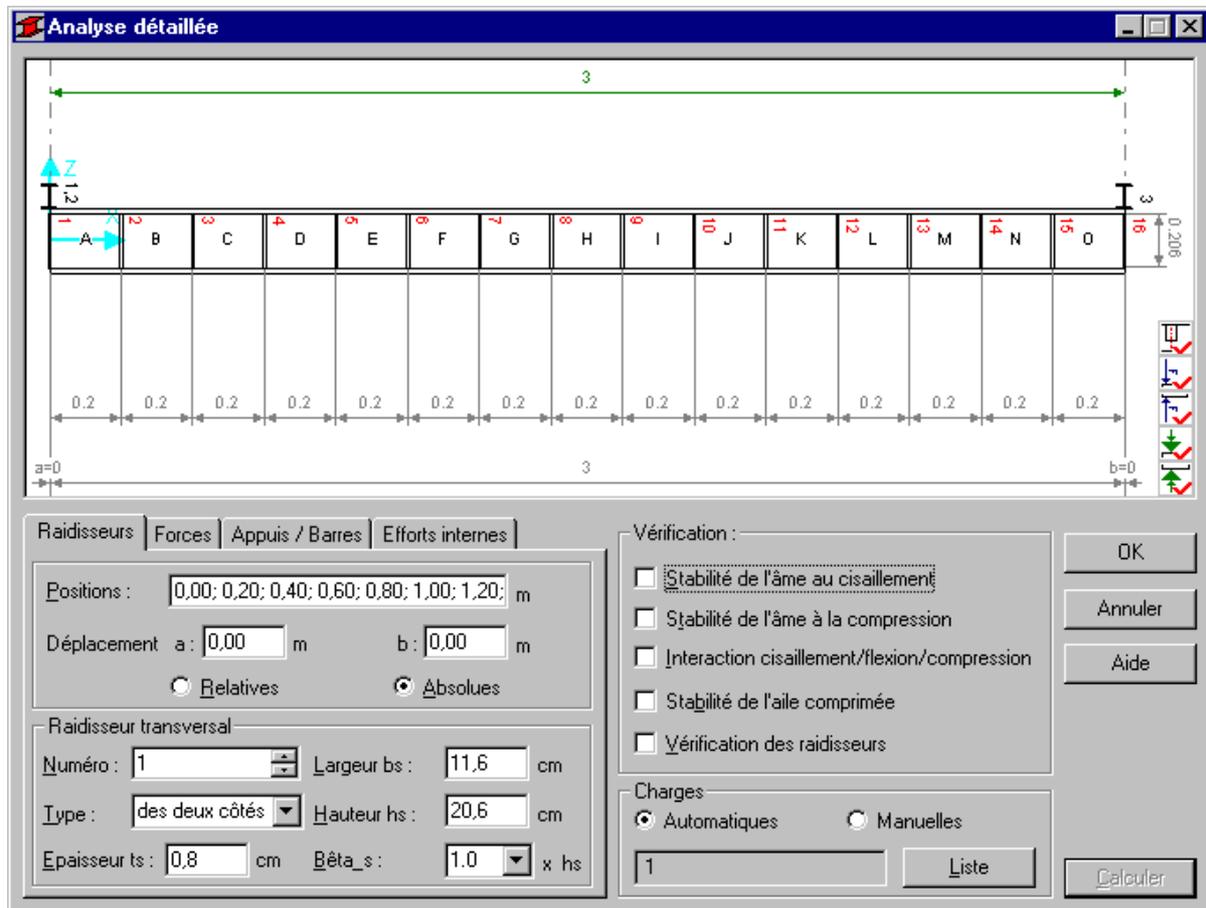
Si vous sélectionnez l'option *Afficher l'aperçu avant l'impression du tableau*, une note simplifiée sera imprimée ; la note simplifiée contient le tableau avec les informations de base sur les barres dimensionnées (la forme du tableau est la même que celle de la boîte de dialogue *Résultats simplifiés*),

Si vous sélectionnez l'option *Editer la note de calcul complète*, la note de calcul contiendra toutes les conditions réglementaires vérifiées lors des calculs ou de la vérification des barres acier ou des familles de barres. La note de calcul sera générée pour les barres ou pour les familles sélectionnées. Pour effectuer la sélection, vous pouvez utiliser le champ *Liste* (par défaut toutes les barres ou groupes de barres sont prises).

Si vous sélectionnez l'option *Capturer le tableau*, le tableau contenant les informations de base sur les barres/familles dimensionnées/vérifiées sera enregistré en tant qu'image tel qu'il est affiché dans la boîte de dialogue *Résultats simplifiés* (vous devez saisir le nom de la capture d'écran dans le champ d'édition *Nom*). Le tableau peut être utilisé dans l'impression composée, le nom de la capture du tableau sera alors disponible dans l'onglet *Captures d'écran* de la boîte de dialogue *Composition de l'impression*.

6.1.1. Analyse détaillée (norme Eurocode 3)

Cette option permet d'effectuer l'analyse détaillée des barres en I des profilés laminés ou soudés. L'analyse détaillée est lancée après un clic sur le bouton **Détaillée** qui se trouve dans la boîte de dialogue *Résultats détaillés pour la norme EC3*.



Dans le logiciel, vous pouvez effectuer les calculs suivants des paramètres décrits dans la norme EUROCODE 3 :

Stabilité de l'âme au cisaillement

- Le logiciel effectue la recherche sur chaque panneau (espace entre deux raidisseurs avoisinants) aux 11 points, pour trouver la plus grande force de cisaillement. Pour la force ainsi trouvée, le logiciel effectue la vérification conformément au point (5.6)
- Les résultats sont présentés pour chaque panneau aux points où il y a eu les taux de travail les plus défavorables.

Stabilité de l'âme à la compression (5.7)

- La vérification de l'âme sollicitée par la force ne s'effectue que si au-dessous de la force, il n'y a pas de raidisseurs (l'âme est sans raidisseurs)
- Le logiciel analyse si la force ou la réaction provoque la compression de l'âme. L'effet de compression est produit par la force (réaction ou barre aboutissante) dans les cas suivants :

1. force (réaction ou barre aboutissante) se trouve en haut, mais la valeur de la force (réaction) est négative
2. force (réaction ou barre aboutissante) se trouve en bas, mais la valeur de la force (réaction) est positive

Dans les autres cas, le logiciel n'effectue pas de calculs (la force n'est pas prise en compte).

- Les calculs sont effectués pour tous les cas de charges définis par l'utilisateur dans le champ *Charges automatiques*
- Si dans un point, il y a plusieurs forces (pour un cas de charge), le logiciel additionne automatiquement ces forces.
- Pour le cas de combinaison ou de pondération, si en un point il y a plusieurs forces provenant de différents cas de charge, le logiciel additionne ces forces en prenant en compte les coefficients respectifs de la charge.
- Les résultats sont présentés pour chaque force qui produit l'effet de compression de l'âme sans raidisseurs.

Interaction NTM (5.6.7)

- Le contrôle est effectué pour chacun des panneaux en 11 points de calcul
- Les calculs sont effectués pour tous les cas de charge définis par l'utilisateur dans le champ *Charges automatiques*
- Les résultats sont présentés pour le point du panneau dans lequel le taux de travail est le plus important.

Stabilité de l'âme comprimée (5.7.7)

- Le logiciel vérifie la stabilité de l'âme comprimée pour les 3 points qui se trouvent à des distances égales l'un de l'autre (origine, milieu et extrémité de la poutre)
- Le logiciel vérifie la condition géométrique de la stabilité de l'âme comprimée conformément à la formule (5.80).

Stabilité des raidisseurs

- Le contrôle s'effectue dans les points où se trouvent les raidisseurs
- Si le raidisseur est sollicité directement par une force, cette force sera prise pour la vérification du raidisseur. Si le raidisseur n'est pas sollicité directement par une force, le

logiciel calcule la force de compression suivant la formule (5.63). Si la force provoque la traction du raidisseur, les calculs pour ce raidisseur ne sont pas effectués.

- L'addition des forces sollicitant le raidisseur est effectuée de la même façon que pour les forces agissant sur l'âme sans raidisseurs.

Après l'activation de l'option *Analyse détaillée*, toutes les forces sont importées vers le cas de charge décisif lors de la vérification réglementaire de la barre. Si lors de la vérification de la barre, le cas de charge le plus défavorable est le cas, p. ex. PERM1, toutes les forces qui font partie de ce cas, seront importées. Si, par contre, c'est la combinaison ou la pondération qui est décisive, alors toutes les forces pour tous les cas simples composant la combinaison sont affichées.

Le cas décisif est automatiquement saisi dans le champ d'édition *Charges automatiques*. Les forces reconnues automatiquement sont affichées sur le dessin avec le numéro de la force et de ses coordonnées. Par défaut, l'origine du système de coordonnées est située à l'origine de la barre.

Pour vérifier la validité de l'identification des forces, vous pouvez passer sur l'onglet *Forces*.

Par défaut, le logiciel est en mode automatique (option *Charges/Automatiques*). Cela veut dire que, pour les calculs, les cas de charge définis au préalable par l'utilisateur seront utilisés.

Pour le cas de charge actuel, toutes les forces externes et internes seront importées, et uniquement ces forces seront prises en considération lors des calculs.

Si vous voulez saisir un nouveau cas de charge, vous devez passer au mode manuel.

La boîte de dialogue est divisée en plusieurs parties :

- la partie supérieure présente le schéma de la barre et contient les dimensions de la barre; dans le coin bas droit, vous trouverez les icônes suivantes :



activation/désactivation de la présentation des raidisseurs, de la numérotation des panneaux et de la distance entre les raidisseurs



activation/désactivation de la présentation des efforts agissant sur l'aile supérieure de la barre, de leur numérotation et de la distance entre les efforts.



activation/désactivation de la présentation des efforts agissant sur l'aile inférieure de la barre, de leur numérotation et de la distance entre les efforts



activation/désactivation de la présentation des appuis/barres aboutissantes qui se trouvent sur l'aile supérieure de la barre, de leur numérotation et de la distance entre les appuis/barres aboutissantes



activation/désactivation de la présentation des appuis/barres

aboutissantes qui se trouvent sur l'aile inférieure de la barre, de leur numérotation et de la distance entre les appuis/barres aboutissantes

- la partie contenant quatre onglets et les champs : *Raidisseurs, Forces, Appuis/Barres, Efforts internes*
- zones *Vérification* et *Charges*.

Onglet *Raidisseurs*

Après le lancement de l'analyse détaillée, les raidisseurs sont saisis automatiquement dans les positions suivantes sur la barre :

- dans les points de définition des appuis
- dans les points d'application des forces
- dans les points où des barres aboutissantes ont été retrouvées
- si les distances entre les contreventements sont trop grandes et ne satisfont pas les conditions réglementaires.

Les paramètres des raidisseurs définis automatiquement peuvent être modifiés : tous les raidisseurs définis automatiquement peuvent être modifiés, ajoutés ou supprimés.

Onglet *Forces*

Vous pouvez vérifier la validité de l'identification des forces en passant sur l'onglet *Forces*.

Le logiciel est configuré par défaut en mode automatique (option *Charges/Automatique*). Cela signifie que les cas de charges utilisés dans les calculs seront les cas préalablement définis par l'utilisateur. Pour le(s) cas de charge actuel(s), toutes les forces externes et internes seront lues et seulement ces forces seront prises pour les calculs.

Si vous voulez saisir un nouveau cas de charge, vous devez passer au mode manuel.

En mode automatique, vous ne pouvez pas changer la position de la force sur la longueur de l'élément, de même, sa valeur ne peut pas être modifiée.

Onglet *Appuis/Barres*

Si le logiciel a reconnu l'appui défini au préalable par l'utilisateur sur la barre étudiée, celui-ci sera saisi automatiquement sur la liste d'appuis et dessiné sur le schéma.

Lors des calculs, le logiciel effectuera la vérification de la poutre en utilisant les informations sur les réactions agissant sur cet appui. (Attention : le principe est valide si la réaction est perpendiculaire à l'axe longitudinal de la poutre). Par exemple, pour la poutre appuyée



librement sollicitée au centre par la force P, le logiciel reconnaîtra deux appuis aux extrémités et prendra pour les calculs les valeurs de la réaction $R = P/2$.

Si les appuis n'ont pas été définis sur la poutre (l'utilisateur étudie p. ex. une traverse d'un portique), le logiciel vérifie si une barre verticale aboutit à la poutre étudiée (qui peut travailler en tant qu'appui). Si c'est le cas, le logiciel propose l'appui dans cette position. La valeur de la réaction transférée à un tel appui sera calculée à partir de l'analyse du diagramme de l'effort transversal dans ce point.

Dans tous les autres cas, le logiciel indique par défaut la position des appuis aux extrémités de la poutre.

Le logiciel reconnaît automatiquement les points où se trouvent les barres aboutissantes (subordonnées) qui transfèrent les charges appliquées à la poutre étudiée. Lors des calculs, le logiciel trouve la force transférée à partir de la(les) barre(s), pour cela, il analyse la disposition des forces transversales appliquées à la poutre étudiée. Par exemple, lors de l'analyse de la console sollicitée à une extrémité par la force P importée à partir de la poutre subordonnée, le logiciel reconnaîtra le point dans lequel la force a été transférée et calculera la force P en se servant du diagramme de la force transversale en ce point.

Onglet *Efforts internes*

Afin de définir un nouveau cas de charge, il faut sélectionner l'option *Manuelles* qui se trouve dans le champ *Charges*. A partir de ce moment, vous pouvez saisir des forces quelconques, définir des raidisseurs dans les points voulus et déterminer les efforts internes conformément à la charge définie. Les valeurs des efforts internes doivent être données sur l'onglet *Efforts internes*.

Si vous travaillez en mode *Manuellement*, les calculs s'effectueront seulement pour le cas de charge défini manuellement. Il n'est pas possible de lancer les calculs simultanément pour le cas de charge défini manuellement et celui défini de façon automatique.

6.1.2. Bibliographie (Dimensionnement des structures acier)

- AKBAR R. TAMBOLI, *Steel Design Handbook - LRFD Method*, The McGraw-Hill Companies Inc., 1997
- CHARLES G. SALMON, JOHN E. JOHNSON, *Steel Structures - Design and Behavior*, Third Edition by HarperCollins Publishers Inc., 1990
- JEAN MOREL, *Calcul des structures metalliques selon l'EUROCODE 3*, Eyrolles, 1994
- JEAN MOREL, *Structures Metalliques - Guide de calcul CM66 - Additif 80 - Eurocode3*, Eyrolles, 1999
- Steelwork Design Guide To BS5950: PART 1: 1990 - Third Edition, Volume 1 - Section Properties, Member Capacities & Volume 2 - Worked Examples*, The Steel Construction Institute in association with: The British Constructional Steelwork, 1992
- T J MAC GINLEY & T C ANG, *Structural Steelwork - Design to Limit State Theory*, Second Edition, Reed Educational and Professional Publishing Ltd, 1987,1992
- IOANNIS VAYAS, JOHN ERMOPOULOS, GEORGE IOANNIDIS, *Anwendungsbeispiele zum Eurocode 3*, Ernst & Sohn, 1998
- WARREN C. YOUNG, *Roark's Formulas For Stress & Strain - Sixth Edition*, The McGraw-Hill Companies Inc., 1989.

6.2. Dimensionnement béton armé

Les modules *Dimensionnement poutres BA*, *Dimensionnement poteaux BA*, *Dimensionnement semelles BA*, *Dimensionnement longrines BA* et *Dimensionnement poutres-voiles BA* servent à définir, calculer et dimensionner les éléments de structures Béton Armé (le module de dimensionnement des dalles BA est décrit dans le chapitre 6.6). La version actuelle de ces modules permet d'étudier les éléments des structures en béton armé selon les normes suivantes :

- françaises B.A.E.L. 91 et B.A.E.L 91 Modifié 98
- Eurocode 2 (DAN belge et italien) – poutres, poteaux
- normes américaines ACI 318/99 et ACI 318/99 (metric) – poutres, poteaux, semelles
- norme britannique BS 8110 - poutres, poteaux, semelles.

Les modules mentionnés peuvent soit constituer une partie intégrante du système **Robot Millennium** (il existe une liaison et un échange de données entre les modules dans lesquels la structure est définie et les modules de dimensionnement des éléments BA sauf *Dimensionnement poutres BA*) soit être utilisés en tant que modules indépendants (stand-alone) dont la seule fonction est le dimensionnement des éléments des structures en béton armé.

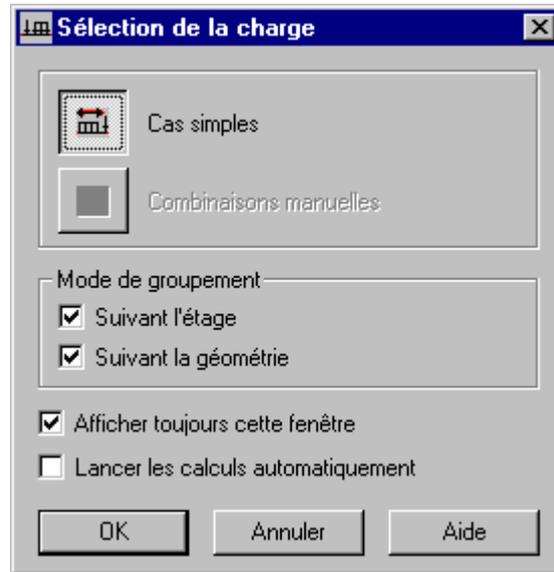
Lors de l'étude des structures, vous pouvez, de façon très simple, saisir, consulter et modifier les paramètres de la structure et de l'étude. Si les résultats obtenus ne vous satisfont pas, vous pouvez effectuer le recalcul avec d'autres paramètres de l'étude ou, par exemple, pour une autre section transversale.

Dans les chapitres suivants vous trouverez la description du fonctionnement des modules de dimensionnement des structures en béton armé. Les deux modes de fonctionnement des modules y sont expliqués (partie intégrante du système **Robot Millennium** et modules stand alone).

Remarque :

La fonction *Enregistrement automatique* n'est pas active dans les modules de dimensionnement béton armé.

Si les modules de dimensionnement des éléments en béton armé sont utilisés en tant qu'éléments du logiciel ROBOT Structures, après le calcul des efforts agissant dans la structure, vous pouvez passer au dimensionnement des éléments de la structure. Dans le cas des éléments de structure BA, la boîte de dialogue ci-dessous s'affiche (la boîte de dialogue est présentée pour les poutres BA). L'aspect de la boîte de dialogue dépend du module que l'on veut lancer (poutres BA ou poteaux BA).



POUTRES

Le passage au module de dimensionnement des poutres BA est possible après la sélection préalable d'une poutre ou d'un groupe de travées alignées et l'indication de l'option *Dimensionnement poutres BA* du menu *Analyse*.

Après cette opération, la transmission automatique interne des charges vers la poutre est effectuée. Les charges ne sont pas visibles dans la boîte de dialogue *Charges*.

Au moment du passage au module de dimensionnement des poutres, la boîte de dialogue qui sert à définir quel type de charge doit être transmis, s'affiche : *Cas simples* ou *Combinaisons manuelles*. Pour la norme polonaise, le logiciel affiche le champ de définition de la partie des charges variables de longue durée nécessaires à calculer les flèches.

Si vous avez sélectionné l'option *Cas simples*, les charges transmises sont des charges pour lesquelles les pondérations sont générées en interne selon le règlement pour les structures BA, accessible dans le répertoire CFG, dans le fichier à extension *.rgl.

Si vous avez sélectionné l'option *Combinaisons manuelles*, les calculs sont effectués pour les combinaisons définies dans le logiciel *Robot*. De plus, le logiciel affiche la liste de toutes les combinaisons manuelles et l'utilisateur peut sélectionner les combinaisons voulues.

Dans le champ *Mode de groupement*, les options permettant de grouper les éléments automatiquement suivants certains critères sont disponibles :

- *suivant l'étage* - après la sélection de cette option, le logiciel, à partir de la géométrie de la structure, divise la construction en étages, et ensuite, crée des niveaux dans l'arborescence de l'affaire dans les modules poutres et poteaux et affecte les composants aux niveaux appropriés
- *suivant la géométrie* (dans la présente version du logiciel, l'option n'est disponible que pour les poteaux) - après la sélection de cette option, les éléments ayant la même géométrie sont traités comme un seul élément de calcul ; cet élément est ensuite

dimensionné suivant plusieurs combinaisons des charges dues aux différents éléments - en effet, tous les éléments sont dimensionnés pour les conditions de charges les plus défavorables.

Dans la partie inférieure de la boîte de dialogue, vous trouverez le bouton **Appuis de la poutre composant le grillage**. Un clic sur ce bouton ouvre une nouvelle boîte de dialogue. L'option permet à l'utilisateur de définir quels éléments aboutissants constituent l'appui pour la poutre sélectionnée. Ces paramètres influencent directement le mode et la forme du ferrailage de la poutre analysée.

Le bouton **Appuis de la poutre composant le grillage** est actif si, pour la poutre sélectionnée, il existe d'autres éléments aboutissants de type poutre. La partie inférieure de la boîte de dialogue affiche le tableau contenant la liste des éléments aboutissants (numéro de la barre avec le nom de la section).

Les poteaux sont détectés automatiquement comme des appuis pour les poutres, dalles, etc... et il n'est pas possible de les désactiver.

POTEAUX

Le passage au module de dimensionnement des poteaux avec les charges nodales est possible, si vous avez indiqué au préalable les poteaux ou les groupes de poteaux et activé l'option *Dimensionnement poteaux BA* du menu *Analyse*.

Après cela, la transmission automatique des charges nodales du poteau est effectuée. Les charges sont visibles dans la boîte de dialogue *Charges*.

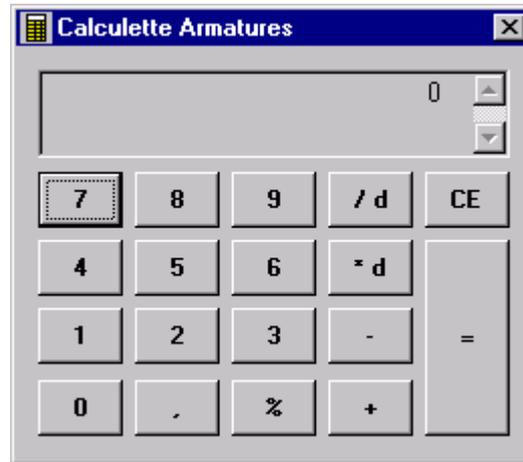
Au moment du passage au module de dimensionnement des poteaux, la boîte de dialogue qui sert à définir quel type de charge doit être transmis: Cas simples ou Combinaisons manuelles, s'affiche.

Dans le tableau de charges, à part les valeurs et natures de charges, le champ *Groupe* est rempli. Ce champ donne le numéro de la barre à partir de laquelle la charge a été prise.

Si le groupe de poteaux doit être dimensionné ensemble (comme le résultats des calculs, vous obtenez un type de poteau pour tous les types dans un groupe), il faut sélectionner ces poteaux par groupes, et activer la fonction *Dimensionnement poteaux BA*. Dans la boîte de dialogue, vous verrez apparaître autant de groupes de charges que de poteaux que vous avez sélectionné. Comme résultats de calculs, pour chaque groupe de charge, vous obtenez un poteau "résultant" qui sera capable de transférer la charge de chaque groupe.

La condition nécessaire pour calculer les groupes de poteaux est que leur géométrie (section et hauteur) ainsi que le type d'appui du poteau soient les mêmes.

Dans les modules de dimensionnement des structures BA, l'option *Calcullette Armature* est disponible. L'option est accessible par un clic sur la commande *Calcullette Armatures*, menu *Structure*, sous-menu *Armatures*.



Les unités sélectionnées dans les Préférences sont utilisées pour définir/afficher les valeurs des diamètres des barres et celles des sections d'acier. La calculatrice vous permet de calculer les grandeurs suivantes :

- sections d'acier :
(par exemple :
 $\Rightarrow 7*d\ 12 = 7.92\ \text{cm}^2$
 $\Rightarrow 7*d\ 12 + 5*d\ 16 = 17.97\ \text{cm}^2$
 $\Rightarrow 7*d\ 12 + 5*d\ 16 + 8*d\ 10 = 24.25\ \text{cm}^2$
 $\Rightarrow \dots$)
- le nombre exigé de barres aciers (par exemple $44/d14 = 29$ barres)
- le nombre exigé de barres acier à diamètre donné (par exemple 18 et 12 mm) si l'on part du principe que le nombre des barres est approximativement le même pour les deux diamètres (par exemple : $44 / d\ 18 / d\ 12 = 12*d\ 18.0 + 12*d\ 12.0$)
- le nombre de barres acier à diamètre donné (par exemple 18 et 12 mm) si l'on part du principe que les barres de 12 mm de diamètre constituent un pourcentage définie de toutes les barres (par exemple : $44 / d\ 18 / d\ 12\ \%25 = 16 * d\ 18.0 + 5 * d\ 12.0$)
- la différence entre la section d'acier donnée (par exemple $44\ \text{cm}^2$) et la surface totale des barres données (par exemple : $44 - 5* d\ 12 = 38.35\ \text{cm}^2$).

6.2.1. Dimensionnement des poutres BA

Le module *Dimensionnement des poutres BA* permet de définir, calculer et dimensionner les poutres en béton armé appuyées librement (à une et à plusieurs travées). Les poutres peuvent être chargées par des forces concentrées verticales, par des charges continues et par des moments concentrés aux appuis. Le logiciel gère les sections rectangulaires, les sections en T, et les sections complexes (divers types d'assemblage poutre-plancher sont admissibles).

Vous pouvez commencer le dimensionnement des poutres BA de deux manières différentes :

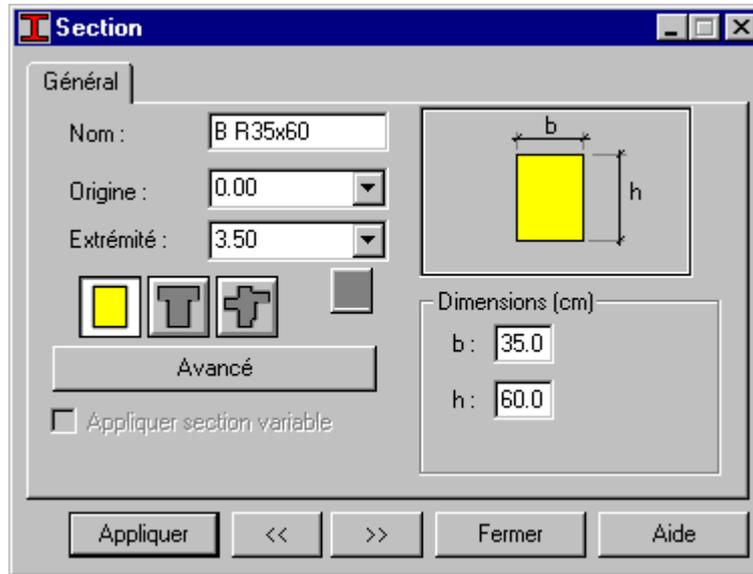
- dans l'assistant de **Robot Millennium** (le chapitre 2.1), sélectionnez le type de structure *Etude d'une poutre en béton armé* - le module de dimensionnement des poutres BA fonctionnera en tant que logiciel indépendant (stand-alone) sans liaison (échange de données) avec les autres modules de **Robot Millennium**
- après avoir défini la structure, vous pouvez sélectionner (mettre en surbrillance dans l'éditeur graphique) la liste de barres formant la poutre et, ensuite, dans le menu *Analyse*, vous devez sélectionner la commande *Dimensionnement poutres BA*. Le logiciel ouvrira alors le bureau **POUTRES BA** et transférera dans le module métier la géométrie, les charges appliquées et les résultats existants. La fenêtre de **Robot Millennium** sera divisée en deux parties : champ d'édition avec la vue sur la poutre dimensionnée et l'éditeur graphique ou la structure étudiée est affichée.

A titre d'exemple, la procédure de dimensionnement d'une poutre en béton armé sera décrite pour le deuxième mode d'appel du module (c'est-à-dire que l'échange de données entre le module *Dimensionnement poutres BA* et les autres modules du logiciel est active), les différences entre ce mode et le mode stand-alone seront mentionnées. Après le chargement du module *Dimensionnement poutres BA*, dans la partie supérieure de l'écran, la poutre (file de barres) sélectionnée sera affichée. La géométrie de la poutre, les charges appliquées et les résultats des calculs statiques seront importés dans le module *Dimensionnement poutres BA* (à la différence du mode stand-alone dans lequel vous devez définir la géométrie, les charges appliquées à la poutre et effectuer les calculs statiques).

Evidemment, vous pouvez modifier la géométrie et les chargements appliqués à la poutre, pour ce faire, vous pouvez utiliser trois options :

- les paramètres de la section de la poutre sont disponibles dans le menu *Structure* (commande *Section* dans le menu *Structure*) ou après un clic sur l'icône **Section** 
- les dimensions de l'élévation des travées de la poutre sont disponibles dans le menu (commande *Elévation*) ou après un clic sur l'icône **Elévation** 
- les paramètres des chargements sont disponibles dans le menu (commande *Charges* dans le menu *Structure*) ou après un clic sur l'icône **Charges** .

La géométrie de la section peut être définie/modifiée dans la boîte de dialogue représentée sur la figure ci-dessous. Afin de modifier une ou plusieurs travées, vous devez sélectionner les travées qui sont alors marquées en rouge.



Vous pouvez sélectionner un des trois types de section disponibles (rectangulaire, en T, en T avec planchers allégés).

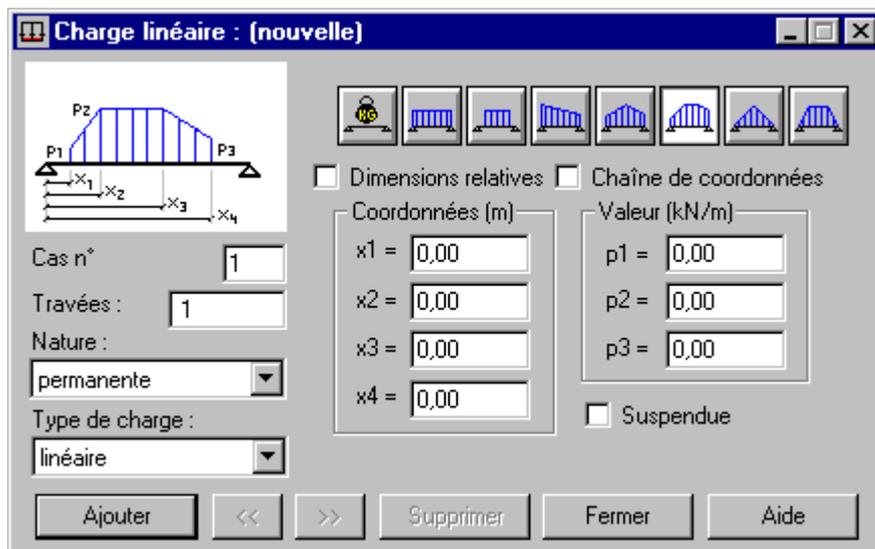
En fonction du type de section sélectionné, la boîte de dialogue affiche les paramètres définissant le type de section sélectionné. La boîte de dialogue représentée ci-dessus définit les paramètres pour la section rectangulaire. Après la sélection de la section en T, la boîte de dialogue affiche des options semblables. Après la sélection de la section en T avec dalles allégées, la boîte de dialogue affiche deux onglets supplémentaires *Planchers* et *Feuillures*.

Les noms des sections des poutres/poteaux BA sont affectés automatiquement. La première lettre, B ou C, correspond respectivement à la poutre ou au poteau, la deuxième lettre décrit la forme de la section, ensuite, les dimensions caractéristiques sont données. Par exemple B R 30x50 symbolise la section d'une poutre à forme rectangulaire dont les dimensions sont $b=30$, $h=50$ cm.

Les dimensions de l'élévation des travées spécifiques de la poutre peuvent être modifiées dans la boîte de dialogue *Elévation*. De même que pour les dimensions de la section transversale de la poutre, la définition/modification des dimensions concernant la travée sélectionnée.

Après la sélection de la commande *Charges*, *Robot Millennium* affiche le bureau **CHARGEMENTS** ; si l'échange de données est active ou si le module travaille en mode stand-alone, les tableaux de définition des charges sont affichés, leur fonctionnement est identique au fonctionnement des tableaux du bureau **CHARGEMENTS**.

La boîte de dialogue *Charges* est représentée sur la figure ci-après.



Pour définir une charge appliquée à la poutre en béton armé :

1. saisissez dans le champ *Travées* les numéros des travées auxquelles la charge sera appliquée, si vous saisissez la lettre T (tout) dans ce champ, toutes les travées de la poutre seront sélectionnées.
2. dans la liste *Nature* sélectionnez la nature de la charge (permanente, variable, vent, neige etc.)
3. dans la liste *Catégorie* sélectionnez le type de la charge appliquée (répartie, concentrée, surfacique)
4. définissez les valeurs pour la charge sélectionnée (les icônes dans la partie supérieure de la boîte de dialogue représentent de façon schématique les types de charge accessibles) et cliquez sur le bouton **Appliquer**.

L'aspect de la partie gauche de la boîte de dialogue **Charges** varie en fonction du type de charge sélectionné (concentrée, répartie, surfacique).

La partie droite de la boîte de dialogue affiche les icônes de sélection du type de charge.

Pour les charges surfaciques, la zone *Coordonnées* regroupe les options : alpha, bêta et y ; la zone voisine affiche le champ dans lequel vous pouvez saisir la valeur de la charge p (charge sur l'unité de surface). La charge est convertie en charge uniforme.

Dans le logiciel, trois types de charges surfaciques sont disponibles : soit la charge est transférée à partir de la surface entre deux poutres soit elle l'est à partir de la surface de la plaque entourée de quatre poutres (deux types).

La partie droite de la boîte de dialogue affiche les icônes de sélection du type de charge.

Au-dessous des icônes symbolisant les types de charges, la boîte de dialogue affiche les différents champs de l'option *Dimensions relatives*, si cette option est active (elle est alors accompagnée du symbole), lors de la définition de la position de la charge, les

coordonnées relatives seront utilisées (les valeurs appartiennent au domaine $<0,1>$). Si cette option est inactive, les coordonnées des points seront définies en utilisant l'unité de longueur définie par l'utilisateur).

Si la charge répartie a été sélectionnée, l'option *Chaîne de coordonnées* est disponible.

Si cette option est activée (elle est alors accompagnée du symbole ) , lors de la définition de la position de la charge, la chaîne de coordonnées sera utilisée, c'est-à-dire que la valeur p2 de la charge répartie sera appliquée dans le point à coordonnée $(x1+x2)$, la valeur p3 est appliquée dans le point $(x1+x2+x3)$ etc.

Si cette option est inactive, la charge p1 est appliquée dans le point à coordonnée x1, la charge dans le point à coordonnée x2 etc.

ATTENTION : Si vous avez sélectionné le type de charge répartie, certains champs de définition des coordonnées et des valeurs des charges sont inactifs

Pour chaque poutre, vous pouvez aussi définir les paramètres suivants :

- réservations (pour cela, sélectionnez dans le menu *Structure* la commande *Réservations* ou cliquez sur l'icône ) , le logiciel affichera alors une boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez définir les réservations pour la travée sélectionnée ;
- paramètres du niveau (cote du niveau, tenue au feu, classe de fissuration, agressivité du milieu) ; l'option est accessible dans le menu *Analyse*, commande *Paramètres du niveau* ou après un clic sur l'icône  - les options disponibles dans cette boîte de dialogue dépendent de la norme de dimensionnement des structures BA sélectionnée
- options de calcul (commande *Options de calcul* dans le menu *Analyse* ou un clic sur l'icône  - les options disponibles dans cette boîte de dialogue dépendent de la norme de dimensionnement des structures BA sélectionnée)
- paramètres du ferrailage (commande *Paramètres de ferrailage* dans le menu *Analyse* ou un clic sur l'icône  - les options disponibles dans cette boîte de dialogue dépendent de la norme de dimensionnement des structures BA sélectionnée).

*ATTENTION : si vous avez effectué des modifications sur la géométrie de la poutre ou des charges appliquées, les résultats de l'analyse globale de la structure cessent d'être actuels. Afin d'obtenir des résultats corrects pour les paramètres modifiés de la poutre, vous devez mettre à jour la structure (valider les modifications effectuées). Pour cela, vous devez utiliser la commande *Mettre à jour la structure* (menu *Résultats*) ou cliquer sur l'icône *

Après avoir mis à jour la géométrie de la structure, vous devez répéter les calculs de la structure entière.

Après la définition de tous les paramètres de la poutre, vous pouvez commencer les calculs et le dimensionnement de la poutre définie. Vous pouvez le faire de deux manières :

- vous pouvez soit sélectionner la commande *Calculer* dans le menu *Analyse*
- soit cliquer sur l'icône . Pour les charges définies, le logiciel calcule les enveloppes des efforts internes de même que les déplacements.

Afin de consulter les résultats du dimensionnement après l'achèvement des calculs de la poutre, vous devez sélectionner les bureaux :

- **POUTRES - RESULTATS**
- **POUTRES - FERRAILLAGE.**

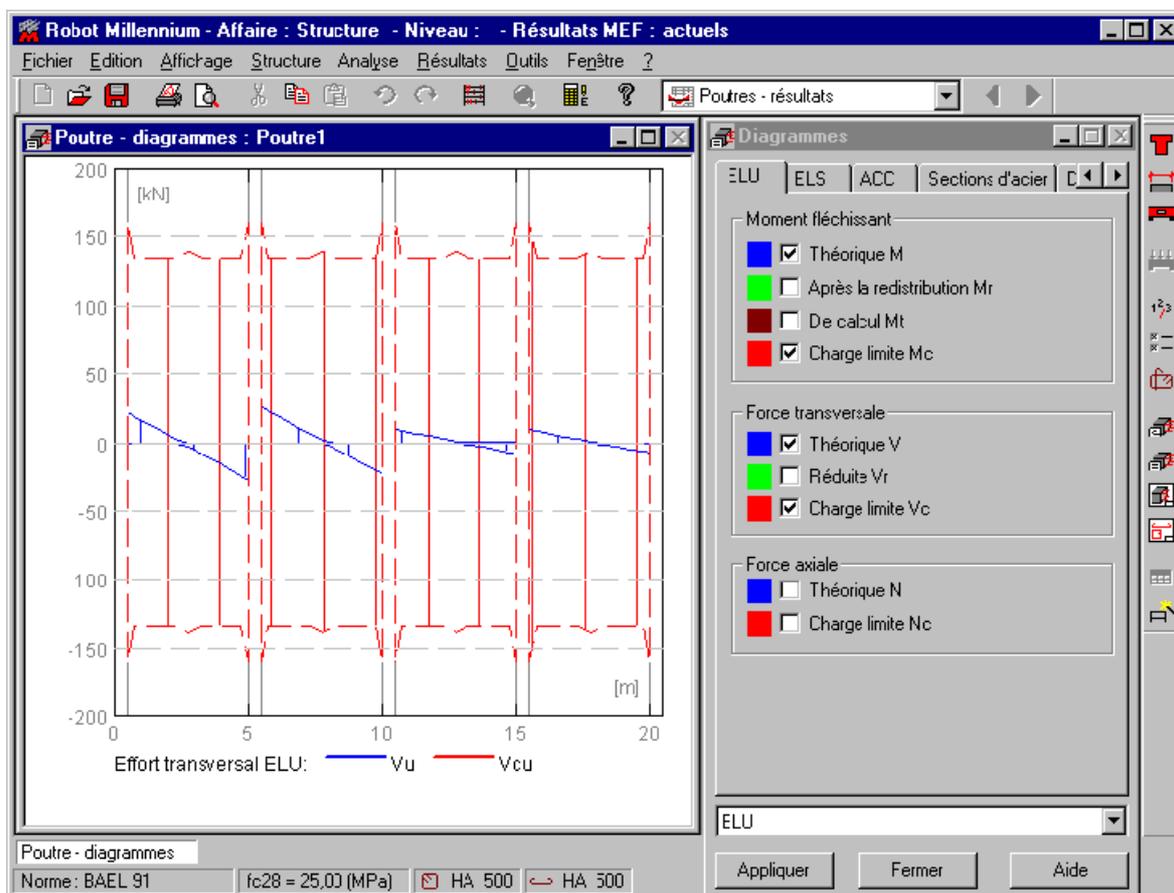
Après la sélection du bureau **POUTRES - RESULTATS**, la fenêtre du système *Robot Millennium* est divisée en deux parties :

- à gauche, la fenêtre *Diagrammes* est affichée ; dans cette fenêtre seront affichées sous format graphique les résultats obtenus,
- à droite la boîte de dialogue *Diagrammes* sera affichée. Dans cette fenêtre vous pouvez consulter les résultats en mode tableaux et sélectionner les grandeurs dont les valeurs seront affichées dans la fenêtre de gauche (les options disponibles dans la boîte de dialogue *Diagrammes* dépendent de la norme de dimensionnement des structures BA sélectionnée).

Vous pouvez sélectionner :

- efforts internes obtenus pour les états limites accessibles,
- les sections d'acier calculées et les déformations.

Un exemple des diagrammes obtenus pour une poutre à plusieurs travées est représenté sur la figure ci-dessous.



Après la sélection du bureau **POUTRES - FERRAILLAGE** le fenêtre de *Robot Millennium* est divisée en quatre parties : la fenêtre dans laquelle le logiciel affiche la vue de l'élévation de la poutre avec la disposition des armatures, la fenêtre dans laquelle le logiciel présente les armatures dans la section de la poutre, la troisième fenêtre contient le tableau avec la description des armatures spécifiques de la poutre, la boîte de dialogue *Armatures* affiche les paramètres des barres sélectionnées.

Le logiciel vous fournit quelques outils permettant d'éditer les armatures calculées pour les poutres en béton armé :

- *Attentes* – cette option sert à définir les paramètres des attentes servant à unir la poutre et le poteau ou un plancher (attentes horizontales); l'option est disponible après la sélection de la commande *Attentes* accessible dans le menu *Structure/Armatures* ou dans le menu contextuel.
- *Division des armatures* – cette option sert à définir les points de division des armatures dans les poutres BA ; l'option est disponible après la sélection de la commande *Diviser armatures* dans le menu *Structure/Armatures*, l'option *Joindre armatures* est aussi disponible.
- *Armatures* – cette option sert à présenter les paramètres des armatures calculées lors du dimensionnement des poutres BA.

De plus, pour tous les modules de dimensionnement BA, les options suivantes sont accessibles :

- *Translation* – cette option sert à effectuer la translation des armatures sélectionnées préalablement (commande *Structure/ Armatures/Afficher* ou un clic sur l'icône ).
- *Espacement des cadres* – sert à modifier manuellement l'espacement des cadres dans la poutre (commande *Structure / Armatures / Espacement des cadres*). **ATTENTION :** *L'option dans le menu est disponible après la sélection des cadres dans la poutre BA.*
- *Affichage des armatures* - l'option sert à sélectionner les types des barres de ferrailage à présenter à l'écran graphique pour les éléments des structures BA étudiées (commande *Structure/Armatures/Afficher armatures*). Quatre types principaux de ferrailage peuvent être affichés : armatures principales, armatures longitudinales, armatures de construction et les armatures des ouvertures (seulement pour les poutres et pour les poutres-voiles).

Une fois les calculs de la poutre terminés, vous pouvez présenter les résultats sous forme de note de calcul (commande *Note de calcul* dans le menu *Résultats*). **Robot Millennium** affiche alors le traitement de texte intégré dans lequel vous pouvez consulter les données de la poutre étudiée et les résultats des calculs et du dimensionnement.

Après la sélection de la commande *Plan d'exécution* (menu *Résultats*) ou après un clic sur l'icône , **Robot Millennium** passe au bureau **PLANS D'EXECUTION** et affiche le plan d'exécution de la poutre calculée et dimensionnée, le dessin présente les travées sélectionnées de la poutre étudiée. Le plan d'exécution de la poutre sera présenté à l'écran sous la forme correspondant aux paramètres du dessin adoptés (voir le chapitre 6.2.5).

Robot Millennium - Affaire : Structure - Résultats MEF : actuels

Fichier Edition Affichage Insertion Outils Fenêtre ?

Plans d'exécution

Dessin 1 / 4

Ess	Appoint	Classe	1 sur 2
1	200/2	1-1-8	0,00
2	200/2	1-2-17	0,00
3	200/2	1-1-8	0,00
4	200/2	1-2-8	2,0
5	200/2	1-1-8	3,28

Structure

Poutre1 : P1
Section 30x50

Nombre 1

Essai 0/200/2
1/0/2 000/0
2/0/0/0 00/0/0
3/0/0/0 00/0/0
4/0/0/0 00/0/0
5/0/0/0 00/0/0

Dessins

6.2.2. Dimensionnement des poteaux BA

Le module *Dimensionnement des poteaux BA* permet de définir, pré dimensionner et calculer les poteaux en béton armé. Les poteaux peuvent être chargés par forces verticales, horizontales et par des moments dans les deux directions. Le logiciel gère les sections de type régulières (rectangulaires, circulaires, polygone régulier) ou irrégulier (sections en T, en Z, en demi-cercle etc.).

Vous pouvez commencer le dimensionnement des poteaux BA de deux manières différentes :

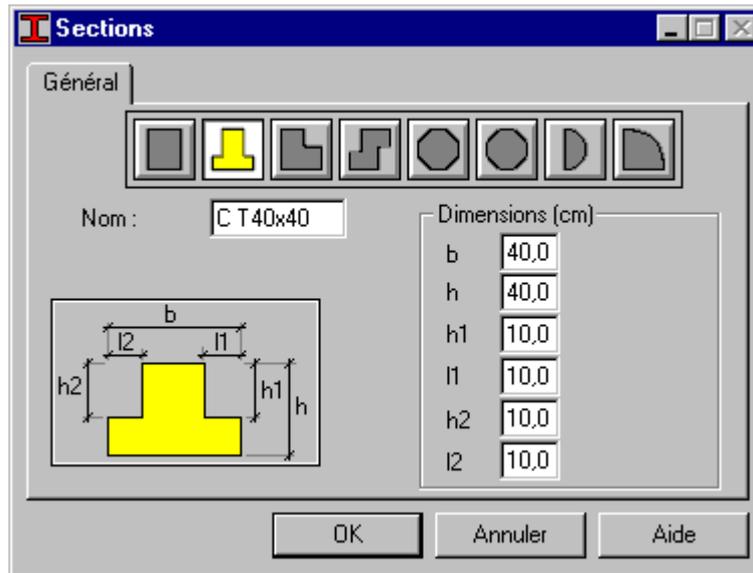
- dans l'assistant de **Robot Millennium** (le chapitre 2.1), sélectionnez le type de structure *Etude d'un poteau en béton armé* - le module de dimensionnement des poteaux BA fonctionnera en tant que logiciel indépendant (stand-alone) sans liaison (échange de données) avec les autres modules de **Robot Millennium**.
- après avoir défini la structure, vous devez sélectionner (mettre en surbrillance dans l'éditeur graphique) la liste de barres formant le poteau et, ensuite, dans le menu, vous devez sélectionner la commande *Dimensionnement poteaux BA*. Le logiciel ouvrira alors le bureau **POTEAUX BA** et transférera dans le module métier la géométrie, les charges appliquées et les résultats existants. La fenêtre de **Robot Millennium** sera divisée en deux parties : la vue de l'élévation et la vue de la section du poteau.

A titre d'exemple, la procédure de dimensionnement d'un poteau en béton armé sera décrite pour le premier mode d'appel du module (c'est-à-dire le mode stand-alone). Après le chargement du module **Dimensionnement poteaux BA**, la fenêtre de **Robot Millennium** est divisée en deux parties, la première affiche la vue de l'élévation, la deuxième présente la vue de la section du poteau.

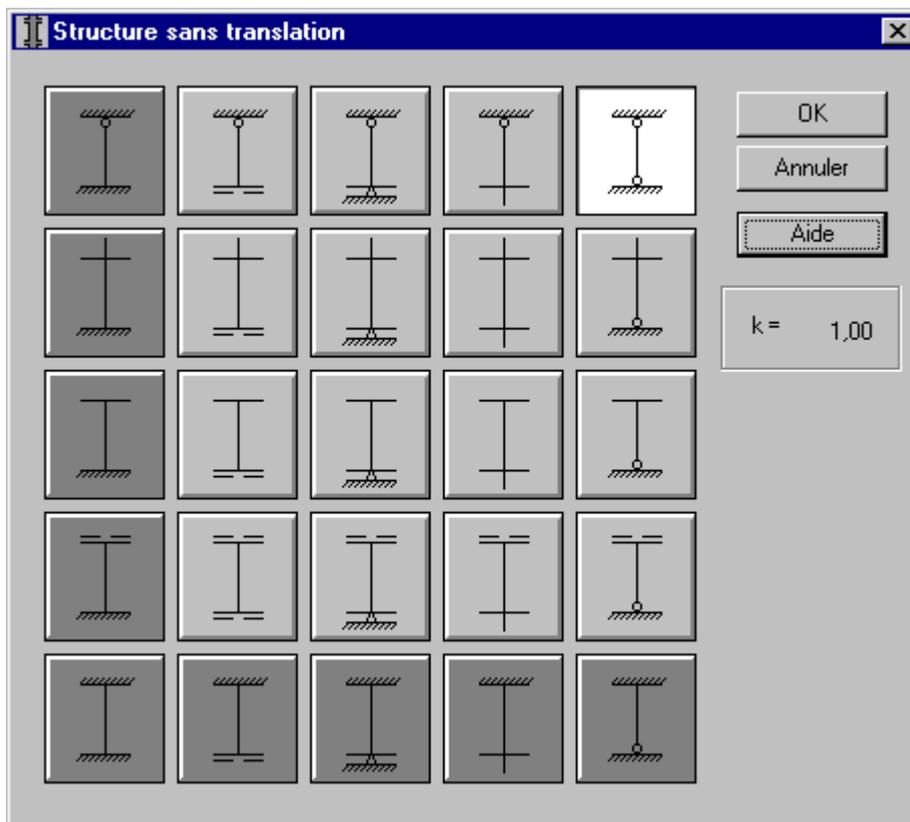
La définition du poteau concerne les paramètres suivants :

- les dimensions de l'élévation du poteau sont disponibles dans le menu (commande *Elévation* dans le menu *Structure*) ou après un clic sur l'icône **Elévation** 
- les paramètres de la section transversale du poteau sont disponibles dans le menu (commande *Section* dans le menu *Structure*) ou après un clic sur l'icône **Section**  ; le logiciel affiche alors la boîte de dialogue dans laquelle vous devez sélectionner le type de section (rectangulaire, circulaire, section en T, en Z, en L, section polygonale régulière, section en demi-cercle, section en quart de cercle) et en définir les paramètres (les paramètres sont représentés de façon schématique sur la figure à droite, en haut de la fenêtre section).

Les noms des sections des poutres/poteaux BA sont affectés automatiquement. La première lettre, B ou C, correspond respectivement à la poutre ou au poteau, la deuxième lettre décrit la forme de la section, ensuite, les dimensions caractéristiques sont données. Par exemple B R 30x50 symbolise la section d'une poutre à forme rectangulaire dont les dimensions sont $b=30$, $h=50$ cm.



- le modèle de flambement du poteau - pour cela, vous pouvez sélectionner la commande *Modèle de flambement* dans le menu *Structure* ou cliquer sur l'icône ; **Robot Millennium** affichera alors la boîte de dialogue dans laquelle vous devez définir les modèles de flambement pour les deux directions (Y et Z) et décider si la structure étudiée est une structure avec ou sans possibilité de translation. Après un clic sur l'icône représentant de façon schématique le modèle de flambement du poteau, **Robot Millennium** affiche une boîte de dialogue auxiliaire représentée sur la figure ci-dessous, dans cette boîte de dialogue vous pouvez sélectionner le modèle de flambement approprié. Les options disponibles dans cette boîte de dialogue dépendent de la norme de dimensionnement des structures BA sélectionnée.



- les paramètres du chargement sont disponibles dans le menu *Structure* (commande *Charges*) ou après un clic sur l'icône **Charges**  ; **Robot Millennium** affiche alors la boîte de dialogue avec le tableau de définition des charges appliquées au poteau ; dans ce tableau vous devez définir le nom du cas de charge, sa nature, le groupe et les valeurs de la composante verticale N, des forces horizontales en tête FX et FY et des moments fléchissants en tête le poteau.

De même que pour les poutres, vous pouvez aussi définir les paramètres suivants du poteau :

- paramètres du niveau (cote du niveau, tenue au feu, classe de fissuration, agressivité du milieu) ; l'option est accessible dans le menu *Analyse*, commande *Paramètres du niveau* ou après un clic sur l'icône  - les options disponibles dans cette boîte de dialogue dépendent de la norme de dimensionnement des structures BA sélectionnée
- options de calcul (commande *Options de calcul* dans le menu *Analyse* ou un clic sur l'icône  - les options disponibles dans cette boîte de dialogue dépendent de la norme de dimensionnement des structures BA sélectionnée). Vous pouvez spécifier si le poteau doit être calculé en compression simple ou en flexion déviée composée
- paramètres du ferrailage (commande *Paramètres de ferrailage* dans le menu *Analyse* ou un clic sur l'icône  - les options disponibles dans cette boîte de dialogue dépendent de la norme de dimensionnement des structures BA sélectionnée).

Après la définition de tous les paramètres du poteau, vous pouvez commencer les calculs et le dimensionnement. Vous pouvez le faire de deux manières : soit sélectionner la commande *Calculer* dans le menu *Analyse* soit cliquer sur l'icône . Après les calculs, les résultats du dimensionnement du poteau sont affichés. Le taux de travail dans la section transversale est présenté dans la boîte de dialogue *Taux de travail* représentée sur la figure ci-dessous.

Description	N (kN)	My (kN*m)	Mz (kN*m)
1.50Q1+1.00W1	1300,00	43,74	183,59
1.00Q1+1.50W1	950,00	33,89	235,04
1.50Q1+dM	1200,00	38,07	48,42
1.50Q1+dM	150,00	0,78	700,78

Type de charges
 Fondamentales Accidentelles

Vmax/V = 0,97
 Mmax/M = 0,99
 Nmax/N = 0,94
 Nmin = 351,59 [kN]

Fermer Aide

Dans la partie supérieure de la boîte de dialogue, *Robot Millennium* affiche la liste de toutes les combinaisons de charges prises en compte lors du dimensionnement du poteau. Pour la combinaison de charges sélectionnée le logiciel affiche la section du poteau avec une visualisation de la position de l'axe neutre, la zone comprimée et la zone tendue et les valeurs des coefficients de sécurité correspondants.

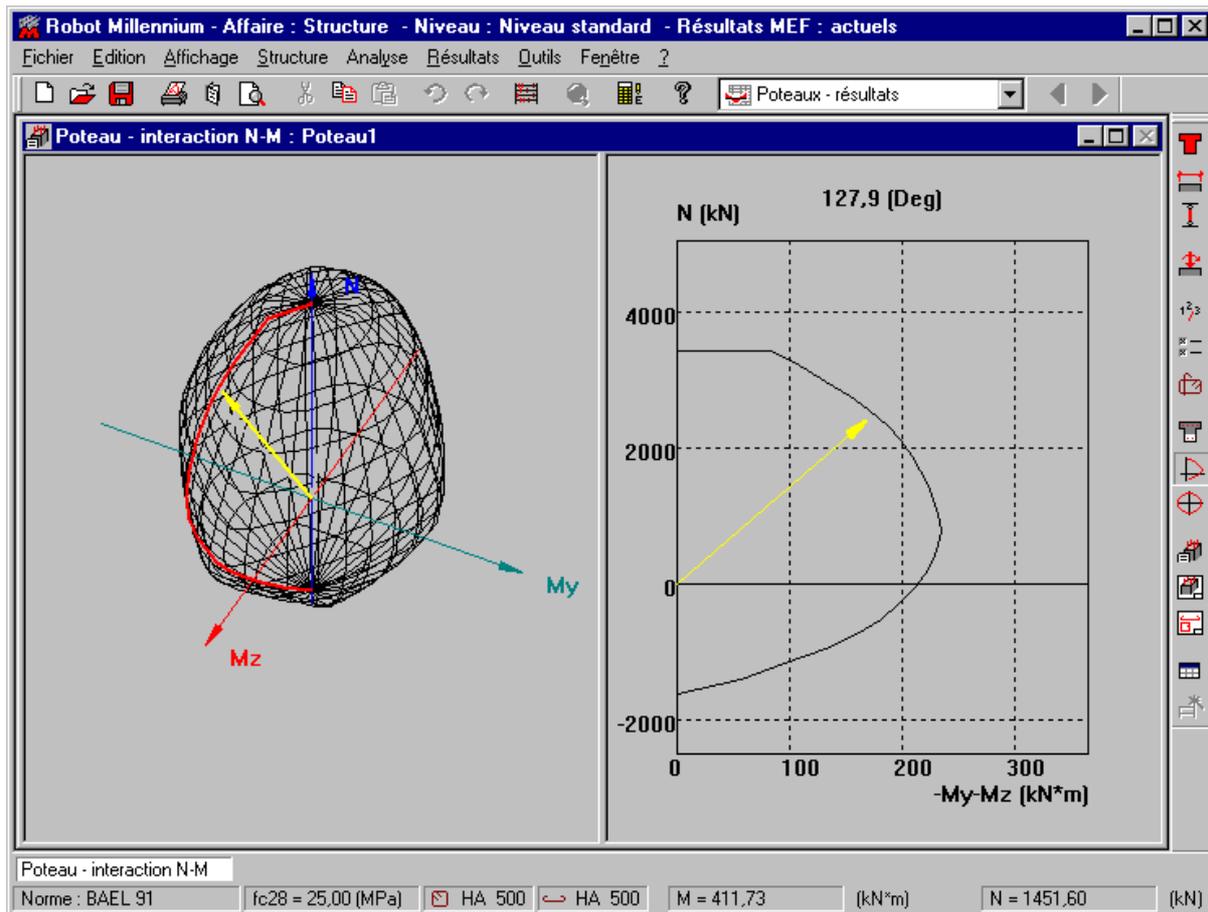
Après l'achèvement des calculs, dans cette boîte de dialogue le logiciel affiche la combinaison de charges la plus défavorable (combinaison dimensionnante).

ATTENTION : Si dans la boîte de dialogue ci-dessus, les valeurs des forces sectionnelles sont différentes pour les mêmes combinaisons, cela veut dire que les valeurs de ces forces ont été calculées pour différentes sections sur la longueur du poteau.

Afin de consulter les résultats du dimensionnement après l'achèvement des calculs du poteau, vous devez sélectionner les bureaux :

- **POTEAUX - RESULTATS**
- **POTEAUX - FERRAILLAGE.**

Après la sélection du bureau **POTEAUX - RESULTATS**, si le calcul a été effectué en flexion déviée composée, la fenêtre du système *Robot Millennium* est divisée en deux parties comme sur la figure ci-dessous :



Dans cette fenêtre *Robot Millennium* affiche les courbes d'interaction N-M pour la combinaison de charges donnée. Dans la partie gauche de l'écran, le logiciel affiche en 3D la surface d'interaction N-Mx-My.

La partie droite de la fenêtre affiche les courbes d'interaction N-M c'est-à-dire la coupe de la surface d'interaction 3D réalisée avec le plan N-M comprenant la combinaison de charges actuellement analysée. Il est également possible d'obtenir dans la partie droite de la fenêtre une coupe dans le plan Mx-My, le déplacement de la souris dans la fenêtre de droite permet de visualiser la position du plan courant dans la fenêtre de gauche (vue 3D)

Après la sélection du bureau **POTEAUX - FERRAILLAGE** la fenêtre de *Robot Millennium* est divisée en quatre parties : une fenêtre dans laquelle le logiciel affiche la vue de l'élévation du poteau avec la disposition des armatures, une fenêtre dans laquelle le logiciel présente les armatures dans la section du poteau, une fenêtre contenant le tableau avec la description des armatures spécifiques du poteau et la boîte de dialogue *Armatures*.

De même que pour les poutres BA, le logiciel vous propose l'option *Armatures* permettant de présenter les paramètres des armatures calculées lors du dimensionnement des poutres BA.

A côté des options *Affichage des armatures* et *Translation* (décrites à l'occasion des poutres BA), pour les poteaux BA, les options *Disposition des cadres* et *Attentes* sont accessibles. Ces options servent à définir manuellement la forme des armatures transversales du poteau ou des attentes (au niveau de la section transversale du poteau).

ATTENTION : L'option est applicable après les calculs du ferrailage du poteau.

L'option est disponible après la sélection de la commande *Disposition des cadres* dans le menu *Structure/Armatures*.

Une fois les calculs du poteau terminés, vous pouvez présenter les résultats sous forme de note de calcul (commande *Note de calcul* dans le menu *Résultats*). **Robot Millennium** affiche alors le traitement de texte intégré grâce auquel vous pouvez consulter les données du poteau étudié et les résultats des calculs et du dimensionnement.

Après la sélection de la commande *Plan d'exécution* (menu *Résultats*) ou après un clic sur l'icône , **Robot Millennium** passe au bureau **PLANS D'EXECUTION** et affiche le plan d'exécution du poteau calculé et dimensionné. Le plan est présenté suivant les paramètres du dessin adoptés (voir le chapitre 6.2.5).

6.2.3. Dimensionnement des semelles BA

Le module **Dimensionnement semelles BA** permet de calculer, pré dimensionner et vérifier les semelles isolées et semelles filantes (sous voile BA). La semelle étudiée dans le module peut être sollicitée par la force axiale et/ou des moments dans les deux directions, de même des charges sur le talus peuvent être appliquées.

Pour commencer le dimensionnement des semelles, vous pouvez effectuer une des opérations suivantes :

- Dans la vignette de démarrage de **Robot Millennium** (le chapitre 2.1), sélectionnez le module **Béton armé : Ferrailage d'une semelle** – le module de dimensionnement des semelles/longrines fonctionnera en tant que logiciel autonome (stand-alone) sans liaison (échange de données) avec les autres composants du système **Robot Millennium**.
- Après avoir défini la structure, utilisez l'éditeur graphique pour sélectionner un nœud d'appui et, ensuite, sélectionnez la commande *Dimensionnement semelles/longrines BA* dans le menu *Analyse*. Le logiciel chargera le bureau **SEMELLES : DEFINITION**.

La définition de la semelle comprend la définition des informations suivantes :



- sélection du type de semelle (semelle isolée, semelle filante sous voile béton), sélection du type de géométrie de la semelle (semelle isolée ou filante rectangulaire, semelle isolée ou filante rectangulaire sous deux poteaux, semelle isolée ou filante à section variable), définition de la présence du gros béton

Si dans l'onglet *Dimensions de base* la semelle sur gros béton a été sélectionnée, le troisième onglet *Gros béton* est disponible, dans cet onglet vous pouvez trouver les options permettant la définition du gros béton.

- définition des dimensions de la semelle
- sélection du type de fût (les boîtes de dialogue représentées sur les figures ci-dessous)
- sélection de la position de la semelle dans la structure
- définition des paramètres du sol – la base de sols est fournie avec le logiciel ; elle permet d'utiliser directement les corrélations décrites dans la norme appropriée ; après la définition des propriétés principales du sol, les autres paramètres sont calculés automatiquement. Les paramètres principaux du sol peuvent être modifiés ; les champs du tableau, excepté les champs contenant les paramètres principaux, ne sont pas disponibles
- définition des charges appliquées sur la semelle (la boîte de dialogue représentée ci-dessous) .

Dans cette boîte de dialogue vous pouvez définir les charges appliquées à la semelle.

La liste des cas de charge comprend deux catégories : les charges sur la semelle discutées ci-dessus et les charges sur le talus.

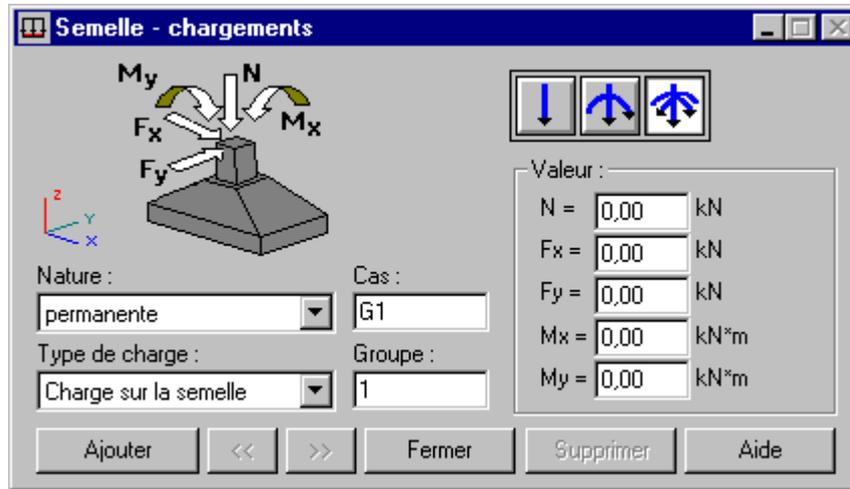
Les natures de charges disponibles sont :

- charges permanentes,
- charges d'exploitation,
- charges de neige,
- charges de vent,
- charges sismiques.

Les trois types de charges appliquées à la semelle sont :

- force axiale,
- force axiale avec un moment fléchissant et un effort tranchant,
- force axiale avec des moments fléchissants et des efforts tranchants agissant dans deux directions.

En fonction du type de charge sélectionné, le logiciel affiche les champs d'édition appropriés dans lesquels vous pouvez définir les valeurs des efforts.



De même que pour les poutres et pour les poteaux BA, vous pouvez définir les paramètres suivants :

- options de calcul (sélectionnez la commande *Option de calculs* dans le menu *Analyse* ou cliquez sur l'icône )
- paramètres du ferrailage (sélectionnez la commande *Disposition de ferrailage* dans le menu *Analyse* ou cliquez sur l'icône )

Après avoir défini tous les paramètres de la semelle, vous pouvez commencer les calculs et le dimensionnement de la semelle étudiée.

Pour obtenir les résultats, vous pouvez effectuer l'une des actions suivantes :

- sélectionnez la commande *Diagrammes* disponible dans le menu *Résultats*
- cliquez sur l'icône **Calculer** 
- sélectionnez le bureau **SEMELLES - RESULTATS**

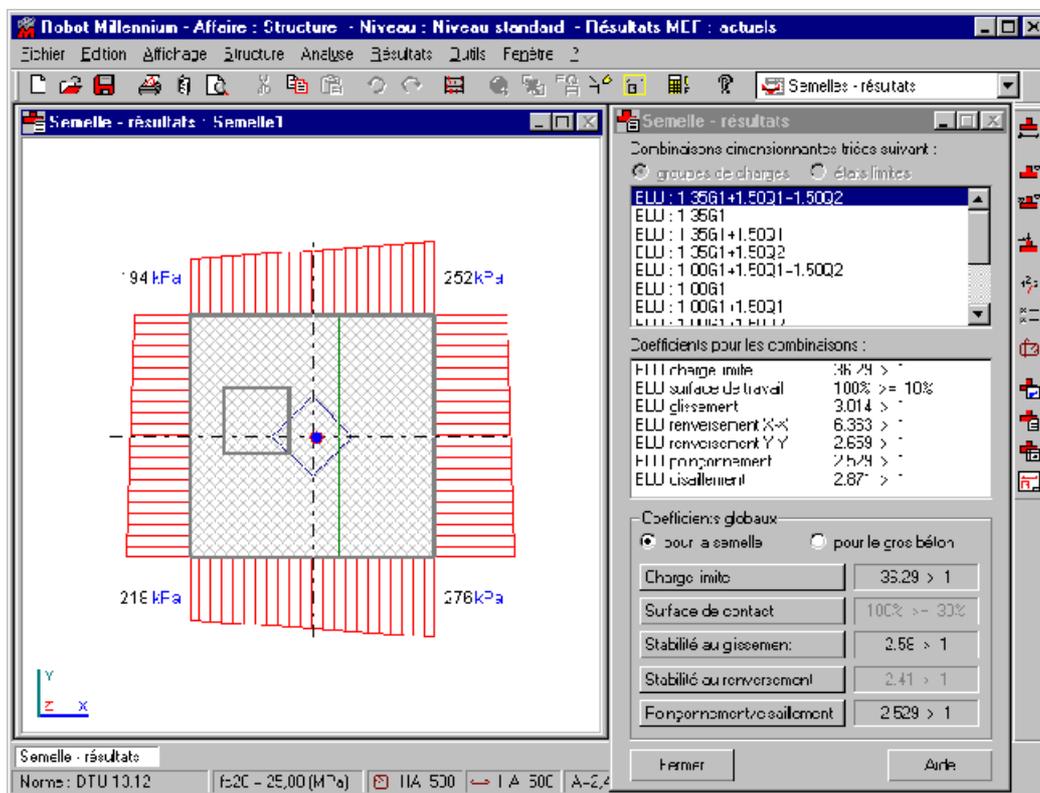
Si vous sélectionnez le bureau **SEMELLES - RESULTATS**, l'écran sera divisé en deux parties : la fenêtre graphique avec la vue sur la semelle étudiée et la boîte de dialogue *Semelle - résultats* (conf. la figure ci-dessous).

Le dimensionnement de la semelle comprend les actions suivantes :

- vérification de la contrainte dans le sol sous la semelle
- vérification de la stabilité au glissement
- vérification de la stabilité au renversement

- vérification de la stabilité au soulèvement de la semelle
- prise en compte des dispositions sismiques (vérification de la stabilité au glissement et au soulèvement de la semelle)
- vérification du poinçonnement/cisaillement
- calcul du ferrailage dans la semelle et dans l'assemblage poteau-semelle
- disposition du ferrailage calculé dans la semelle et dans l'assemblage poteau-semelle
- établissement du métré (béton, acier, coffrage)

ATTENTION : Lors des calculs de la semelle sur gros béton, le logiciel ne vérifie pas pour le gros béton les conditions de stabilité au glissement et au renversement et les conditions au cisaillement et au poinçonnement.



Lors du dimensionnement de la semelle (cf. la figure précédente) , les valeurs suivantes peuvent être affichées dans la fenêtre graphique :

- projection de la semelle sur le plan XY (semelle vue d'en haut) avec la position du fût
- diagrammes des contraintes dans le sol avec la présentation des valeurs dans les sommets de la semelle

- noyau central
- contour pris en compte lors des calculs au poinçonnement (symbolisé par la couleur verte).

Si vous dimensionnez une semelle filante, la fenêtre graphique affiche seulement la section transversale de la semelle filante et les diagrammes des contraintes dans le sol sous la semelle.

Une fois les calculs de la semelle terminés, vous pouvez présenter les résultats de calcul sous la forme d'une note de calcul (commande *Résultats/Note de calcul*). Le logiciel affichera alors le traitement de texte intégré dans **Robot Millennium** et ouvrira le document contenant les données sur la semelle dimensionnée et les résultats des calculs et du dimensionnement.

Après la sélection de la commande *Résultats/Diagrammes* ou après un clic sur l'icône , le logiciel Robot affichera le bureau **PLANS D'EXECUTION** et présentera le plan d'exécution de la semelle calculée et dimensionnée. Le plan d'exécution sera présenté sous la forme correspondant aux paramètres du dessin adoptés (voir chapitre 6.2.5).

6.2.4. Dimensionnement des longrines BA

Le module *Dimensionnement des longrines BA* permet de définir, calculer et dimensionner les longrines BA (sous un groupe de poteaux).

Vous pouvez commencer le dimensionnement des longrines BA en sélectionnant dans l'assistant de **Robot Millennium** (le chapitre 2.1), le type de structure *Etude d'une longrine BA* - le module de dimensionnement des longrines BA fonctionnera en tant que logiciel indépendant (stand-alone) sans liaison (échange de données) avec les autres modules de **Robot Millennium**.

Les options disponibles dans ce module fonctionnent de la même façon que les options de dimensionnement des poutres BA. Dans le module, une nouvelle option *Sols* est disponible. Cette option sert à définir les couches du sol au-dessous de la longrine. L'option est accessible :

- par un clic sur l'icône **Sols** 
- par un clic sur la commande *Sols*, dans le menu *Structure*
- par la sélection du bureau **LONGRINES - SOLS**.

Après la définition des propriétés principales du sol, le logiciel calcule et affiche automatiquement tous les autres paramètres dans le tableau. Dans le champ Nom, la liste des sols prédéfinis est disponible. Si vous sélectionnez un des types du sol, le tableau est rempli par les données appropriées.

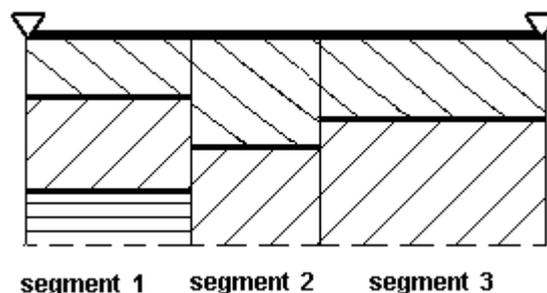
Le tableau n'affiche que ces propriétés du sol qui sont utilisées lors des calculs de la longrine. Les paramètres principaux du sol peuvent être modifiés ; après la validation de nouvelles valeurs, les autres paramètres sont calculés et affichés dans le tableau. Les champs du tableau, excepté les champs contenant les paramètres principaux, ne sont pas actifs.

Dans le module de longrines, il est possible d'enregistrer (au moyen du bouton Enregistrer) le profil du sol défini pour pouvoir l'utiliser dans d'autres calettes. Ce profilé est enregistré au format MS Access (*.mdb).

ATTENTION : Il est déconseillé de modifier manuellement le fichier dans MS Access parce que vous risquez de supprimer facilement les données nécessaires au fonctionnement correct de l'application.

Le profil du sol contient toutes les informations concernant les paramètres du sol et peut être transféré entre les postes de travail et utilisé dans les autres modules du logiciel Robot Millennium et dans les calettes.

Le sol qui se trouve au-dessous de la longrine peut être divisé en segments qui se caractérisent par la stratification différente. Cette situation est présentée sur la figure ci-dessous. La géométrie du segment est définie par les coordonnées de l'origine et de l'extrémité du segment.



6.2.5. Dimensionnement des poutres-voiles BA

Le module *Dimensionnement des poutres-voiles BA* permet de définir, calculer et dimensionner les poutres-voiles librement appuyées (à une ou plusieurs travées) – le dimensionnement est effectué selon la norme française BAEL. La spécificité des poutres-voiles consiste à ce que la hauteur de la section transversale d'une telle poutre est sensiblement supérieure à la largeur de la section transversale. Le mode de définition de la poutre-voile est analogue au mode de définition de la poutre en béton armé (voir le chapitre 6.2.1). Les poutres-voiles peuvent être chargées par les forces concentrées verticales, charges uniformes et par moments concentrés d'appuis ; les charges peuvent être appliquées en tête et en pied de la poutre-voile. La section des poutres-voiles peut être rectangulaire ou en T (différents types d'union de la poutre avec le plancher sont admissibles).

Le dimensionnement des poutres-voiles BA peut être commencé après la sélection du type de structure Dimensionnement des poutres-voiles dans la vignette (cf. le chapitre 2.1) – le module d'étude des poutres-voiles fonctionnera en tant que logiciel indépendant (stand-alone) sans liaison (échange de données) avec les autres composants du système **Robot Millennium**

Pour définir la poutre-voile :

- Définissez la géométrie de la section de la poutre (commande *Structure/Section* ou icône **Section** )
- Définissez les dimensions de l'élévation des travées de la poutre-voile (commande *Structure/dimensions* ou icône **Elévation** )
- définissez les charges (commande *Structure/Charges* ou icône **Charges** )
- éventuellement, définissez les ouvertures et les réservations dans la poutre-voile.

De même que pour les poutres et les poteaux BA, les paramètres suivants peuvent être définis :

- options de calcul (commande *Analyse/Options de calcul* ou icône )
- paramètres des armatures (commande *Analyse/Disposition de ferrailage* ou icône )

Les poutres-voiles peuvent être calculées au moyen de deux méthodes :

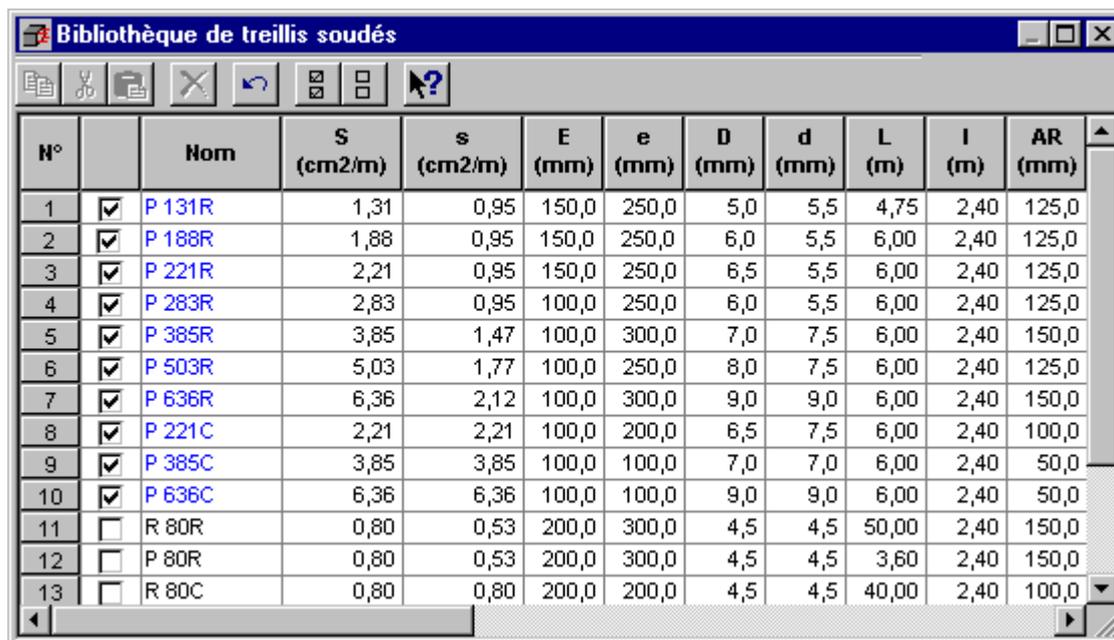
- d'après la norme française BAEL – les calculs statiques sont effectués suivant la méthode simplifiée décrite dans la norme BAEL 91 (annexe E1) ; les calculs des armatures sont effectués suivant la méthode décrite dans la norme BAEL 91 (annexe E5) ; les limitations de la méthode : la différence maximale de hauteur entre les travées adjacentes est égale à 1m, et la distance entre la réservation et le bord de la poutre-voile ne doit pas être inférieure à la largeur de celle-là ; après les calculs des poutres-voiles suivant cette méthode, les résultats sont présentés en même forme que les résultats pour les poutres BA
- d'après la méthode d'Eléments Finis - à partir de la géométrie de la poutre-voile définie par l'utilisateur, le logiciel génère automatiquement le modèle MEF. La longueur du côté d'un élément fini simple égale à 20 cm. Le premier appui généré est un appui de type rotule, les autres - appuis glissants dans la direction X. Dans les calculs, le logiciel utilise le mécanisme de création automatique des pondérations. Les calculs de la section théorique d'acier sont effectués au moyen de la méthode analytique. Le ferrailage réel est généré par zones qui, par défaut, sont définies comme dans la méthode BAEL, avec la possibilité des modifications ultérieures. La section d'acier dans chaque zone est prise par défaut en tant que section maximale de tous les éléments finis qui se trouvent dans la zone donnée (avec la possibilité des modifications ultérieures).

Un des traits spécifiques des poutres-voiles est la possibilité de les ferrailer en utilisant les treillis soudés.

Dans le logiciel **Robot Millennium**, vous pouvez accéder à la bibliothèque de treillis soudés qui peuvent être utilisés lors des calculs du ferrailage pour les poutres-voiles.

Après un clic sur le bouton **Editer bibliothèque de TS** disponible dans l'onglet *Treillis soudés* de la boîte de dialogue *Options de calcul* pour les poutres-voiles, le logiciel affiche la

boîte de dialogue auxiliaire (visionneuse) représentée sur la figure ci-dessous. La fenêtre en question sert à présenter les informations sur les treillis soudés accessibles.



N°		Nom	S (cm ² /m)	s (cm ² /m)	E (mm)	e (mm)	D (mm)	d (mm)	L (m)	I (m)	AR (mm)
1	<input checked="" type="checkbox"/>	P 131R	1,31	0,95	150,0	250,0	5,0	5,5	4,75	2,40	125,0
2	<input checked="" type="checkbox"/>	P 188R	1,88	0,95	150,0	250,0	6,0	5,5	6,00	2,40	125,0
3	<input checked="" type="checkbox"/>	P 221R	2,21	0,95	150,0	250,0	6,5	5,5	6,00	2,40	125,0
4	<input checked="" type="checkbox"/>	P 283R	2,83	0,95	100,0	250,0	6,0	5,5	6,00	2,40	125,0
5	<input checked="" type="checkbox"/>	P 385R	3,85	1,47	100,0	300,0	7,0	7,5	6,00	2,40	150,0
6	<input checked="" type="checkbox"/>	P 503R	5,03	1,77	100,0	250,0	8,0	7,5	6,00	2,40	125,0
7	<input checked="" type="checkbox"/>	P 636R	6,36	2,12	100,0	300,0	9,0	9,0	6,00	2,40	150,0
8	<input checked="" type="checkbox"/>	P 221C	2,21	2,21	100,0	200,0	6,5	7,5	6,00	2,40	100,0
9	<input checked="" type="checkbox"/>	P 385C	3,85	3,85	100,0	100,0	7,0	7,0	6,00	2,40	50,0
10	<input checked="" type="checkbox"/>	P 636C	6,36	6,36	100,0	100,0	9,0	9,0	6,00	2,40	50,0
11	<input type="checkbox"/>	R 80R	0,80	0,53	200,0	300,0	4,5	4,5	50,00	2,40	150,0
12	<input type="checkbox"/>	P 80R	0,80	0,53	200,0	300,0	4,5	4,5	3,60	2,40	150,0
13	<input type="checkbox"/>	R 80C	0,80	0,80	200,0	200,0	4,5	4,5	40,00	2,40	100,0

Le gestionnaire de la bibliothèque des treillis soudés représenté sur la figure ci-dessus est divisé en deux parties :

- barre d'outils (icônes)
- tableau dans lequel les données sur les treillis soudés sont disponibles.

Pour chaque type de treillis, les informations suivantes sont présentées :

- Les trois premières colonnes du tableau affichent le numéro du TS, l'information si le treillis en question doit être pris en compte dans les calculs (si la case est cochée, le treillis est pris en compte ; si la case n'est pas cochée, le treillis n'est pas pris en compte) et le nom du treillis soudé.
- Les colonnes successives présentent les données suivantes relatives aux treillis soudés (section d'acier, espacement et diamètre des armatures, informations relatives à la forme des extrémités des barres et, éventuellement, la longueur de recouvrement) :

6.2.6. Plans d'exécution

Les plans d'exécution du ferrailage calculé des éléments BA constituent un bureau à part du logiciel Robot. Cela signifie que vous ne pouvez plus fermer les dessins comme c'était possible jusqu'alors, et que l'accès aux dessins est possible dans un moment quelconque de votre travail.

Ce bureau du logiciel Robot contient les options spécifiques, utiles uniquement pour l'édition des dessins. Ci-dessous, nous décrivons les options les plus importantes :

- *Vue normale* (menu *Affichage*) – au moment de la sélection d'un élément, le logiciel passe automatiquement au bureau Plans d'exécution et active la vue normale. C'est une vue générale sur la page entière, sans aucune possibilité de saisir, supprimer ou modifier le contenu du dessin. Le mode en question est utile à arranger et composer les dessins sur le format final de l'impression.
- *Composition de la page* (menu *Affichage*) est le mode qui permet de modifier la disposition et les dimensions des éléments du dessin (espace de travail dit « viewport »). Chaque élément du dessin possède dans ses angles les poignées à l'aide desquelles vous pouvez éditer les éléments. Après avoir terminé les modifications, vous devez passer à un autre mode d'affichage. Le logiciel régénère le dessin en ajustant le contenu aux nouvelles dimensions des éléments du dessin.
- *Composantes du dessin* (menu *Affichage*) est un mode qui présente l'étendue des éléments et leur contenu. Si vous sélectionnez un élément du dessin (mise en surbrillance en rouge), de même vous pouvez éditer son contenu.

Dans la zone active, les opérations suivantes sont possibles :

- changement de l'échelle du dessin ou de la position de la section
- édition du texte (après la sélection du texte, celui-ci est mis en jaune) par l'activation de l'option *Editer texte* à partir du menu contextuel, après un clic sur le bouton droit de la souris
- suppression du texte - après la sélection du texte, vous pouvez le supprimer en appuyant sur la touche SUPPR
- déplacement du texte; après la sélection du texte, il faut cliquer sur le texte, le curseur change sa forme en flèche, et par cela il permet de déplacer le texte à l'intérieur de l'élément du dessin (viewport)
- édition de la cotation (après la sélection de la cote par le pointeur, la cote est mise en jaune), si vous accrochez le pointeur à la fin de la cotation, vous pouvez changer la longueur de la ligne de cote et la valeur qui la décrit. Dans le cas des chaînes de valeurs de cotes, les cotes qui se trouvent près du point édité sont changées.
- suppression + déplacement de la ligne de cote option fonctionne de la même façon que l'édition du texte). Dans le cas où vous déplacez la cote, vous ne pouvez que la déplacer parallèlement par rapport à la position originale.
- ajout de ligne, cercle, texte et cote



ATTENTION : Après avoir terminé l'édition, vous devez appuyer sur la touche ECHAP pour pouvoir passer à l'édition d'un autre élément du dessin (viewport).

- *Format cible du dessin* (menu *Affichage*) - c'est une option qui permet d'importer les dessins affichés sur une feuille commune. Après l'activation de l'option, le logiciel passe à un autre mode de travail. Le format par défaut est le format A4. Pour changer de format, cliquez sur l'option *Mise en page* dans le menu *Fichier...*, et choisissez le format cible de la feuille de papier. Tous les dessins actifs sont disposés automatiquement.
- *Disposer les dessins automatiquement* (menu *Affichage*) - l'option sert à disposer automatiquement les dessins sur un grand format, elle fonctionne en liaison avec l'option présentée ci-dessus. Si vous n'êtes pas satisfait de la disposition automatique des dessins, vous pouvez désactiver cette option. Après la sélection du dessin voulu (il faut passer à l'option *Vue normale*), vous pouvez déplacer le dessin entier en maintenant le bouton gauche de la souris enfoncé.

ATTENTION : Pour pouvoir placer le dessin dans la position voulue, il faut effectuer le déplacement avec la touche CTRL appuyée.

- *Annuler/Rétablir* (menu *Edition*) - ces options permettent d'annuler ou de rétablir la dernière action effectuée. Il faut se rendre compte qu'après ces opérations, certaines actions ne sont plus possibles à effectuer, p. ex. mise à l'échelle des éléments du dessin (viewport) ou la saisie du tableau des armatures
- *Couper/Coller* (menu *Edition*) - les options standard qui fonctionnent pour le dessin entier. A l'aide de ces options, vous pouvez couper un dessin quelconque et le placer sur une autre position - sur une autre page. Cette opération est particulièrement utile lors de la disposition des dessins sur un format plus grand, quand le nombre de pages est supérieur à 1.
- *Dessin* (menu *Insertion*) - dans le cas où vous avez enregistré le dessin en tant que composante du projet, cette option permet d'activer et d'insérer le dessin ou la liste de dessins. Pourtant, il faut être conscient du fait qu'après la saisie du dessin préalablement enregistré, il n'est plus possible de le mettre à l'échelle, et que le dessin ne sera pas non plus pris en compte lors de la création du tableau des armatures
- *Nouvelle page* (menu *Insertion*) - l'activation de cette option permet d'insérer une nouvelle page vide au format conforme à la configuration de la **Mise en page**
- *Cartouche* (menu *Insertion*) - l'activation de cette option permet d'insérer le cartouche pour les dessins réalisés en grands formats. Le cartouche livré par le logiciel (fichier default.lay dans le répertoire USR) est un exemple et vous pouvez le modifier ou bien en créer un autre à l'aide du programme PloEdit
- *Tableau des armatures* (menu *Insertion*) - cette option doit être activée après la terminaison de la modification de disposition des dessins sur un grand format. Le

fonctionnement de cette option consiste à créer le tableau des armatures pour les dessins actifs. Lors de la création du tableau, la renumérotation de toutes les positions des armatures sur les dessins est effectuée de façon automatique.

IMPRESSION SUR UN GRAND FORMAT

Dans le cas où vous disposez d'une imprimante qui ne gère pas certains formats, dans la boîte de dialogue *Mise en page*, vous trouverez la liste des formats gérés par votre imprimante par défaut. Les autres formats (qui ne sont pas gérés par la périphérique) sont affichés, mais leur description est grisée. Pour le format « grisé », vous pouvez effectuer la disposition des dessins, mais l'aperçu avant impression et l'impression même seront précédés d'un message d'avertissement approprié « *Le format sélectionné n'est pas géré par l'imprimante active* ».

Dans le cas où vous auriez installé les pilotes de l'imprimante sans l'avoir physiquement connecté à votre ordinateur, les descriptions des formats disponibles provenant de la périphérique installée seront en rouge. L'aperçu avant impression et l'impression même seront également précédés d'un message d'avertissement approprié.

Les plans d'exécution sont affichés à l'écran conformément aux paramètres adoptés dans la boîte de dialogue *Paramètres du dessin*. L'option sert à sélectionner les paramètres de l'affichage, la présentation des dessins et des détails pour les éléments des structures BA.

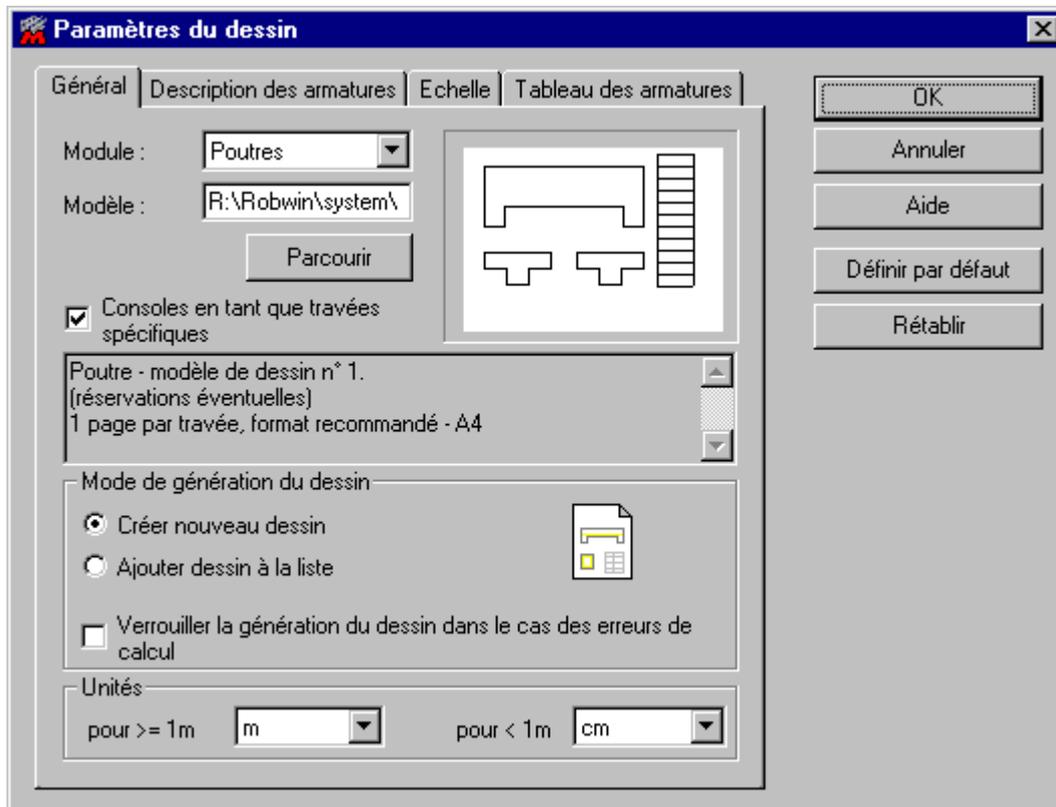
L'option est activée par :

- un clic sur l'icône Paramètres du dessin  ou
- par le menu déroulant *Analyse*, commande *Paramètres du dessin*

Les options disponibles dans la boîte de dialogue servent à paramétrer l'affichage et la présentation des parties déterminées du dessin, ainsi que la façon de disposer les dessins.

La boîte de dialogue se compose de quatre onglets :

- *Général*
- *Description des armatures*
- *Echelle*
- *Tableau des armatures*



Dans cette boîte de dialogue, vous pouvez sélectionner le modèle du dessin. Les lettres initiales des noms standard des modèles livrés avec le logiciel signifient comme suit :

- bm** – poutres/longrines
- bc** – poteaux
- bf** – semelles
- bs** – dalles
- bw** – poutres-voiles.

Tous les modèles standards se trouvent dans le répertoire CFG de l'installation de Robot et ont l'extension *.plo. Afin de modifier le modèle existant ou en créer un autre, il faut lancer l'utilitaire PLOEDIT qui est un éditeur des modèles dessin. Ce programme est installé lors de l'installation de Robot.

Après la sélection du modèle pour le module de dimensionnement des éléments des structures BA, la partie droite de la boîte de dialogue affiche l'aperçu du modèle.

A part la sélection du modèle, sur cet onglet vous pouvez aussi configurer le mode de création du dessin.

Si vous sélectionnez le premier mode (*Créer nouveau*), après l'activation du dessin, seulement le dessin d'un élément béton donné ou la liste d'éléments sont affichés. Chaque réactivation du dessin supprime le dessin précédent.

Si vous sélectionnez l'option *Ajouter dessin à la liste*, le fonctionnement et la disposition des dessins changent. La sélection de cette option fait que le dessin activé n'est pas supprimé, après la réactivation d'un nouveau dessin, mais il est ajouté à la liste. Cette option a été conçue pour permettre de créer (composer) les dessins pour différents éléments (poutres avec poteaux, etc.) et de les disposer sur un format plus grand.

Dans l'onglet *Description des Armatures*, vous pouvez définir la façon de décrire les éléments du ferrailage. A part le numéro de position, vous pouvez également afficher sur le dessin les éléments suivants :

- *Nombre de barres et diamètre des armatures* - le nombre de barres identiques et leurs diamètres sont affichés avec le numéro de position des armatures
- *Longueur de la barre* - si cette option est activée, l'information sur la longueur totale de l'élément sélectionné est affichée
- *Espacement des armatures* - dans le cas des poutres, l'espacement concerne uniquement les armatures de couture; pour les poteaux, l'espacement est présenté par rapport aux cadres dans la partie centrale du poteau; pour les semelles, la description des espacements ne concerne que les armatures principales des semelles; pour les poutres-voiles et les dalles, la description des espacements concerne chaque élément des armatures en forme de barre
- L'option *Description des armatures longitudinales dans la section* a été conçue particulièrement pour les poutres. Dans le cas des poteaux et des poutres-voiles, la description des armatures longitudinales est toujours affichée ; pour les semelles et les dalles, cette option n'est pas utile.

A l'aide des options disponibles sur l'onglet *Echelle*, vous pouvez imposer la façon de mettre à l'échelle les différentes composantes du dessin :

- l'activation de l'option *La même échelle pour toutes les pages* impose la même échelle pour toutes les pages du dessin d'un élément; par exemple, pour une poutre à plusieurs travées présentées de façon à ce que chaque travée se trouve sur une page différente, cette option permet de garder la même échelle sur toutes les pages du dessin de la poutre donnée
- si vous activez l'option *La même échelle pour l'élévation et la section*, la section de l'élément et sa vue sont dessinées avec la même échelle
- si vous activez l'option *La même échelle pour les deux directions de l'élévation*, l'échelle sera la même pour la longueur et la hauteur de l'élément

Les options disponibles sur l'onglet *Tableau des armatures*, dans la boîte de dialogue ci-dessus servent à configurer l'affichage du tableau des armatures et permettent d'ajouter ou de supprimer les colonnes voulues du tableau.

6.2.7. Dimensionnement barres BA

Les modules **Poutres**, **Poteaux** et **Semelles** disponibles jusqu' alors dans le système **Robot Millennium** permettent de calculer la section d'acier et la disposition des armatures dans la section de l'élément de la structure en béton armé.

Le module **Ferrailage théorique barres BA** permet d'obtenir la section d'acier théorique pour les barres sélectionnées.

Pour appeler l'option, vous devez effectuer une des actions suivantes :

- sélectionnez le bureau **FERRAILAGE THEORIQUE BARRES BA** dans le groupe de bureaux **DIMENSIONNEMENT**
- sélectionnez la commande *Calculer* accessible dans le menu *Analyse / Dimensionnement barres BA*

Le module est disponible pour les normes suivantes :

- Eurocode 2
- Eurocode 2 (DAN français)
- Eurocode 2 (DAN belge)
- Eurocode 2 (DAN hollandais)
- Eurocode 2 (DAN italien)
- Eurocode 2 (DAN allemand)
- Eurocode 2 (DAN finnois)
- BAEL91 et BAEL91 mod.99 (France)
- BS 8110 (Grande Bretagne).
- PN-84/B-03264 (Pologne)
- PN-B-03264 (1999) (Pologne)
- ACI 318/95 (Etats Unis) et ACI 318/99 (metric).
- NEN 6720 (Hollande)
- EH91 et EHE98 (Espagne)

- SNIp 2.03.01-84 (Russie)

Pour les calculs effectués dans le module **Ferraillage théorique barres BA**, la barre est un élément de base.

En principe, une barre est un élément constructif avec n type défini, comme poutre BA ou poteau BA. La définition du type de barre permet de calculer correctement le ferraillage théorique avec la prise en compte des conditions réglementaires appropriées. Dans certaines situations les barres sont définies en tant que files de plusieurs barres saisies lors de la définition de la structure.

Pour définir le type de barre BA, vous devez ouvrir la boîte de dialogue **Type de barre**, pour cela vous pouvez utiliser une des méthodes citées ci-dessous :

- après la sélection de la commande *Type de barre béton armé* accessible dans le menu déroulant *Structure*, sous menu *Paramètres réglementaires*.
- après un clic sur l'icône  affichée dans la barre d'outils.

Le procédé de définition du type de barre dans la structure est identique avec le mode de définition des autres attributs de la structure. Le type de barre BA dépend de la norme BA utilisée lors du dimensionnement des barres de la structure. Lors du travail avec une norme donnée, il est possible d'éditer et d'utiliser seulement les barres définies suivant la norme en question. L'aspect de la boîte de dialogue de définition des types de barres BA dépend également du type de barre ; la forme de la boîte de dialogue lors de la définition des paramètres du type de poutre BA est celle utilisée lors de la définition des paramètres du type de poteau BA.

Avant de procéder aux calculs du ferraillage théorique des barres, il faut encore définir les paramètres de calcul.

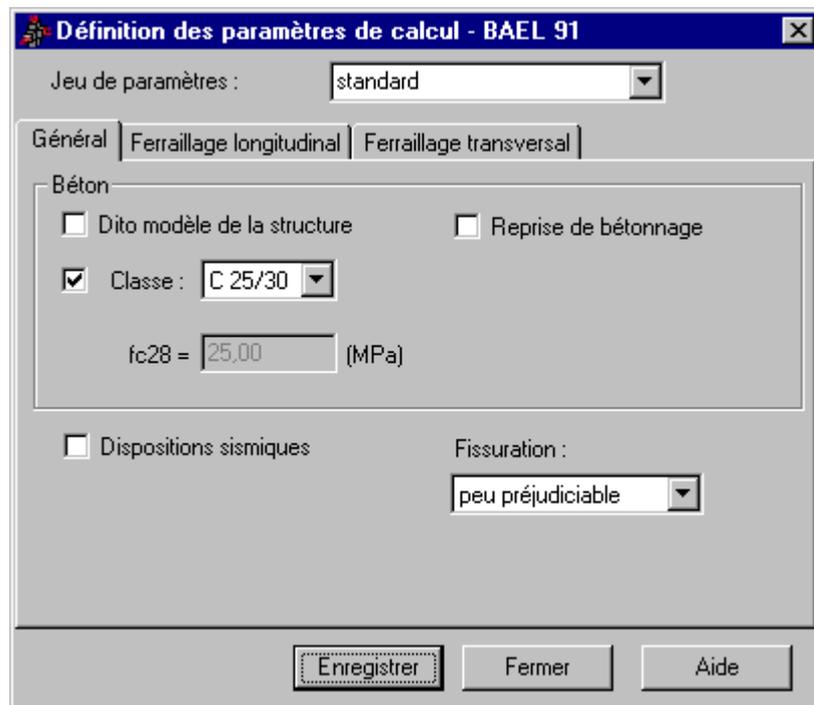
L'option est disponible :

- par le menu, après la sélection de la commande : Analyse/Dimensionnement barres BA /Paramètres de calcul.
- sur le bureau **DIMENSIONNEMENT / FERRAILLAGE THEORIQUE BARRES BA**, après un clic sur l'icône  affichée dans la barre d'outils.

Le procédé de définition des paramètres de calcul pour les barres de la structure est identique avec le mode de définition des autres attributs de la structure.

Après un clic sur l'icône définir un « Nouveau jeu de paramètres de calcul » dans la boîte de dialogue *Paramètres de calcul*, le logiciel affiche une boîte de dialogue contenant trois onglets :

- *Général*
- *Ferraillage longitudinal*
- *Ferraillage transversal*



La boîte de dialogue ci-dessus (exemple pour la norme française) contient les paramètres nécessaires pour dimensionner un élément BA en dehors de sa géométrie, à savoir : caractéristiques du béton et de l'acier, types de barres utilisés, enrobages, etc. Les autres paramètres réglementaires qui dépendent de la géométrie sont définis dans le dialogue *Type de barre BA*.

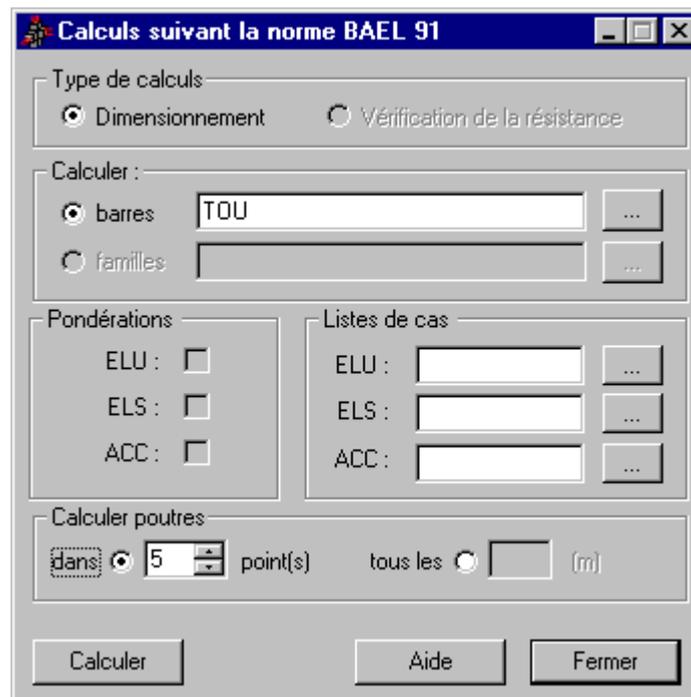
Dans l'onglet *Général*, deux champs principaux sont disponibles : paramètres du béton et paramètres supplémentaires exigés dans le calcul.

Dans l'onglet *Ferraillage longitudinal*, vous pouvez définir les paramètres d'acier, types de barres acier et enrobage net ou à l'axe des barres.

Dans l'onglet *Ferraillage transversal*, vous pouvez définir les paramètres d'acier pour le ferraillage transversal, type de ferraillage transversal et ses paramètres.

Puisqu'une partie de ces données dépend de la norme sélectionnée, le nombre d'options disponibles dans la boîte de dialogue varie en fonction de la norme actuelle.

Après le lancement des calculs du ferrailage théorique des barres BA, le logiciel ouvre la boîte de dialogue représentée sur la figure ci-dessous.



Lors de la création du modèle de la structure, l'utilisateur définit les paramètres géométriques des poutres et des poteaux BA (paramètres de flambement, flèches admissibles et déplacements admissibles des nœuds). Les paramètres réglementaires des éléments de la structure en béton armé (paramètres de l'acier et du béton, types de barres de ferrailage) sont définis dans la boîte de dialogue **Paramètres de calcul**.

La boîte de dialogue regroupe les options suivantes :

Dans la boîte de dialogue ci-dessus, vous trouverez les options suivantes :

- dans le champ *Type de calculs* :
 - Dimensionnement
 - Vérification de la résistance (pour l'instant, l'option n'est pas accessible).

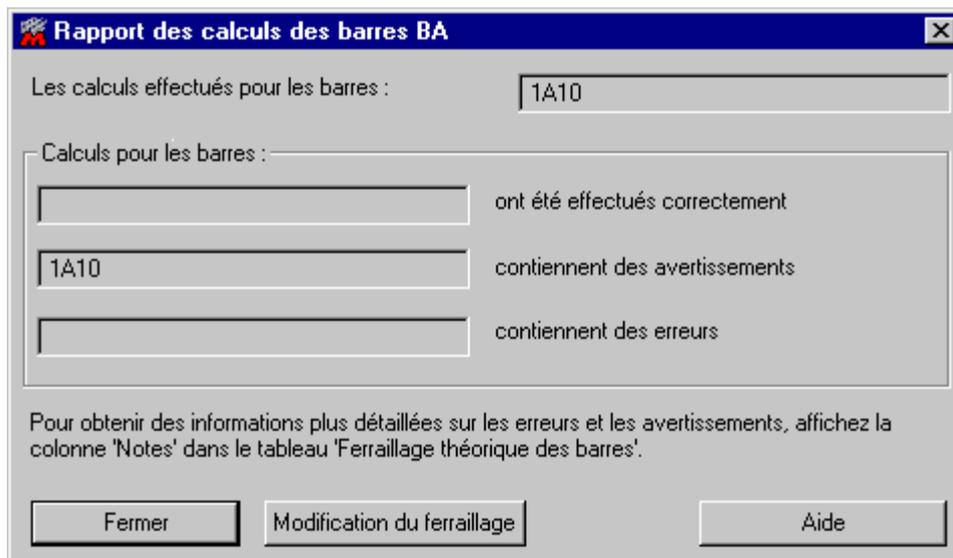
- dans le champ *Calculer*, les éléments pris en compte sont :
 - barres
 - familles (pour l'instant, l'option n'est pas accessible);

Les listes des éléments qui seront pris en compte lors du calcul peuvent être définies de trois façons :

- manuellement par la saisie des numéros des barres dans les champs d'édition correspondants
- par lancement de la boîte de dialogue de sélection par le bouton '...'
- en indiquant les éléments sur l'écran avec la vue de la structure .
- Cas de dimensionnement :
- pondérations
- listes de cas pour chaque état limite analysé;
- Le jeu des champs actifs dépend de la norme utilisée. Les champs de sélection des pondérations ne sont actifs que si les pondérations ont été préalablement créées et calculées. La liste de cas peut être saisie dans le champ d'édition respectif ou dans la boîte de dialogue **Sélection** à partir du bouton '...'
- le nombre de points de calcul pour les poutres peut être défini de deux façons :
- définition du nombre de point de calcul sur la longueur de la poutre (min. = 3, max.= 100) ;
- définition de l'espacement des points pour lesquels les sections d'acier seront calculées; comme le point initial, on prend le point provenant des options admises dans la boîte de dialogue **Définition de la barre BA** (Longueur de la travée et largeur des appuis).

Les résultats pour le ferrailage théorique des barres BA sont disponibles sous forme de tableaux ; vous pouvez également présenter les résultats sous forme de diagrammes sur la longueur des barres (cf. chapitre 5.1).

Une fois terminé le dimensionnement des barres BA, le logiciel affiche la boîte de dialogue **Rapport des calculs des barres BA** présentée sur la figure ci-dessous.



Dans la boîte de dialogue présentée ci-dessus, le logiciel affiche les informations suivantes :

- liste des barres BA étudiées

- liste des barres pour lesquelles les calculs ont été correctement effectués
- liste des barres pour lesquelles le logiciel a affiché les avertissements
- liste des barres pour lesquelles les calculs ne sont pas corrects
- remarques supplémentaires.

Le champ *Calculs pour les barres* contient les numéros des barres qui ont été dimensionnées; ces barres doivent être de type poutre ou poteau BA parce que la section d'acier théorique dans les barres BA n'est définie que pour ces éléments. Les éléments d'autres types qui seront saisis sur la liste d'éléments à dimensionner dans la boîte de dialogue **Calculs**, seront automatiquement négligés.

Les trois champs suivants disponibles dans la boîte de dialogue présentent en abrégé les informations sur le déroulement des calculs des barres BA. Ils regroupent les barres pour lesquelles les calculs ont été terminés avec les mêmes résultats :

- le premier champ *Calculs ont été effectués correctement* contient les numéros de barres pour lesquelles les calculs ont été effectués sans erreurs ni avertissements
- le deuxième champ *Calculs contiennent des avertissements* regroupe les barres pour lesquelles, lors du dimensionnement des barres BA, le logiciel a détecté les avertissements. Il faut remarquer que dans cette boîte de dialogue un avertissement est considéré de façon plus générale que dans le tableau de résultats pour les barres BA. L'avertissement peut concerner aussi bien le dépassement de la densité du ferrailage (dans le tableau, affiché en rouge - les dispositions réglementaires ne sont pas satisfaites), que l'utilisation de l'espacement maximum des cadres (le tableau n'affiche qu'un simple message dans la colonne *Notes*).
- le troisième champ *Calculs contiennent des erreurs* regroupe les barres pour lesquelles, lors du dimensionnement des barres BA, le logiciel a détecté des erreurs. Pour ces barres, les calculs n'étaient pas effectués. Dans le tableau des résultats ces barres sont désignées par le mot: *erreur*. Les erreurs lors des calculs peuvent être dues :
 - * A la définition incorrecte de la barre; l'incohérence des données suivantes peut avoir lieu : section, type de barre et paramètres du ferrailage. En effet, toutes les données doivent être liées à une seule norme et paramètres définissant la barre BA. Il est inadmissible de mélanger les profilés avec les types de barres qui ne leurs correspondent pas; cela concerne également les barres ayant la même géométrie
 - * Aux exigences réglementaires qui ne permettent pas d'effectuer les calculs (dépassement de l'élançement admissible, de l'effort de cisaillement maximal ou du moment).

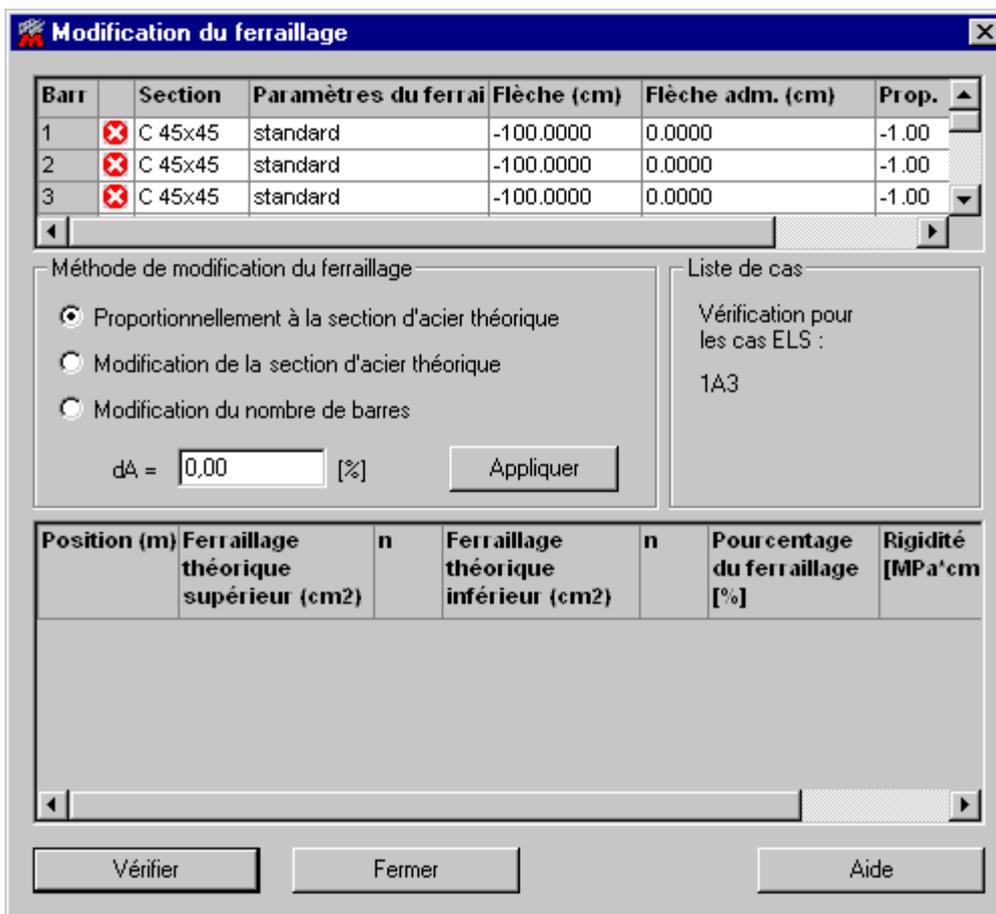
Si le logiciel a détecté les erreurs ou les avertissements lors du dimensionnement des barres BA, la partie inférieure affiche le message informant l'utilisateur sur la façon d'obtenir les informations plus détaillées sur les erreurs et les avertissements qui ont eu lieu.

Si au moins un des éléments dimensionnés était une poutre en flexion simple par rapport à l'axe Z ou une poutre en flexion composée, la partie inférieure de la boîte de dialogue affiche le message informant sur la présentation des résultats pour ces éléments dans le tableau.

La partie inférieure de la boîte de dialogue peut contenir le bouton **Modification du ferrailage**. Ce bouton n'est accessible que si les calculs du ferrailage des barres BA ont été effectués pour la norme qui prend en compte les flèches et qu'au moins une barre n'a pas été vérifiée du point de vue de la flèche. Après un clic sur ce bouton, le logiciel ouvre la boîte de dialogue *Modification du ferrailage*.

Cette option permet la correction semi-automatique du ferrailage calculé pour les éléments dans lesquels la flèche admissible a été dépassée. La flèche (pour l'ELS) peut être calculée pour les normes BA suivantes :

- normes BA polonaises PN-84/B-03264 i PN-B-03264 (1999)
- Eurocode 2 (avec DAN différents)
- normes BA françaises BAEL 91 et BAEL 91 mod.99
- normes BA américaines ACI 318/99 i ACI 318/99 metric
- norme BA britannique BS 8110.



Barr	Section	Paramètres du ferrai	Flèche (cm)	Flèche adm. (cm)	Prop.
1	C 45x45	standard	-100.0000	0.0000	-1.00
2	C 45x45	standard	-100.0000	0.0000	-1.00
3	C 45x45	standard	-100.0000	0.0000	-1.00

Méthode de modification du ferrailage

Proportionnellement à la section d'acier théorique
 Modification de la section d'acier théorique
 Modification du nombre de barres

dA = [%]

Liste de cas

Vérification pour les cas ELS :
1A3

Position (m)	Ferrailage théorique supérieur (cm ²)	n	Ferrailage théorique inférieur (cm ²)	n	Pourcentage du ferrailage [%]	Rigidité [MPa*cm]

La partie supérieure de la boîte de dialogue contient le tableau avec la nomenclature des barres ; dans les colonnes successives, le tableau contient :

- le numéro de la barre
- l'information si la barre a été vérifiée ou pas
- le nom des paramètres du ferrailage
- la flèche actuelle de la barre
- la flèche admissible
- proportion – le rapport entre la valeur de la flèche actuelle et admissible.

Dans le tableau, vous pouvez sélectionner les barres (multisélection) et les trier dans les colonnes.

Dans la partie centrale de la boîte de dialogue, les options sont regroupées en deux zones : *Méthode de modification du ferrailage* et *Liste de cas*. La zone *Méthode de modification du ferrailage* contient trois options :

- *Proportionnellement à la section d'acier théorique* – le pourcentage de ferrailage théorique est augmenté de la valeur donnée de façon à ce que la proportion entre la section d'acier supérieure et inférieure soit gardée
- *Modification de la section d'acier théorique* – si pour la section donnée de la barre, la section d'acier théorique (supérieure ou inférieure) est différente de zéro, elle est augmentée de la valeur donnée
- *Modification du nombre de barres* – si pour la section donnée de la barre, le nombre de barres (supérieures ou inférieures) est différent de zéro, elle est augmentée du nombre de barres défini.

En fonction de l'option sélectionnée, dans le champ disponible au-dessous des options, vous devez saisir :

- $dA = \dots$ [%] – incrément du pourcentage de la section d'acier théorique
- $dA = \dots$ [cm²] – incrément de la section d'acier théorique
- $dn = \dots$ – incrément du nombre de barres.

Les valeurs données dans ce champ d'édition signifient l'incrément de la valeur appropriée par rapport aux valeurs déjà définies. Un clic sur le bouton **Appliquer** calcule et enregistre les valeurs appropriées pour les barres sélectionnées ; si vous avez sélectionné une barre, les valeurs disponibles dans le tableau dans la partie inférieure de la boîte de dialogue seront mises à jour.

Le champ *Liste de cas* présente la liste de cas de charge (le champ n'est pas disponible) utilisés lors des calculs de la flèche à l'ELS.

La partie inférieure de la boîte de dialogue contient le tableau avec les informations sur la surface d'acier théorique pour la poutre sélectionnée (si dans la partie supérieure de la boîte de dialogue, vous avez sélectionné plusieurs barres, le tableau dans la partie inférieure est

vide). Dans le tableau, vous pouvez sélectionner la valeur voulue. Le tableau contient les informations suivantes :

- positions sur la longueur de la barre
- ferrailage théorique supérieur et inférieur
- nombre de barres (supérieur et inférieur)
- pourcentage de ferrailage (théorique)
- rigidité.

L'attention est attirée sur le fait que :

- la définition de la nouvelle valeur du pourcentage de ferrailage permet de définir de nouvelles sections d'acier théoriques et des nombres de barres
- la définition de la nouvelle valeur de la section d'acier théorique permet de calculer la nouvelle valeur du pourcentage de ferrailage et du nombre de barres.

Les calculs sont effectués pour les sections d'acier dues au nombre de barres. Après un clic sur le bouton **Vérifier**, le logiciel effectue les calculs pour les barres sélectionnées. Les calculs effectués, le logiciel met à jour les données dans le tableau. Si la vérification est faite correctement, l'icône dans le tableau change ; la liste des éléments qui ne satisfont pas aux conditions est mise à jour seulement au moment de l'ouverture de la boîte de dialogue. Lors du travail dans la boîte de dialogue uniquement les résultats pour la liste existante sont mis à jour.

Pour modifier le ferrailage pour les barres BA, il faut :

- effectuer les calculs du ferrailage théorique pour les barres BA ; après cela, le logiciel affiche la boîte de dialogue **Rapport des calculs des barres BA**
- cliquer sur le bouton **Modification du ferrailage** disponible dans la boîte de dialogue **Rapport des calculs des barres BA** ; le logiciel ouvre la boîte de dialogue **Modification du ferrailage**
- sélectionner la(les) barre(s) et le méthode de modification du ferrailage
- cliquer sur le bouton **Appliquer**
- cliquer sur le bouton **Vérifier**.

Une fois les calculs effectués, vous devez vérifier les coefficients dans le tableau présenté dans la partie supérieure de la boîte de dialogue. Ces opérations doivent être effectuées jusqu'à obtenir la valeur voulue de la flèche pour toutes les barres.

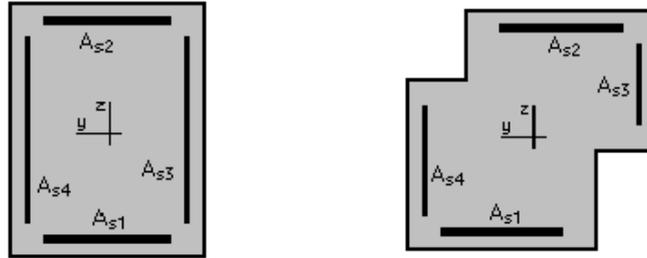
Le ferrailage théorique obtenu après les calculs est interprété de façon suivante :

1. Ferrailage longitudinal

Pour les poteaux en flexion composée à section rectangulaire, en T, en L, en Z, les sections d'acier sont interprétées de la façon suivante :

$A_{s1} = A_{s2}$ = Ferrailage le long de b

$A_{s3} = A_{s4}$ = Ferrailage le long de h



Pour les poteaux dont la section est définie par : polygone régulier, cercle, demi-cercle ou quadrant, les sections d'acier sont interprétées de la façon suivante :

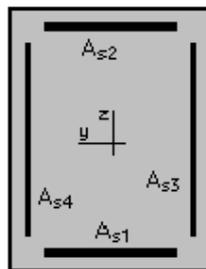
A_{s1} = Ferrailage le long de b - réparti de façon uniforme le long du bord



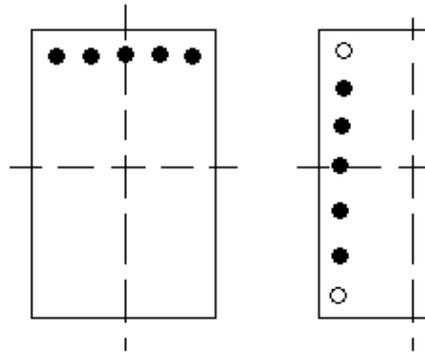
Pour les poutres rectangulaires en flexion composée :

A_{s1} = Armatures inférieures A_{s2} = Armatures supérieures

A_{s1} = Armatures inférieures (axe Z) A_{s2} = Armatures supérieures (axe Z)



Pour les éléments armés dans les deux plans, les résultats sont interprétés de la façon suivante :

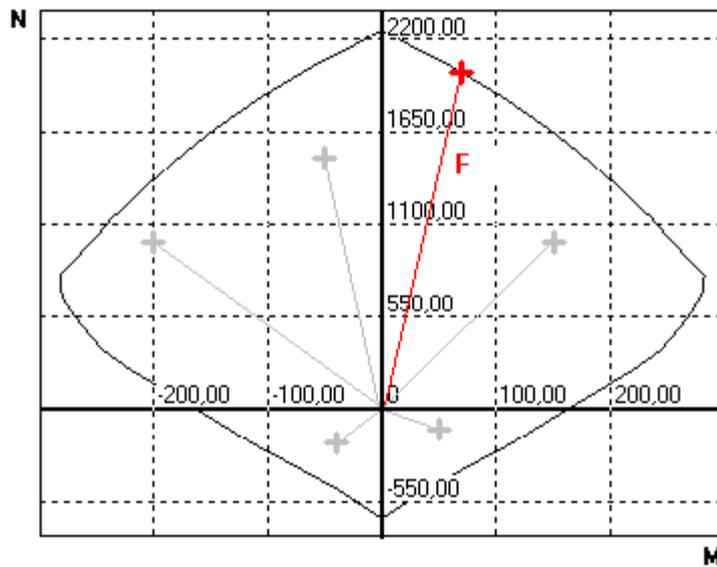


Les sections d'acier sont prises en compte séparément - elles ne possèdent pas de parties communes dans les coins. La section de l'armature d'angle est affectée à la section due à la flexion dans le plan Y.

2. Ferrailage transversal :

- espacement théorique des cadres (Espacement des cadres) - espacement des cadres définis exigé dans la section donnée
- espacement réel des cadres - espacement pris pour la section donnée après la division de l'élément en N parties égales (définies préalablement dans la boîte de dialogue **Paramètres de calcul** et après les calculs de l'espacement dans chaque zone
- Ferrailage transversal type / espacement présente le type de cadres et leur espacement dans les différentes zones définies préalablement dans la boîte de dialogue **Paramètres de calcul**. Le type de ferrailage est défini par le nombre de barres et leur diamètre liés par la lettre f ou par la classe d'acier (suivant la norme utilisée). Le symbole 5f8 (4HA8, 4T8) désigne les cadres chaînés faits en barres $\phi 8$. Pour chaque zone, la description de l'espacement contient le nombre de cadres et leur espacement liés par le signe de multiplication, les zones sont liées par le signe d'addition. La description $20*4.0+10*8.0+20*4.0$ désigne trois zones d'espacement des cadres : dans la première et la troisième, nous avons 20 cadres à espacement tous les 4.0 unités de la dimension de la section, et dans la deuxième, 10 cadres à espacement tous les 8.0 unités de la dimension de la section. Les unités sont celles utilisées pour les calculs.

ATTENTION : Dans le tableau de résultats, la combinaison dimensionnante est la combinaison pour laquelle, pour le ferrailage calculée à partir de toutes les combinaisons, on atteint le taux de travail maximal de la section. Pour une telle combinaison dimensionnante, le logiciel présente les forces sectionnelles.



La combinaison dimensionnante présente la disposition la plus critique des forces pour une section donnée, mais elle ne peut pas être en aucun cas utilisée pour la dimensionner.

6.2.8. Bibliographie (Dimensionnement des structures BA)

Général

P.CHARON, *Calcul des ouvrages en béton arme*, Eyrolles, Paris 1986

V.DAVIDOVICI, *Formulaire du béton arme*, Le Moniteur, Paris 1996

J.EIBLE (ED.), *Concrete Structures Euro-Design Handbook*, Ernst & Sohn, Berlin 1994/96

J.G.MACGREGOR, *Reinforced Concrete Mechanics and Design*, Prentice Hall, New Jersey 1988

EC:

A.W. Beeby, R.S.Narayanan, *Designers' Handbook to Eurocode 2 Part 1.1: Design of concrete structures*, Thomas Telford, London 1995

BAEL:

J.PERCHAT, J. ROUX, *Pratique du BAEL 91 Cours avec exercices corrigés*, Eyrolles, Paris 1998

H.THONIER, *Conception et calcul des structures de batiment*, Presses de l'école nationale des Ponts et chaussées, Paris 1992

BAEL Regles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en beton arme, suivant la methode des etats limites, Eyrolles, Paris 1992

ACI:

Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318R-95), ACI, Farmington Hills 1995

E.G.NAWY, *Reinforced concrete: a fundamental approach*, Prentice Hall, New Jersey 1996

S.K.GHOSH, D.FANELLA, B.RABBAT (ED.), *Notes on ACI 318-95*, Portland Cement Association, Illinois 1996

BS:

Structural Use of Concrete. BS 8110, BSI, London 1998

Handbook to British Standard BS 8110:1995. Structural Use of Concrete, Palladian Publications Ltd, London 1987

CH.E.REYNOLDS, J.STEEDMAN, *Examples of the design of reinforced concrete buildings to BS8110*, E & FN Spon, London 1992

W.MOSLEY, J.BUNGEY, *Reinforced Concrete Design*, McMillan Education Ltd, London 1987

F.KONG, R.EVANS, *Reinforced and Prestressed Concrete*, Van Nostrand Reinhold (UK), Berkshire 1987

EH/EHE:

Instruccion para el proyecto y la ejecucion de obras de hormigon en masa o armado EH-91, Ministerio de Fomento, 1998

Instruccion de hormigon estructural (EHE), Ministerio de Fomento 1999

R.FERRARAS, *Manuel de hormigon armado*, Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos, Madrid 1999.

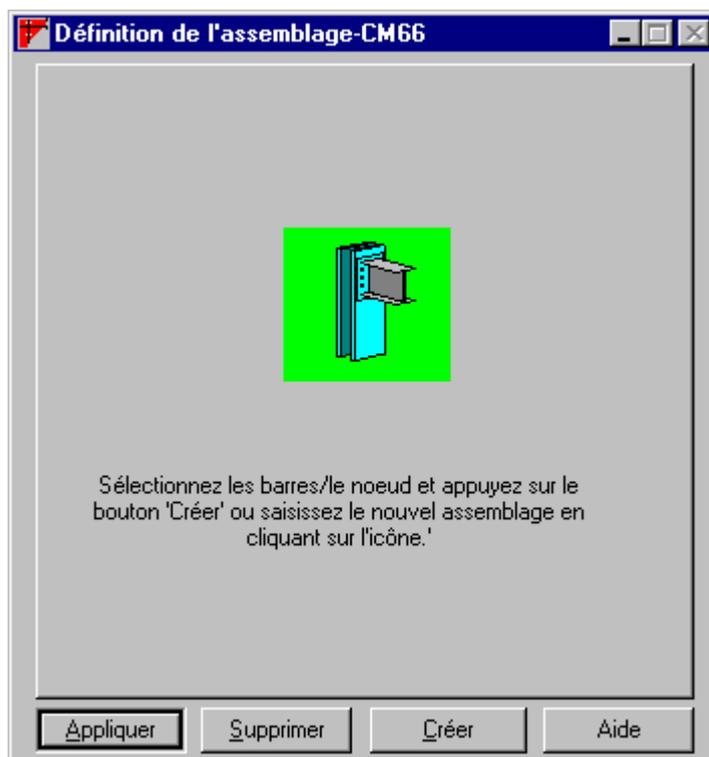
6.3. Vérification des assemblages charpente métallique

Actuellement, dans le système **Robot**, le dimensionnement des éléments des structures acier peut être effectué suivant deux normes acier :

- norme française CM66
- Eurocode 3.

Après la sélection du bureau **ASSEMBLAGES**, la fenêtre de **Robot Millennium** est divisée en quatre parties :

- l'éditeur graphique dans lequel la structure est affichée,
- la fenêtre graphique dans laquelle apparaîtra l'assemblage actif,
- la boîte de dialogue affichant les assemblages définis jusqu'à ce moment (tableau de bord)
- la boîte de dialogue **Définition de l'assemblage** représentée sur la figure ci-dessous :



Dans le système **Robot**, les types d'assemblage suivants sont disponibles :

-  assemblage poutre-poutre (symbole dans le tableau : POT)
-  angle de portique (symbole dans le tableau : POT)
-  assemblage poutre-poteau (symbole dans le tableau : POT)
-  assemblage pied de poteau encastré (symbole dans le tableau : ENC)
-  assemblage pied de poteau articulé (symbole dans le tableau : ART)
-  assemblage pied de poteau encastré directement dans le béton (symbole dans le tableau : BET)
-  assemblage par cornière (symbole dans le tableau : COR)
-  assemblage tubes (symbole dans le tableau : TUB).
-  - assemblage par gousset pour une barre simple et pour un nœud intérieur et pour une membrure du treillis (symbole dans le tableau : GOUS).

Afin de commencer le calcul de l'assemblage défini dans la structure, il faut :

- sélectionner les barres constituant l'assemblage (les barres sélectionnées seront mises en surbrillance dans l'éditeur graphique)
- dans la boîte de dialogue **Définition de l'assemblage**, cliquez sur le bouton **Créer**. Le logiciel affectera de façon automatique la configuration appropriée (angle de portique, poutre-poutre, poutre-poteau etc.) à l'assemblage sélectionné. De plus, dans la boîte de dialogue **Définition de l'assemblage** seront affichées les options spécifiques pour la définition des paramètres du type d'assemblage sélectionné.
- définir les paramètres spécifiques pour le type d'assemblage sélectionné.

Pour les différents types d'assemblage spécifiques, vous pouvez définir les paramètres suivants :

- pour les encastremets :
 - angle de portique, poutre-poutre et poutre-poteau
 - paramètres des sections des barres
 - paramètres du pied du poteau
- paramètres des raidisseurs
 - paramètres des ancrages

- paramètres du béton, des soudures et de la bêche
- pour les pieds de poteau :
 - paramètres des sections des barres
 - paramètres des renforts
 - paramètres des boulons
 - paramètres des raidisseurs et des platines
 - profondeur (pour le pied de poteau encastré directement dans le béton).
- pour les assemblages par cornière :
 - paramètres des profilés des barres
 - paramètres des cornières
 - paramètres des boulons
 - dimensions des recouvrements, distances etc.
- pour les assemblages tubes :
 - type d'assemblage (unilatéral, bilatéral)
 - paramètres des barres aboutissantes (diagonales)
 - paramètres des renforts
 - paramètres des soudures.
- Pour les assemblages par gousset :
 - type d'assemblage (soudé, boulonné) et ses paramètres
 - paramètres des barres etc.

ATTENTION : Si l'assemblage a été défini, il est possible de changer son type. Pour cela, vous pouvez utiliser les options disponibles dans la barre d'outils Changement du type d'assemblage  :

-  changement en pied de poteau articulé
-  changement en pied de poteau encastré
-  changement en pied de poteau encastré dans le béton
-  changement en assemblage poutre-poutre
-  changement en angle de portique
-  changement en assemblage poutre-poteau
-  changement en assemblage par cornières
-  changement en assemblage par tubes
-  changement en assemblage de type gousset (barre simple)



changement en assemblage de type gousset (nœud intérieure)

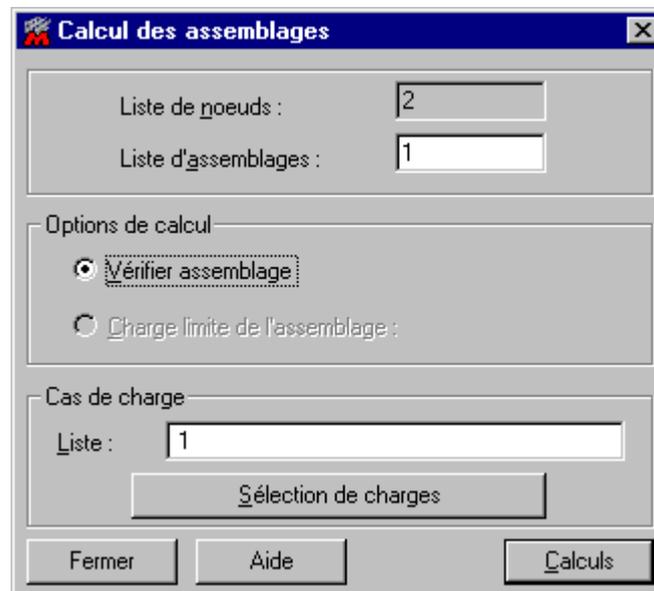


changement en assemblage de type gousset (nœud membrure du treillis).

Afin de commencer le calcul, après avoir défini l'assemblage et ses paramètres, vous devez sélectionner l'option *Calculer* ou *Calculer manuellement*.

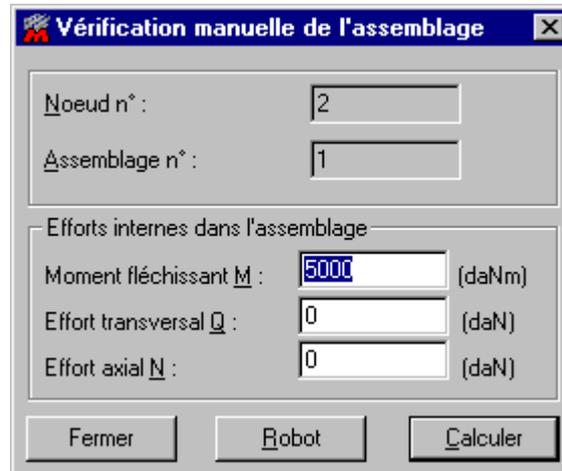
ATTENTION : Lors de la vérification de l'assemblage, l'aspect de la boîte de dialogue affichée à l'écran varie en fonction du type de l'assemblage étudié - par exemple, pour l'assemblage poteau (piéd de poteau encastré ou articulé), la fenêtre **Vérification manuelle de l'assemblage** sera affichée.

Après un clic sur l'icône *Calculer*  affichée dans la barre d'outils ou après la sélection de la commande *Calculer* disponible dans le menu *Analyse*, le logiciel affiche la boîte de dialogue représentée sur la figure ci-dessous.



Après la sélection des cas de charge qui seront pris en compte lors des calculs de l'assemblage (pour le moment, seule l'option *Vérification de l'assemblage* est disponible) et un clic sur le bouton **Calculs**, le logiciel importe les efforts internes agissant dans l'assemblage et vérifie sa résistance.

Chacun des types d'assemblage accessible peut être calculé manuellement. Pour ce faire, vous devez sélectionner la commande *Calculer manuellement* dans le menu *Analyse*, le logiciel affiche alors la boîte de dialogue représentée sur la figure ci-après.



Après la saisie des valeurs des efforts internes dans l'assemblage, le type d'assemblage sélectionné sera vérifié (ATTENTION : pour les pieds de poteaux encastrés et articulés, la boîte de dialogue prend un aspect différent).

Après la fin des calculs de vérification de l'assemblage, la boîte de dialogue *Assemblages définis – données/résultats détaillées* (conf. la figure ci-dessous) affiche l'information suivante :

- numéro de l'assemblage
- type d'assemblage : assemblage poutre-poutre (POU), assemblage poutre-poteau ou angle de portique (POT), pied de poteau encasté (ENC), pied de poteau articulé (ART), pied de poteau encasté dans le béton (BET), assemblage par cornières (COR), assemblage tubes (TUB) et assemblage par gousset (GOUS)
- barres formant l'assemblage
- nœud pour lequel l'assemblage a été créé
- ratio – coefficient de taux de travail maximal dans les éléments de l'assemblage (boulons, platine, soudures etc.). La valeur détermine le rapport le plus défavorable entre la charge et la capacité de charge de cet élément de l'assemblage. Après le calcul de l'assemblage, cette colonne du tableau présente de façon schématique l'information sur l'assemblage est satisfaisant vis-à-vis de la norme (symbole ) ou non (symbole .

Après un clic sur le bouton **Note de calcul**, le logiciel affichera une boîte de dialogue auxiliaire dans laquelle vous pourrez sélectionner le type de note de calcul (note simplifiée ou note complète).

	N°	TYPE	Barres	Noeud	Ratio
1	3	ART	3	4	0.2075
2	2	ENC	1	1	0.5232
3	1	POT	2,1	2	0.1825

Aide
Note de calcul
Changer

Si dans l'assemblage, le profilé de la barre a été changé, un clic sur le bouton **Changer** permet de mettre à jour la géométrie de la structure étudiée (le profilé de la barre sera changé dans le modèle de la structure). L'attention est attirée sur le fait qu'une telle modification demande habituellement le recalcul de la structure.

Dans la présente version du logiciel, vous pouvez également affecter un assemblage défini aux autres nœuds de la structure (l'assemblage doit être de même type). Pour cela, il faut :

- sélectionner (mettre en surbrillance) l'assemblage à copier
- sélectionner les barres de la structures appropriées
- sur l'écran contenant la vue de l'assemblage, cliquer dans le menu sur l'option *Structure / Copier assemblage*.

Après toutes ces opérations, l'assemblage (avec les paramètres actuels) est copié ; le logiciel prend en compte les profilés, matériaux et angles d'inclinaison présents dans le « nouvel » assemblage.

Les dessins ci-dessous présentent les forces qui agissent dans les assemblages acier et les directions de l'action de ces forces pour tous les types d'assemblages disponibles dans le logiciel **Robot**.

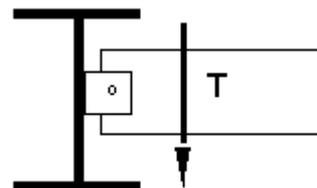
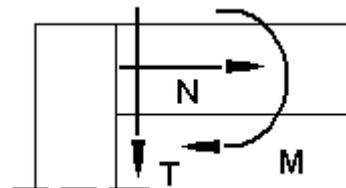
TYPE D'ASSEMBLAGE

poutre-poutre, angle de portique,
poutre-poteau

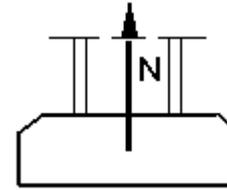


par cornières 

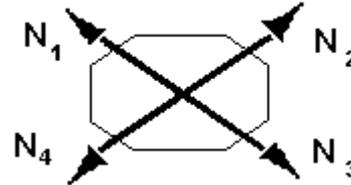
DIRECTION DE L'ACTION DANS L'ASSEMBLAGE



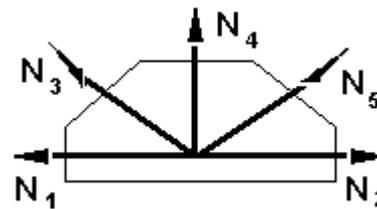
gousset : barre simple



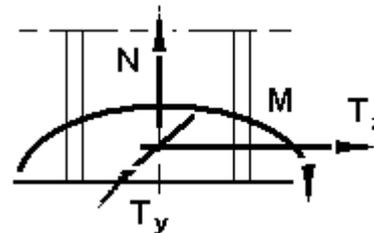
gousset : nœud intérieur



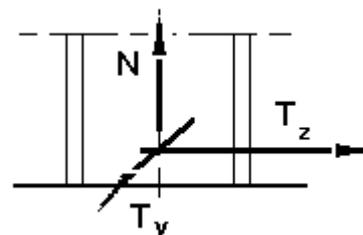
gousset : nœud membrure du treillis



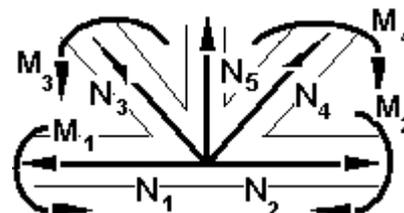
ped de poteau encastré



ped de poteau articulé



par tubes



6.4. Charpente bois

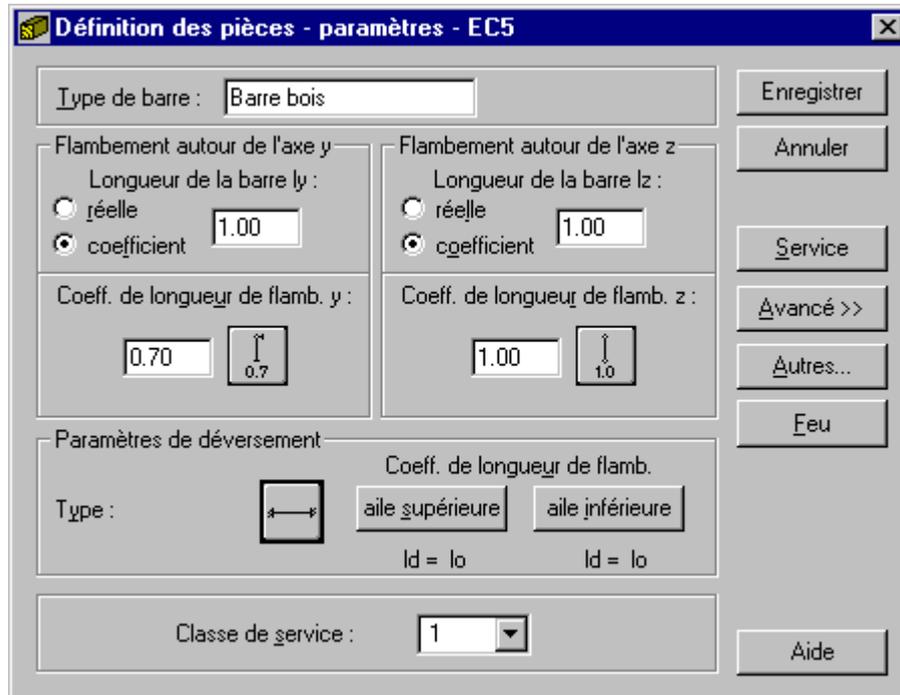
Dans le logiciel *Robot Millennium*, le dimensionnement bois est effectué de façon analogue avec le dimensionnement acier. Le dimensionnement et les calculs peuvent être effectués pour les pièces spécifiques de la structure bois étudiée ou pour les familles des pièces. La définition des pièces et des familles des pièces est effectuée de la même façon que pour les pièces et familles des pièces acier (conf. chapitre 6.1).

De même que pour le dimensionnement charpente métallique, pour les charpentes bois vous pouvez effectuer les opérations suivantes :

- vérification des barres
- vérification des familles
- dimensionnement des familles

Après un clic sur le bouton **Paramètres** affiché dans l'onglet *Pièces* de la boîte de dialogue **Définition**, le logiciel ouvre la boîte de dialogue **Définition de la barre – Paramètres** représentée sur la figure ci-dessous. Dans cette boîte de dialogue vous pouvez définir les paramètres réglementaires stipulés par la norme dimensionnement bois disponible dans le logiciel *Robot* (EUROCODE 5 et la norme bois française CB71), par exemple : longueurs de flambement, paramètres de flambement, paramètres de déversement, conditions de rigidité, paramètres de la résistance au feu, etc.).

Une des fonctionnalités intéressantes du système *Robot* est la possibilité d'étudier les structures en utilisant les profilés paramétrés à inertie variable. L'option est accessible après un clic sur le bouton **Sect. Param.** disponible dans la boîte de dialogue **Définitions** (conf. le chapitre 6.1).



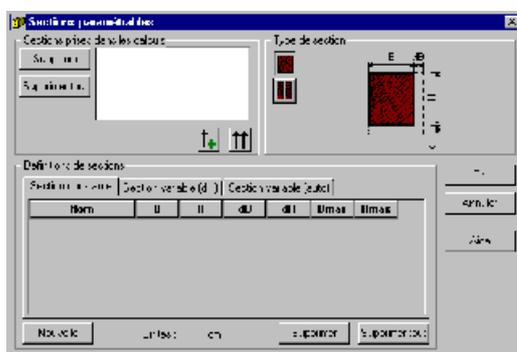
La présentation des résultats de la vérification/dimensionnement des barres bois est identique avec celle effectuée pour les barres acier (conf. chapitre 6.1) avec la seule différence qu'il n'existe pas de catalogue type pour le lamellé collé.

De même que pour les barres acier, vous pouvez lancer l'analyse détaillée pour les barres bois par un clic sur le bouton **Détaillée** disponible dans la boîte de dialogue **Résultats détaillés** pour la norme EC5. Le logiciel permet d'effectuer les calculs auxiliaires à partir des conditions décrites dans la norme Eurocode 5 :

- prise en compte de la compression transversale (coefficient $K_{c,90}$)
- prise en compte des réservations (coefficient K_{hol} : voir la norme Eurocode 5:Book1 IV-5-8)
- prise en compte de la forme des extrémités de la poutre (coefficient K_v : voir la norme Eurocode:Book1 IV-5-7).

Chaque analyse de la barre énumérée ci-dessus est effectuée de façon indépendante et de ce fait, chacune d'elles peut être lancée séparément.

Le choix des sections est effectué par le bouton **Sect. param.** dans l'onglet *Famille*, la fenêtre suivante s'ouvre alors :



Vous définissez la largeur B et la hauteur H initiale ainsi que les paramètres d'incrément de la dimension et les valeurs limites.

ATTENTION : Bmax doit être à 0 pour que la définition de section puisse être utilisée.



6.4.1. Bibliographie (Dimensionnement des structures bois)

EUROCODE 5 - Calcul des structures en bois. Partie 1-1: Règles générales et règles pour les bâtiments. Norme P21-711

STRUCTURES EN BOIS AUX ETATS LIMITES - Introduction a l'Eurocode 5. STEP1 - Matériaux et bases de calcul, SEDIBOIS. Union nationale française de charpente, menuiserie, parquets, 1997

STRUCTURES EN BOIS AUX ETATS LIMITES - Introduction a l'Eurocode 5. STEP2 - Calcul de structure, SEDIBOIS. Union nationale française de charpente, menuiserie, parquets, 1996.

6.5. Ferrailage des plaques et coques

Robot Millennium permet de calculer le ferrailage nécessaire pour les structures de type plaque et coque. Les paramètres du type de ferrailage des plaques et coques dépendent de la norme sélectionnée lors du dimensionnement de la plaque/coque étudiée.

Dans **Robot Millennium**, les normes actuellement disponibles pour le ferrailage des plaques et coques sont les suivantes :

- Eurocode 2 (DAN français, belge, hollandais, italien, finnois et allemand)
- normes françaises BAEL91 et BAEL91 mod.99
- norme britannique BS 8110
- norme hollandaise NEN6720 (VBC 1995).
- normes américaines ACI 318/95 et ACI 318/99 (metric)
- norme polonaise PN 84/B-03264
- normes espagnoles EH 91, EHE 98
- norme russe SNIIP 2.03.01-84

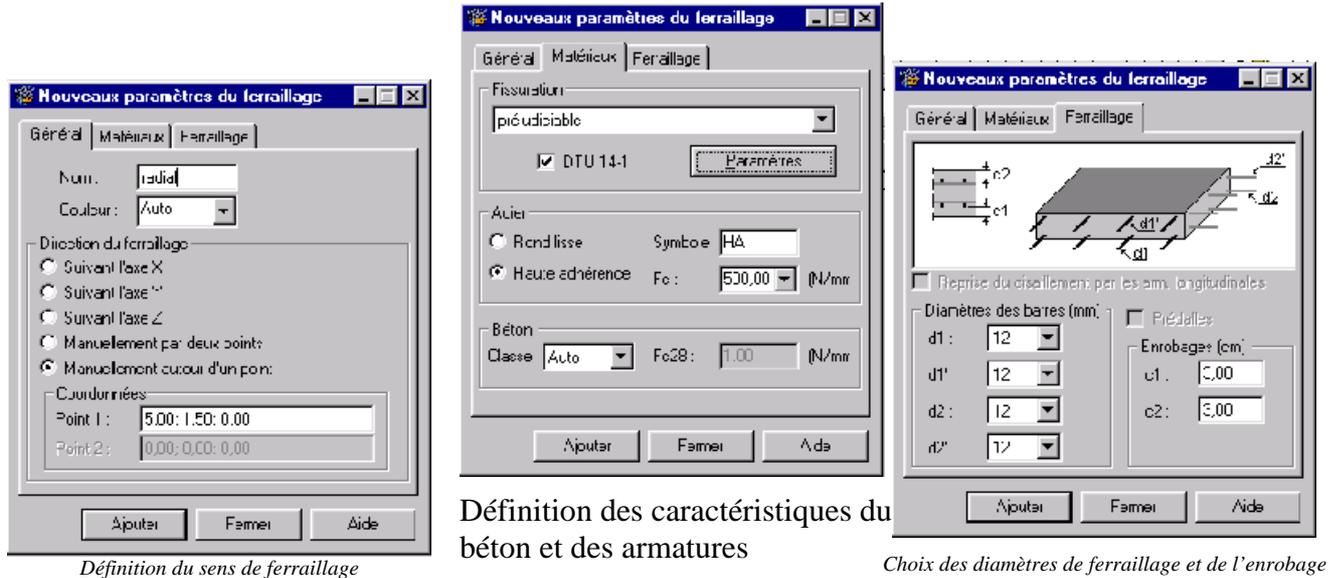
Avant de calculer le ferrailage nécessaire pour la plaque/coque étudiée, vous devez utiliser l'option *Type de ferrailage des plaques et coques* pour sélectionner et/ou définir les types de ferrailage des plaques et coques.

Pour ouvrir la boîte de dialogue prévue à cet effet, vous devez effectuer une des opérations suivantes :

- sélectionnez la commande Type de ferrailage des plaques et coques... dans le menu déroulant Structure, sous-menu Paramètres réglementaires,
- dans le bureau Géométrie cliquez sur l'icône  disponible dans la barre d'outils **Définition de la structure**,

La boîte de dialogue **Nouveau type de ferrailage** est disponible après un clic sur l'icône **Nouveau** dans la boîte de dialogue **Type de ferrailage des plaques et coques**. La boîte de dialogue comprend trois onglets : *Général*, *Matériaux* et *Ferrailage*. Les onglets *Général* et *Ferrailage* sont les mêmes pour toutes les normes, l'aspect de l'onglet *Matériaux* varie en fonction de la norme sélectionnée pour le ferrailage des plaques et coques.

ATTENTION : Pour certaines normes BA, la boîte de dialogue **Paramètres du ferrailage** comprend quatre onglets car l'onglet supplémentaire **Paramètres ELU**, cet onglet permet de calculer la fissuration et les flèches des structures de type plaque et coque.



Définition du sens de ferrailage

Définition des caractéristiques du béton et des armatures

Choix des diamètres de ferrailage et de l'enrobage

De même que dans les boîtes de dialogue de définition des autres attributs de la structure (appuis, profilés de barres etc.), le procédé de définition du type de ferrailage se divise en deux étapes :

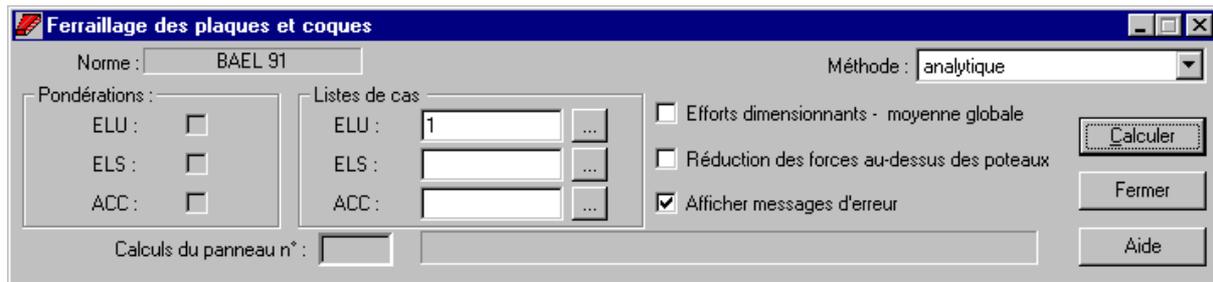
- définition du type de ferrailage
- affectation du type de ferrailage aux panneaux.

Le dimensionnement des dalles BA peut être lancé de deux manières :

- dans la vignette de sélection de type de structure (voir le chapitre 2.1), vous pouvez choisir le dimensionnement d'une dalle BA – le module fonctionnera alors en tant que logiciel indépendant (stand-alone) sans liaison (échange de données) avec les autres composants du système **Robot Millennium**
- Après la définition de la structure, il faut sélectionner dans cette structure la liste appropriée de panneaux (dalles) en béton armé (pour cela, mettez-les en surbrillance) et, ensuite, dans le menu, sélectionnez la commande **Analyse / Dimensionnement panneaux BA / Ferrailage théorique**. Par conséquent, le logiciel affichera le bureau **DALLES BA – FERRAILAGE THEORIQUE** et importera dans le menu réglementaire la géométrie, charges et les résultats obtenus. La fenêtre de ROBOT sera alors divisée en trois parties : fenêtre d'édition avec la vue sur la dalle dimensionnée et deux boîtes de dialogue : **Ferrailage des plaques et coques** et **Ferrailage**.

La description du dimensionnement des dalles BA sera présentée pour le deuxième cas d'appel du module de dimensionnement des dalles BA.

L'option est accessible après la sélection du bureau **DALLES BA : FERRAILLAGE THEORIQUE** disponible dans le groupe de bureaux **DALLES BA – FERRAILLAGE THEORIQUE**. Après la sélection de ce bureau, la boîte de dialogue représentée ci-dessous est affichée dans la partie inférieure de l'écran.



La partie supérieure de la boîte de dialogue affiche le nom de la norme pour laquelle les paramètres du type de ferrailage du panneau ont été définis, de même les informations sur le numéro de la version du module de calcul du ferrailage des plaques et coques du système **Robot** sont affichées.

Pour commencer les calculs du ferrailage de la plaque/coque, vous devez effectuer les actions suivantes :

- Dans la zone Listes de cas, définissez les cas de charge pris en compte lors des calculs pour les états limites spécifiques (ELU, ELS et ACC). Pour cela, vous devez saisir les numéros des cas de charge voulus dans les champs appropriés ou bien cliquer sur le bouton [...] et, dans la boîte de dialogue **Sélection** qui s'ouvre, sélectionner les cas de charge ou les combinaisons de cas de charge pour les états limites spécifiques. Vous pouvez également utiliser à cet effet les combinaisons réglementaires générées préalablement.
- Si les combinaisons réglementaires ont déjà été créées, vous pouvez cocher les cases spécifiques dans la zone Pondérations afin de calculer le ferrailage pour les combinaisons réglementaires pour les états limites voulus.
- Sélectionnez la méthode suivant laquelle le ferrailage de la plaque/coque sera calculé ; les méthodes de calcul suivantes sont disponibles : analytique, moments équivalents (EC2, NEN), moments équivalents suivant Wood et Armer.
- Sélectionnez à l'écran graphique un ou plusieurs panneaux pour lesquels les calculs du ferrailage seront effectués ; si aucun panneau n'est sélectionné, les calculs seront effectués pour tous les panneaux.

Dans **Robot**, la largeur des fissures est calculée indépendamment pour les deux directions définies par les axes des armatures. Cette méthode est analogue avec les méthodes simplifiées présentées dans la littérature. Le logiciel utilise une méthode non réglementaire car la norme ne fournit pas aucune prescription concernant les dalles ferraillées dans les deux directions.

L'algorithme de calcul est basé sur les formules permettant de calculer la largeur des fissures pour les éléments de type poutre. Les calculs sont effectués pour la section dont les armatures résultent de l'ELU, les calculs ont été effectués pour toutes les forces dues aux charges définies en tant que ELS ou combinaison ELS appropriée (voir : *Ferraillage des plaques et coques - calculs*). Les moments pris en compte dans les calculs de l'ELS sont les moments équivalents calculés suivant la méthode sélectionnée (analytique, NEN ou Wood&Armer). La méthode analytique pour ELS ne prend pas en compte l'action des moments m_{xy} . Si vous utilisez la méthode NEN ou Wood&Armer, dans les calculs, le logiciel prend en compte les moments m_{xy} par la majoration des moments m_{xx} et m_{yy} . La méthode Wood&Armer est conseillée par ENV 1992-1-1 EUROCODE 2 (Annexe A.2.7) pour les calculs des dalles ferraillées dans deux directions.

La largeur des fissures calculée dont la valeur est présentée dans le tableau des résultats, est la valeur maximale obtenue des tous les cas analysés.

L'algorithme de calcul des flèches des dalles BA consiste à utiliser les calculs de la dalle isotrope élastique avec la prise en compte de la rigidité de l'élément fissuré. Les déplacements primaires sont obtenus à partir des calculs effectués à l'aide de la méthode EF et ensuite, ils sont modifiés. Les flèches peuvent être identifiées avec les déplacements uniquement pour les appuis non déformés. Dans le module coques (3D), lors des calculs des flèches de la dalle BA, le déplacement de l'appui le moins déplacé est soustrait des déplacements de chaque élément. Cela signifie que les flèches sont mesurées par rapport au plan parallèle à la surface non déformée de la dalle passant par un point d'appui de la dalle déformée.

L'attention est attirée sur les déplacements des autres appuis dans les coins de la dalle.

L'algorithme de calcul utilisé dans **Robot** est basé sur le principe qu'il est possible d'obtenir la flèche de la dalle BA par la multiplication de sa flèche élastique par le coefficient définissant le changement de la rigidité.

$$u_b = \frac{B}{D} * u$$

où :

u_b - déplacement de la dalle BA

u - déplacement élastique de la dalle

D - rigidité élastique de la dalle

B - rigidité équivalente de la dalle BA

Une fois les calculs MEF et les calculs des armatures dues à l'ELS effectués, le logiciel définit la rigidité pour chaque élément fini. Les calculs sont effectués pour les deux directions du ferraillage. Ils prennent en compte la phase du travail de l'élément BA et le rapport entre les charges permanentes et totales. A la suite de cette opération, vous obtiendrez deux rigidités pour chaque élément fini qui, dans la plupart de cas, sont différentes. Puisque les autres calculs n'exigent qu'une rigidité, cette dernière est calculée en tant que la moyenne (moyenne pondérée) des rigidités composantes. Le coefficient pondérateur est le rapport des moments agissant dans les deux directions sur un élément donné.

Ensuite, le logiciel calcule la rigidité moyenne des éléments. Si on admet que la rigidité de la dalle est égale à la rigidité moyenne des éléments, les flèches calculées sont inférieures aux flèches réelles.

L'étape suivante consiste à trouver l'élément dont la rigidité est la plus faible. Si, pour les calculs, vous prenez la même rigidité de la dalle que celle de l'élément, les flèches seront surestimées.

Puisque la valeur recherchée se trouve entre les valeurs calculées de la sorte, on peut admettre :

$$u_b = \alpha * u(\bar{B}) + (1 - \alpha)(B_{\min})$$

$$0.0 \leq \alpha \leq 1.0$$

Le coefficient alpha a été calculé à partir des données dues aux flèches types des dalles BA et est égal à 0.25.

Si vous activez l'option *Correction du ferrailage*, lors des calculs, le logiciel augmente la section d'acier afin de réduire la largeur des fissures. Le ferrailage est disposé dans les deux directions de façon inversement proportionnelle à la rigidité. Dans le cas où le logiciel ne peut pas satisfaire la condition de flèche maximale définie par l'utilisateur, le tableau affiche un avertissement (la cellule contenant le résultat sera affichée en rouge). Dans le logiciel, aucune limitation autre que les limitations réglementaires n'est pas implémentée en ce qui concerne la densité du ferrailage, par conséquent, vous devez faire attention aux aspects économiques de la solution obtenue.

Dans la partie centrale de la boîte de dialogue, l'option *Efforts dimensionnants - moyenne globale* est disponible. Elle est affichée dans cette boîte de dialogue car les résultats des calculs des plaques et coques sont discontinus pour les efforts dans les nœuds du maillage par élément fini (si le même nœud est commun pour quatre éléments finis, une valeur différente est calculée dans ce nœud pour chaque élément). Si l'option *Efforts dimensionnants - moyenne globale* est inactive, la moyenne sera calculée pour les résultats à l'intérieur du panneau pour lequel le ferrailage est calculé. Si cette option est activée, la moyenne est calculée pour les résultats dans les nœuds obtenus pour tous les panneaux.

ATTENTION : Si l'option Efforts dimensionnants - moyenne globale est activée, il faut faire attention lors du calcul du ferrailage pour les structures dont les panneaux ne sont pas situés dans le même plan car le calcul de la moyenne globale peut être effectué pour des valeurs non appropriées (non correspondantes).

Dans la partie inférieure de la boîte de dialogue, deux options sont accessibles :

- *Afficher messages d'erreur* - si vous cochez cette case, le logiciel affichera les messages d'avertissement sur les erreurs éventuelles qui peuvent se produire lors des calculs du ferrailage.
- *Réduction des forces au-dessus des poteaux.*

Pour les éléments de type plaque ou coque appuyés dans un nœud (à l'aide des types d'appuis disponibles ou à l'aide des poteaux), les valeurs des moments ou des contraintes à proximité des appuis nodaux peuvent s'avérer beaucoup plus grandes que dans les autres points de la

dalle. Cela amène aux calculs incorrects du ferrailage dans les zones d'appuis ; pour y remédier, vous pouvez soit modéliser un assemblage à l'aide des assemblages rigides disponibles dans le logiciel, soit utiliser l'option *Réduction dans les appuis*.

La réduction des valeurs dans les appuis consiste à remplacer les valeurs résultantes dans les zones d'appuis par la valeur moyenne prise à partir de la zone la plus proche à ces appuis. Le fonctionnement de cette option est divisé en trois étapes :

- la définition des nœuds d'appui – le logiciel réduit la valeur seulement dans la proximité des nœuds considérés comme « appuyés » ; ce sont les nœuds dans lesquels :
 - si vous avez défini un appui de type poteau aux dimensions non nulles (rectangulaire ou ronde)
 - les éléments de type barre sont liés aux éléments finis (mais seulement dans le cas où la deuxième extrémité de cette barre n'est pas non plus liée à ce même élément fini – comme dans le cas d'un renfort) ; de plus, pour que le nœud soit traité comme appuyé, au moins un élément fini doit aboutir à ce nœud

Pour les nœuds pour lesquels vous avez défini les appuis nodaux (sans dimensions) et les appuis de type voile (linéaire), la réduction n'est pas effectuée.

- la définition du rayon de réduction – si la réduction des valeurs sélectionnées est effectuée dans un nœud donné, il faut déterminer quelles valeurs seront négligées ; les valeurs dans ce nœud et dans les centres des éléments aboutissants à ce nœud sont négligées ; de plus, le logiciel recherche les nœuds qui se trouvent dans la distance inférieure au rayon de réduction – pour ces nœuds, le logiciel néglige aussi les valeurs et il les remplace par une valeur moyenne ; le rayon de réduction est défini de la façon suivante :
 - dans le cas de l'appui nodal – le rayon de réduction est égal à la demi-hauteur de la diagonale de l'appui rectangulaire ou à la demi-diamètre de l'appui circulaire
 - dans le cas du poteau aboutissant au nœud – le rayon de réduction est égal à la demi-longueur de la diagonale du rectangle dont les dimensions sont égales à la largeur et la hauteur du poteau

Si plusieurs « appuis » dont les valeurs des rayons de réduction sont différentes aboutissent à un nœud, le logiciel prend le plus grand rayon défini pour les calculs.

- le calcul de la valeur moyenne – après la définition de la valeur de réduction, le logiciel recherche les nœuds placés dans la distance (par rapport au nœud appuyé) inférieure à la valeur du rayon déterminée ; les valeurs résultantes dans tous ces nœuds et dans les centres des éléments finis qui y aboutissent sont négligées ; ces valeurs sont remplacées par la moyenne des valeurs résultantes qui apparaissent aux bords de la zone négligée – lors des calculs de cette moyenne, on prend en considération les paramètres de la détermination de la moyenne ; si un élément dont l'un des nœuds se trouve à l'intérieur du « rayon de réduction » aboutit à un nœud, la valeur pour cet élément est aussi négligée lors de la prise de la moyenne.

Après le calcul de la valeur moyenne, toutes les valeurs négligées à l'endroit d'un nœud d'appui donné sont remplacées par cette valeur.

Dans la boîte de dialogue *Ferrailage* affichée dans la partie droite du bureau **DALLES BA - FERRAILAGE THEORIQUE**, vous pouvez sélectionner les valeurs à présenter à savoir :

- sections d'acier et espacements du ferrailage calculé (section d'acier des armatures supérieures A_x , inférieures A_x , supérieures A_y , inférieures A_y , espacement des armatures supérieures $e(A_x)$, inférieures $e(A_x)$, supérieures $e(A_y)$, inférieures $e(A_y)$, section d'acier des armatures transversales $A(t)$).

Le ferrailage théorique obtenu lors du dimensionnement des structures de type plaque et coque peut être également présenté sous forme de croix de ferrailage.

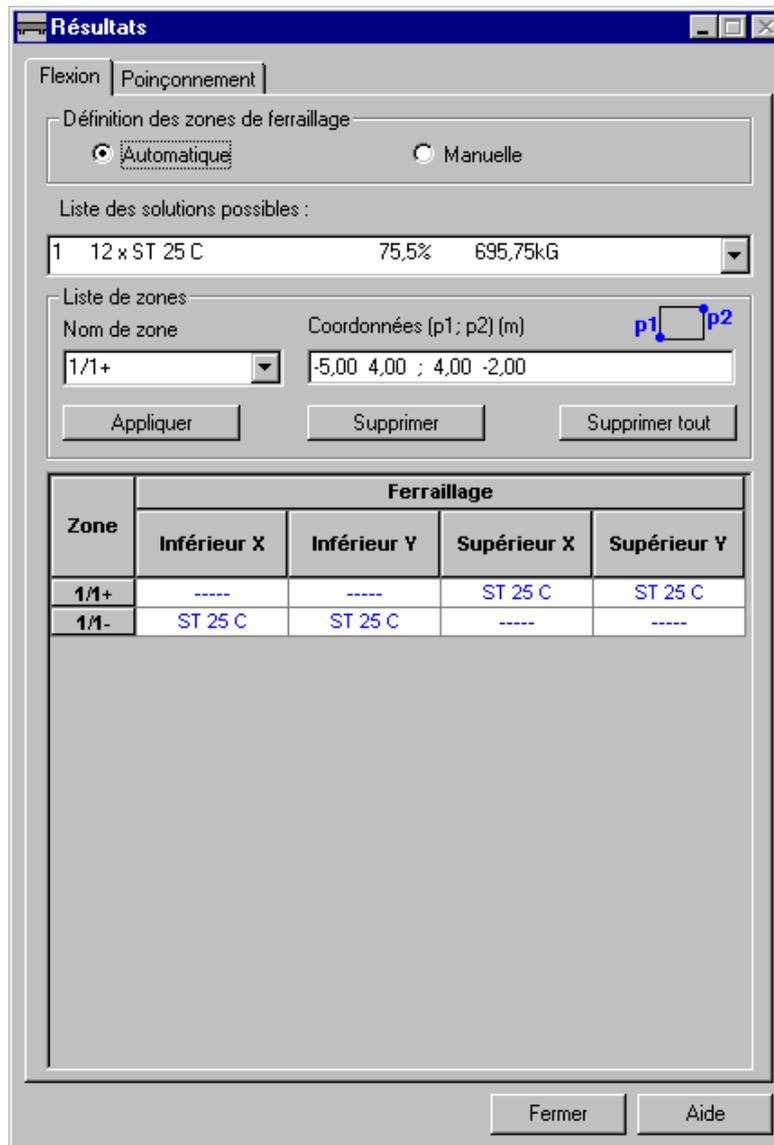
Remarque :

L'information sur les paramètres réglementaires est enregistrée dans le type de ferrailage. Le changement de la norme n'influe ni sur les jeux créés préalablement ni sur les panneaux créés à l'aide de ces jeux. L'information sur le règlement est affichée dans l'onglet Info du tableau des résultats pour le ferrailage.

Dans le cas où vous sélectionnez la norme béton pour laquelle il est possible d'effectuer les calculs en fonction de l'état limite de service, la boîte de dialogue **Ferrailage** contient un onglet supplémentaire ELS. Sur cet onglet, les grandeurs suivantes peuvent être affichées (en fonction de la norme, certaines valeurs ne sont pas accessibles) : largeur de la fissuration dans les deux directions (a_x et a_y) et flèche f .

Après avoir effectué les calculs du ferrailage théorique, vous pouvez passer au bureau **DALLES BA – FERRAILAGE REEL**. Les options disponibles dans la boîte de dialogue **Résultats** permettent de présenter les résultats des calculs de la section d'acier : présentation des zones du ferrailage réel et la modification manuelle de ces résultats.

La boîte de dialogue **Résultats** comprend deux onglets : *Flexion* et *Poinçonnement*.



La boîte de dialogue présentée ci-dessus se compose de trois parties principales:

- définition des zones de ferrailage : automatique / manuelle (définition du mode de travail)
- liste des solutions possibles
- champs de présentation des zones de ferrailage réel pour la solution sélectionnée.

Définition des zones de ferrailage

Le logiciel permet de travailler en deux modes de définition des zones de ferrailage réel : automatique et manuel.

Le mode automatique permet de générer les zones de ferrailage et, ensuite, de calculer pour elles le ferrailage réel à partir des paramètres du ferrailage définis, les options de calcul et

aussi à partir des sections de ferrailage théorique calculées au préalable. Les zones de ferrailage sont définies à l'aide des algorithmes optimisants. Après avoir terminé les calculs, vous pouvez sélectionner la solution de la liste des solutions accessibles proposées par le logiciel.

Le but de l'optimisation des zones de ferrailage est de trouver la solution qui serait la résultante de quelques facteurs. Pour le ferrailage par treillis soudés, les buts de l'optimisation sont :

- nombre de découpages nécessaires pour obtenir les découpages appropriés
- masse de treillis soudés
- degré d'utilisation des treillis soudés.

Pour le ferrailage par barres, les paramètres suivants sont importants : la modularité des espacements, la diminution de l'assortiment des barres utilisées ainsi que la masse de l'acier utilisé.

Le mode manuel permet à l'utilisateur de définir des zones personnalisées de ferrailage réel. Dans ce cas, le logiciel sélectionne seulement les barres ou les treillis soudés respectifs (à partir des sections d'acier théoriques, des paramètres du ferrailage et des options de calcul).

Après la sélection de la Définition des zones de ferrailage manuel et le passage sur l'écran graphique, le pointeur change de forme (il apparaît en forme de croix), ce qui permet de saisir les zones.

La méthode de définition des zones de ferrailage est similaire à la définition des contours du rectangle. La définition consiste à désigner la position de deux points. Le premier clic avec le bouton gauche de la souris définit le premier angle et les contours du rectangle. Le deuxième clic définit l'angle opposé du rectangle. Après la définition de la géométrie de la zone, il faut attribuer le nom à la zone et cliquer sur le bouton **Appliquer**.

Le bouton **Supprimer** sert à supprimer de la liste la zone active, par contre le bouton **Supprimer tout** provoque la suppression de toutes les zones de la liste.

Liste des solutions possibles

La liste des solutions possibles permet de sélectionner une des solutions possibles proposées par le logiciel. Les solutions sont triées selon le facteur d'optimisation. Ce facteur est la moyenne pondérée des paramètres optimisés. Il faut se rendre compte que les solutions qui facilitent les travaux de ferrailage sont préférées par rapport à celles qui exigent l'utilisation minimale de l'acier.

Si vous avez sélectionné l'option de ferrailage par treillis soudés, la liste de solutions contient les données suivantes : nombre et type de treillis soudés utilisés, pourcentage d'utilisation des treillis soudés ainsi que la masse totale des treillis soudés avec les chutes.

Pour l'option du ferrailage par barres, la liste de solutions contient : estimatif de poids de chaque type de barre et de poids total d'acier. Dans cet estimatif, la masse provenant des recouvrements exigées des barres et du ferrailage structurel ne sont pas pris en compte.

Présentation et modification des zones de ferrailage

Les champs qui se trouvent dans le tableau *Liste de zones* facilitent la présentation et la modification des zones de ferrailage.

Pour la zone sélectionnée, les coordonnées de l'angle bas gauche et haut droit sont affichées. La zone sélectionnée est mise en surbrillance dans le tableau de valeurs du ferrailage et dans les fenêtres graphiques qui présentent le système de zones des armatures supérieures et inférieures. La zone active peut être modifiée par l'utilisateur.

ATTENTION : La modification quelconque de la zone lors du travail en mode automatique entraîne le passage en mode manuel.

Les options de l'onglet *Poinçonnement* de la boîte de dialogue permettent de :

- consulter et définir les points de vérification du poinçonnement
- regrouper les points de vérification (homogénéisation de la géométrie)
- affecter aux appuis (poteaux) des caractéristiques géométriques du chapiteau
- consulter les résultats du calcul de poinçonnement.

Consultation et ajout du point utilisateur de vérification de poinçonnement

Si vous avez défini les appuis ponctuels dans la structure, ils sont automatiquement saisis sur la liste de points et ils sont affichés avec la lettre S suivie du numéro d'ordre. Pour chaque type d'appui, vous pouvez lire:

- coordonnées dans le champ *Position*
- numéro du nœud auquel l'appui est affecté (dans le champ *Numéro du nœud*)
- valeur maximale de réaction de l'appui dans le champ *Force de poinçonnement maximale*
- géométrie de l'appui, à condition que celui-ci soit défini lors de la définition de l'appui dans la boîte de dialogue *Avancées*.

Afin d'afficher les données sur le point de vérification donné, vous ne devez que sélectionner son nom disponible dans la liste des points.

Sans tenir compte des appuis, vous pouvez définir des points de vérification utilisateur.

Afin de définir un nouveau point de vérification, il faut cliquer sur le bouton **Nouveau** dans le champ *Point de vérification*. Chaque fois après cette opération, un nouveau point de vérification désigné par la lettre P et un numéro d'ordre suivant, est ajouté à la liste. Après la sélection du point de vérification, les champs permettant la définition de la position du point, de la géométrie de la charge et de la valeur de force de poinçonnement, deviennent actifs. Ces valeurs sont enregistrées automatiquement (aucune opération supplémentaire n'est exigée pour les confirmer).

Afin de supprimer le point de vérification ajouté, il faut le sélectionner et cliquer sur le bouton **Supprimer**. Il n'est pas possible de supprimer les points qui sont des appuis définis dans la géométrie de la structure (avec la lettre S).

Chapiteaux (poteaux)

Le logiciel permet de définir les chapiteaux au-dessus des appuis (poteaux) qui seront pris en compte lors du calcul du poinçonnement. Afin de l'effectuer, il faut activer l'option *Chapiteau* (les champs avec les dimensions sont alors accessibles) et définir les dimensions du chapiteau. Pour le chapiteau sur un appui rectangulaire, ce sont: longueurs des côtés du chapiteau dans le point de contact avec la surface de la dalle (lettres a et b) et la hauteur du chapiteau (lettre h). Pour les chapiteaux sur un appui circulaire, ce sont: le diamètre du chapiteau d et sa hauteur h (dans le cas du chapiteau circulaire) ou les longueurs des côtés du chapiteaux (lettres a et b) - dans le cas du chapiteau rectangulaire.

Dans le cas où l'appui appartient à un groupe, le chapiteau est attribuée à tous les éléments de ce groupe.

Groupement des points

Les points de vérification supplémentaires ainsi que les appuis peuvent être groupés en vue d'une modification plus facile de la géométrie. Les points peuvent être groupés par la sélection dans la liste des noms et un clic sur le bouton > ; il est également possible de grouper automatiquement tous les appuis : à cet effet, vous devez cliquer sur le bouton >>.

Les points de vérification peuvent être groupés s'ils possèdent le même type de géométrie. Dans le cas des appuis, la compatibilité des dimensions de l'appui est exigée. Si les conditions de la compatibilité des dimensions de l'appui ne sont pas remplies, les points de vérification ou les appuis qui ne sont pas compatibles avec le premier élément de la liste seront supprimés lors de la validation du groupe.

Si vous groupez des points à dimensions différentes, les valeurs des dimensions sont prises selon le premier point défini dans le groupe. L'ajout d'un nouveau point à un groupe provoque le changement automatique de ses valeurs contre celles conformes aux dimensions du groupe. Le groupage des appuis ayant les chapiteaux à dimensions différentes se fait selon les mêmes principes.

Après la définition du groupe, toute modification d'un composant du groupe concerne le groupe entier et est effectuée de suite.

Présentation des résultats de calculs

Dans le tableau contenant les résultats de l'analyse du poinçonnement pour chaque point de vérification, vous pouvez trouver les valeurs suivantes:

- force de poinçonnement admissible calculée par le logiciel selon la norme
- effort dimensionnant, calcul défini dans le champ *Force de poinçonnement maximale* pour les points de vérification supplémentaires ou lu à partir des résultats de calcul MEF pour les appuis
- périmètre critique calculé selon les prescriptions de la norme
- ferrailage composé de :
 - étendue du ferrailage à partir du centre du poteau dans les deux directions perpendiculaires
 - périmètre de la zone de ferrailage (si nécessaire)
 - section d'acier totale
 - nombre et diamètre des barres calculés à partir de la section d'acier totale et des paramètres définissant les options de poinçonnement
- coefficient de sécurité étant le rapport entre la force de poinçonnement maximale et la force de poinçonnement admissible.

Les résultats de l'analyse du poinçonnement pour les points successifs sont présentés en différentes couleurs, correspondant au résultat de calcul :

- en bleu pour les points qui satisfont aux conditions de poinçonnement et n'exigent pas de ferrailage
- en vert pour les points qui satisfont aux conditions de poinçonnement et exigent le ferrailage
- en rouge pour les points qui ne satisfont pas de conditions de poinçonnement.

Dans la boîte de dialogue ci-dessus, les options auxiliaires sont disponibles ; cela dépend de la norme de dimensionnement des structures BA sélectionnée.

Norme ACI

Après la sélection de cette norme, l'option Type est disponible. Cette option définit la position pour chaque appui : à l'intérieur de la dalle, au bord de la dalle ou au coin de la dalle. Le type d'appui est utilisé lors du calcul de la force de poinçonnement admissible [ACI 318-99 11.12.2.2].

Norme EC2

Après la sélection de cette norme, l'option b est disponible. Cette option définit la position pour chaque appui : à l'intérieur de la dalle, au bord de la dalle ou au coin de la dalle. Le type

d'appui est utilisé lors du calcul de la force de poinçonnement admissible [ENV 1992-1-1 EC2 4.3.4.3].

Une fois les calculs du ferrailage de la dalle terminés, vous pouvez présenter les résultats sous forme de note de calcul (commande *Note de calcul* dans le menu *Résultats*). **Robot Millennium** affiche alors le traitement de texte intégré dans lequel vous pouvez consulter les données de la poutre étudiée et les résultats des calculs et du dimensionnement.

Après la sélection de la commande *Plan d'exécution* (menu *Résultats*) ou après un clic sur l'icône , **Robot Millennium** passe au bureau **PLANS D'EXECUTION** et affiche le plan d'exécution de la dalle calculée et dimensionnée. Le plan d'exécution de la poutre sera présenté à l'écran sous la forme correspondant aux paramètres du dessin adoptés (voir le chapitre 6.2.5).

6.5.1. Méthode « analytique »

La méthode de calcul de la section d'acier pour le ferrailage des plaques et des coques utilisée dans **Robot**, dite analytique, est basée sur la conception présentée dans l'article [A.Capra, J-F. Maury – « Calcul automatique du ferrailage optimal des plaques et coques en béton armé », *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, N°367, Décembre 1978].

Méthode de calcul

La procédure des calculs est fondée sur le principe de base selon lequel, si l'on connaît les valeurs des ferrillages A_x , A_y correspondant aux deux directions perpendiculaires x et y , on peut prendre un ferrillage « équivalent » dans une direction quelconque n suivant la formule :

$$A_n = A_x * \cos^2(\alpha) + A_y * \sin^2(\alpha)$$

où $\alpha = \angle(x, n)$

Comme les valeurs des forces sectionnelles (moments et efforts de membrane) M_n , N_n peuvent être obtenues suivant les formules :

$$M_n = M_x * \cos^2(\alpha) + M_y * \sin^2(\alpha) - M_{xy} * \sin(2\alpha)$$

$$N_n = N_x * \cos^2(\alpha) + N_y * \sin^2(\alpha) - N_{xy} * \sin(2\alpha) .$$

la condition du ferrillage « correct » (un ferrillage capable de transférer les efforts pour une section quelconque désignée) peut être formulée comme l'inéquation suivante :

$$A_x * \cos^2(\alpha) + A_y * \sin^2(\alpha) = A_n \geq \Phi(M_n, N_n)$$

où la fonction $\Phi(M_n, N_n)$ signifie la valeur du ferrillage nécessaire pour transférer les efforts calculés dans la direction n - M_n , N_n .

L'inéquation :

$$A_x * \cos^2(\alpha) + A_y * \sin^2(\alpha) \geq \Phi(M_n, N_n)$$

détermine sur le plan (A_x , A_y) la zone des valeurs admissibles du ferrillage A_x , A_y (demi-plan). Après le calcul de cette zone pour une sélection de directions suffisamment denses " η " on obtient le domaine des valeurs admissibles A_x , A_y (le logiciel effectue le contrôle tous les 10°).

Le ferrillage pris par le logiciel est le ferrillage minimal, c'est-à-dire que la somme des aires $A_x + A_y$ est minimale.

6.5.2. Méthode de Wood et Armer

La conception du calcul des moments équivalents a été formulée par Wood et Armer (l'appendice de la norme européenne [ENV 1992-1-1 EC2 Design of Concrete Structures – Appendix 2, point A.2.8 Reinforcement in Slabs]). Pour les détails, conf. [R.H.Wood – « The

reinforcement of slabs in accordance with a pre-determined field of moments », Concrete, February 1968, August 1968 (correspondence)].

Méthode de calcul

Pour la direction x sélectionnée (et pour la direction normale correspondante y), les moments dimensionnants M^* sont calculés : « inférieurs » (les moments positifs provoquant la traction principale dans la partie inférieure) et « supérieurs » (les moments négatifs provoquant les tractions dans la partie supérieure). La méthode générale est la suivante.

Calcul des moments «inférieurs» M_{xd}^* , M_{yd}^* :

$$\begin{aligned} M_{xd}^* &= M_x + |M_{xy}| \\ M_{yd}^* &= M_y + |M_{xy}| \end{aligned}$$

Pourtant, si $M_x < -|M_{xy}|$ (c'est-à-dire que M_{xd}^* calculé < 0)

$$\begin{aligned} M_{xd}^* &= 0 \\ M_{yd}^* &= M_y + |M_{xy}^2/M_x|. \end{aligned}$$

Il en est de même quand $M_y < -|M_{xy}|$ (c'est-à-dire que M_{yd}^* calculé < 0) (*)

$$\begin{aligned} M_{xd}^* &= M_x + |M_{xy}^2/M_y| & (*) \\ M_{yd}^* &= 0 & (*) \end{aligned}$$

Si parmi les moments M_{xd}^* , M_{yd}^* obtenus, un moment quelconque est négatif, il faut prendre la valeur nulle (les moments dimensionnants pour la traction des fibres supérieures sont calculés plus loin).

Calcul des moments «supérieurs» M_{xg}^* , M_{yg}^* :

$$\begin{aligned} M_{xg}^* &= M_x - |M_{xy}| \\ M_{yg}^* &= M_y - |M_{xy}| \end{aligned}$$

Si $M_x > |M_{xy}|$ (c'est-à-dire que M_{xg}^* calculé > 0) (*)

$$\begin{aligned} M_{xg}^* &= 0 & (*) \\ M_{yg}^* &= M_y - |M_{xy}^2/M_x| & (*) \end{aligned}$$

Il en est de même quand $M_y > |M_{xy}|$ (c'est-à-dire que M_{yg}^* calculé > 0)

$$\begin{aligned} M_{xg}^* &= M_x - |M_{xy}^2/M_y| \\ M_{yg}^* &= 0. \end{aligned}$$

Si parmi les moments M_{xg}^* , M_{yg}^* obtenus, un moment quelconque est positif, il faut prendre la valeur nulle (ces moments dimensionneraient les armatures inférieures, ce qui est déjà assuré par les moments « inférieurs » M_{xd}^* , M_{yd}^* calculés préalablement)

6.5.3. Méthode NEN

La méthode de dimensionnement suivant les moments équivalents donnés est la méthode réglementaire de la norme hollandaise NEN 6720 (p. 7.3.2).

Méthode de calcul

L'algorithme est une simplification suivante de l'algorithme de Wood et Armer.

Calcul des moments «inférieurs» M_{xd}^* , M_{yd}^* :

$$\begin{aligned} M_{xd}^* &= M_x + |M_{xy}| \\ M_{yd}^* &= M_y + |M_{xy}| \end{aligned}$$

Calcul des moments «supérieurs» M_{xg}^* , M_{yg}^* :

$$\begin{aligned} M_{xg}^* &= M_x - |M_{xy}| \\ M_{yg}^* &= M_y - |M_{xy}| \end{aligned}$$

6.5.4. Etat de contraintes complexe

Les méthodes citées ci-dessus permettent de simplifier les calculs dans le cas de l'état de flexion simple (plaques fléchies). Pour les états complexes (coques) dans lesquels, en plus, les efforts de membrane (N_x , N_{xy} , N_y) sont présents, aucun algorithme simplifié n'a été développé. Il semble que la seule solution admissible est d'utiliser l'approche « analytique ».

Pourtant, comme très souvent les plaques modélisées travaillent comme plaques (quand les efforts de membrane sont peu importants), il est possible de calculer les moments suivant une méthode simplifiée sélectionnée, les forces longitudinales N_x , N_y . seront alors ajoutées aux moments en question.

Il faut souligner que cette procédure est justifiée seulement pour les efforts de membrane peu importants, seul l'utilisateur est responsable des effets de sa modélisation.

6.5.5. Comparaison des méthodes

Dans les tests effectués, en ce qui concerne les résultats pour le ferrailage, les différences entre la méthode analytique et les méthodes simplifiées sont inférieures à 5% de la section d'acier (les méthodes simplifiées donnent le ferrailage maximal un peu plus important).



7. CATALOGUES DE PROFILES POUR LES BARRES

Dans *Robot Millennium*, vous pouvez utiliser plusieurs bases de profilés. Toutes les données relatives à la géométrie des profilés sont enregistrées dans les bases de profilés standard. Vous pouvez y accéder après la saisie du nom de la base de profilés appropriée. Vous pouvez aussi définir un catalogue de profilés utilisateur dans lequel vous pouvez stocker, par exemple, les profilés le plus souvent utilisés.

Après la sélection de la commande *Base de profilés* disponible dans le menu *Outils* de *Robot Millennium* ou après un clic sur l'icône après avoir activé la barre d'outils **Outils**, le logiciel affiche la fenêtre de la visionneuse représentée sur la figure ci-dessous ; dans cette fenêtre vous pouvez consulter les informations sur les profilés standard et effectuer des opérations sur les catalogues des profilés.

Nom	DIM1	DIM2	DIM3	Type	Ax	Ay	Az	Ix	Iy	Iz
CAE	20	0	3	1	0.000112717	0	0	3.33e-010	3.9e-009	3.9e-009
CAE	25	0	3	1	0.000142717	0	0	4.23e-010	8e-009	8e-009
CAE	30	0	3	1	0.000173683	0	0	5.13e-010	1.4e-008	1.4e-008
CAE	30	0	4	1	0.000226683	0	0	1.1947e-009	1.8e-008	1.8e-008
CAE	35	0	3	1	0.0002037	0	0	6.03e-010	2.32e-008	2.32e-008
CAE	35	0	3.5	1	0.000235433	0	0	9.504e-010	2.66e-008	2.66e-008
CAE	35	0	4	1	0.000266683	0	0	1.408e-009	2.95e-008	2.95e-008

La fenêtre de la visionneuse des bases de profilés est divisée en trois parties :

- vue de la section du profilé sélectionné ; dans cette partie de la visionneuse les symboles de base et les dimensions du profilé sont représentés

- boîte de dialogue dans laquelle la liste des valeurs des caractéristiques de base est affichée pour le profilé sélectionné (aire de la section, moments d'inertie, coefficients de résistance etc.)
- tableau dans lequel les données sur les profilés sont affichées.

Après l'ouverture de la visionneuse des catalogues de profilés, le tableau disponible dans la partie inférieure de la fenêtre de la visionneuse affiche tous les profilés enregistrés dans la base de profilés sélectionnée.

Pour chaque profilé, les caractéristiques suivantes sont affichées :

- nom du profilé
- dimensions de base du profilé (dim1, dim2, dim3) - la colonne dim1 contient toujours des données, en fonction du type de profilé. La deuxième et la troisième colonne affichent soit les valeurs correspondantes soit des zéros
- type de forme du profilé
- toutes les dimensions disponibles et toutes les caractéristiques géométriques de la section (les dimensions d_1 , d_2 , ... et les angles a_1 , a_2 sont des paramètres géométriques auxiliaires de la section, les dimensions $P1_L$, $P1_T$, $P2_L$, $P2_T$, $P3_L$, $P3_T$, $P4_L$, $P4_T$ sont des dimensions des profilés en croix)
- symbole du profilé - contient la description complète de la géométrie du profilé quand il est non standard.

Les quatre dernières colonnes du tableau affichent les informations suivantes :

- à parois minces - si la case est cochée, le profilé correspondant est un profilé à parois minces
- matériaux - la case cochée signifie que le matériau a été défini avec le profilé
- description des matériaux - contient la description complète des matériaux utilisés dans la section
- points - contient la description des points caractéristiques du profilé.
- Grâce à la visionneuse des bases de profilés, vous pouvez effectuer les actions suivantes :
- afficher les dimensions et les caractéristiques des profilés enregistrés dans la base de profilés sélectionnée
- ouvrir un nouveau catalogue de profilés, pour cela, sélectionnez dans le menu *Fichier* de la visionneuse la commande *Ouvrir catalogue*

- déclarer un nouveau catalogue de profilés
- copier des profilés d'un catalogue vers un autre
- définir les unités utilisées pour la présentation des caractéristiques du catalogue

De plus, le système **Robot Millennium** dispose d'un module servant à créer des profilés utilisateur et à calculer leurs caractéristiques géométriques et mécaniques.

8. MODULE SECTIONS

Le module sections est disponible après la sélection du bureau **SECTIONS : DEFINITION**  ou par un accès direct à partir de l'écran d'accueil de **Robot Millennium**.

Les fonctionnalités de base du module *Définition des sections* sont les suivantes :

- définition graphique de la section transversale de la barre
- calcul des propriétés géométriques et des propriétés pondérées de la section (aire de section, moments d'inertie, position du centre de gravité etc.)
- enregistrement de la section et des valeurs de ses caractéristiques dans le catalogue de profilés utilisateur

Vous pouvez définir les sections suivantes :

- section pleine
- section à parois minces

Vous pouvez définir les sections pleines suivantes :

- sections avec des trous
- sections homogènes ou mixtes
- sections à bords droits ou arrondis
- sections importées d'une base de données et modifiées dans le module **Définition des sections**.

Pour définir le profilé, il faut effectuer les actions suivantes :

1. définir graphiquement la géométrie de la section transversale
2. définir les caractéristiques physiques et les constantes relatives au matériau
3. effectuer les calculs
4. enregistrer le profilé dans la base de profilés.

Pour définir les contours d'une section pleine ou la géométrie d'une section à paroi mince, vous pouvez utiliser les options suivantes : *polygone*, *rectangle* et *cercle*.. Pour modifier la position du contour, vous pouvez utiliser les options d'édition suivantes : *Translation*, *Rotation*, *Miroir* et *Homothétie*. Pour modifier la section définie, vous pouvez utiliser deux options : *Normaliser contours superposés* et *Modifier points disponibles* dans le menu *Contour*.

Vous pouvez ouvrir la définition d'un profilé enregistré dans la base de profilés standards et, ensuite, le modifier dans le module **Définition des sections** et l'enregistrer dans la base de profilés. Pour cela, vous pouvez utiliser les commandes *Importer à partir d'un catalogue* et *Enregistrer dans un catalogue*.

Vous pouvez définir les profilés avec trous, vous pouvez aussi affecter différentes caractéristiques physiques aux contours spécifiques du profilé étudié. Pour cela, vous pouvez utiliser l'option *Caractéristiques accessible* dans le menu *Contours*.

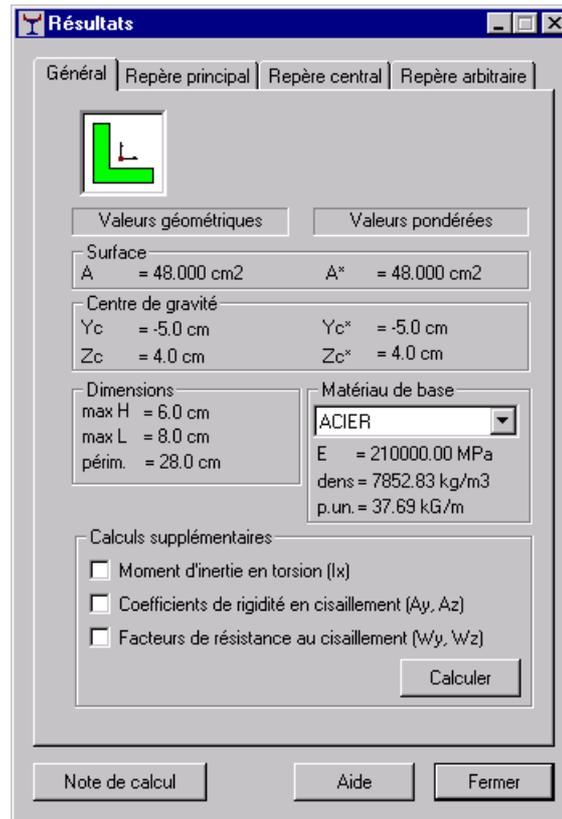
Après la sélection de la commande *Résultats* disponible dans le menu *Résultats*, sous-menu *Caractéristiques géométriques*, les caractéristiques géométriques du profilé définies sont calculées.

Après les calculs, la boîte de dialogue *Résultats* est affichée, dans cette boîte de dialogue les résultats des calculs du profilé seront présentés. Dans la fenêtre graphique, la position du repère central et du repère principal sont affichées.

Pour une section pleine, les valeurs géométriques et pondérées suivantes sont calculées :

- aire de la surface de la section (A_X) et l'aire de la section pondérée (A_X^*)
- périmètre du profilé
- position du centre de gravité dans le repère global
- angles principaux - angles d'inclinaison du premier axe du repère principal par rapport au repère global
- moments d'inertie calculés dans le repère central, principal et arbitraire (I_Y, I_Z, I_{YZ})
- rayons d'inertie (i_Y, i_Z)
- facteurs de résistance au cisaillement (W_Y, W_Z)
- moments statiques (dans un repère quelconque) (S_Y, S_Z)
- moment d'inertie à la torsion (seulement la valeur géométrique) (I_X)
- distances entre les fibres extrêmes et les axes principaux et centraux
- coefficient de rigidité en cisaillement (aire réduite de la section en cisaillement utilisée pour le calcul des contraintes tangentes extrêmes dans la barre) (A_Y, A_Z).

Le logiciel affiche alors la boîte de dialogue **Résultats** dans laquelle les résultats des calculs des caractéristiques de la section pleine seront présentés.



Pour les sections à parois minces, le logiciel calcule les grandeurs suivantes et les affiche sous forme graphique et/ou numérique :

- aire de surface de la section transversale A_x
- position du centre de gravité (Y_0, Z_0) dans le repère global utilisateur
- angle principal (Alpha) - angle d'inclinaison du premier axe par rapport au sens positif de l'axe global Y
- moments d'inertie et de déviation calculés par rapport aux axes du repère global de l'utilisateur (I_Y, I_Z, I_{YZ}) et par rapport aux axes centraux principaux (I_y, I_z)
- moment d'inertie sectoriel $I_\omega, I_{\omega y}, I_{\omega z}$
- distances entre les fibres extrêmes du profilé et les axes principaux et centraux

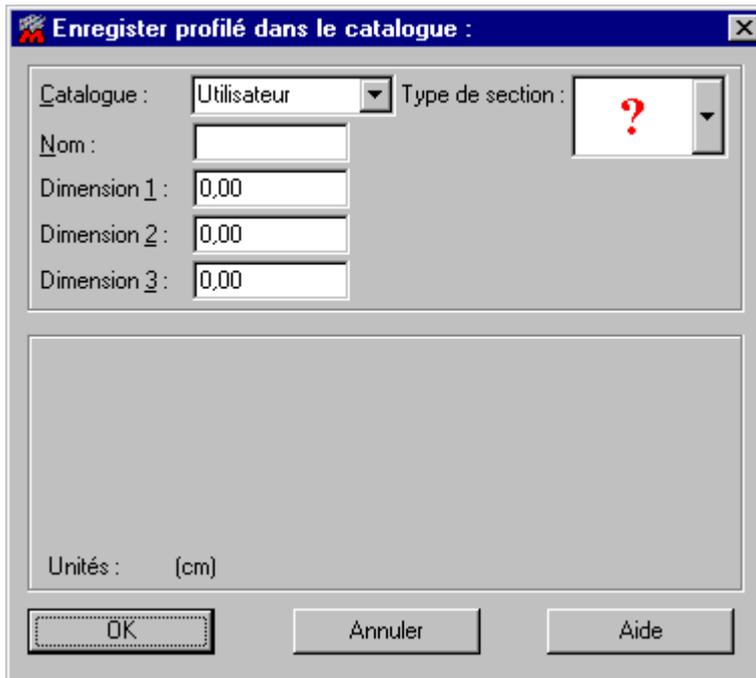
- position du centre de flexion (Y_C, Z_C) dans le repère global
- poids pour l'unité de longueur de la barre (p.un.).

Lors des calculs des grandeurs caractéristiques de la géométrie des sections à parois minces, le logiciel utilise la méthode basée sur le principe de la réduction de la section transversale à la ligne moyenne de la section ; à chaque point sa masse est appliquée : $m(s) = \rho(s) \delta(s)$, où $\delta(s)$ est l'épaisseur de la paroi de la section et s est la coordonnée sectorielle sur la ligne moyenne. La section transversale à parois minces est considérée comme un objet à une dimension (longueur), elle est divisée en un nombre fini quelconque de segments et/ou arcs.

Après avoir défini le profilé, vous pouvez l'enregistrer dans la base de profilés (la base de l'utilisateur). L'option est accessible par :

- le menu Fichier, sous-menu Enregistrer dans un catalogue
- un clic sur l'icône  dans la barre d'outils.

Après la sélection de cette option, la boîte de dialogue présentée sur la figure ci-dessous s'affiche :



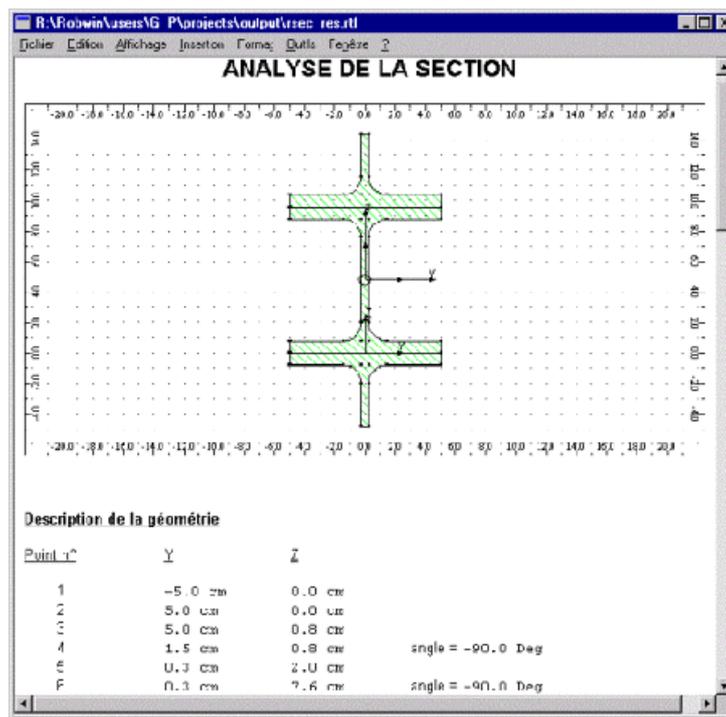
Afin d'enregistrer le profilé dans la base, il faut :

- saisir le nom du profilé : quatre caractères au maximum (Attention : utilisation des chiffres est interdite)
- saisir les dimensions qui caractérisent le profilé (nombres réels définissant les informations sur le profilé) :
 - = dans le cas de la saisie d'une seule dimension, il faut donner Dimension 1
 - = dans le cas de la saisie de deux dimensions, il faut donner : Dimension 1 et Dimension 3.

L'option *Type de profilé* permet de définir la nature/le type de profilé; elle est utilisée lors du dimensionnement de la structure.

Les unités indiquées dans la partie inférieure de la boîte de dialogue concernent le type de profilé (elles sont données en unités courantes des dimensions de la section).

Si, après avoir calculé les caractéristiques géométriques de la section, vous sélectionnez la commande *Note de calcul* disponible dans le menu *Résultats/Caractéristiques géométriques*, la note de calcul sera ouverte dans le traitement de texte intégré du système **Robot Millennium** ; la note de calcul présentera les données et les résultats des calculs des caractéristiques géométriques du profilé.



9. IMPRESSIONS

La création de la documentation pour le projet étudié est une étape très importante lors du travail et c'est pourquoi le système **Robot Millennium** vous offre de nombreuses possibilités pour configurer la documentation afin qu'elle réponde à vos besoins.

9.1. Notes de calcul

Le système **Robot Millennium** vous propose un vaste jeu de modèles de note qui seront utilisés après l'installation du logiciel (rapport d'installation) et pour générer les notes de calcul pour les structures étudiées après le calcul ou le dimensionnement.

Les notes de calcul regroupent toutes les informations saisies par l'utilisateur, les résultats des calculs ainsi que les résultats du dimensionnement (valeurs des efforts internes, éléments de ferrailage pour le dimensionnement des structures en béton armé, paramètres de l'assemblage pour la vérification des assemblages etc.).

Les paramètres de l'impression sont définis dans la boîte de dialogue **Mise en page** décrite dans le chapitre 8.3.

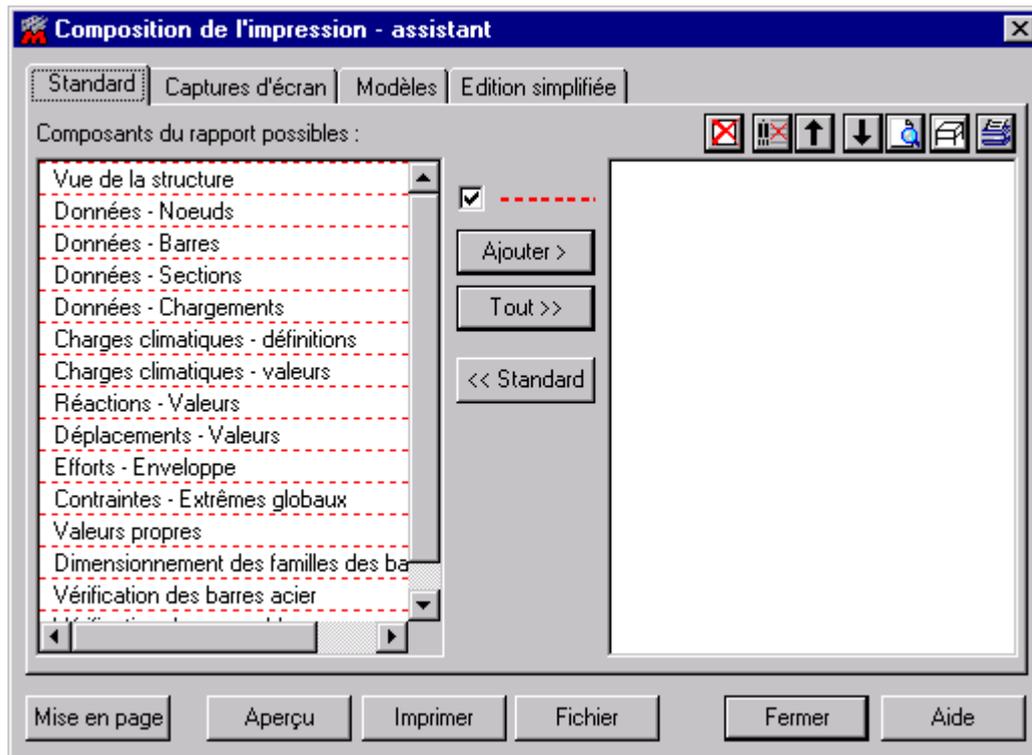
9.2. Composition de l'impression

Vous pouvez imprimer le contenu d'éditeur graphique quelconque en utilisant la commande *Imprimer* accessible dans le menu *Fichier* ; cette commande n'imprime cependant que le contenu de l'éditeur graphique actif.

Le système **Robot Millennium** vous donne également la possibilité de composer librement vos impressions ; pour cela, vous devez utiliser une des options suivantes :

- sélection de la commande *Composer impression* disponible dans le menu *Fichier*.
- clic sur l'icône **Composer impression** 

Après la sélection de cette commande, le logiciel affiche la boîte de dialogue représentée sur la figure ci-dessous.



Dans cette boîte de dialogue, les éléments que vous avez créés en vue d'une impression future peuvent être utilisés pour composer une impression.

A la différence de la commande *Imprimer* standard qui n'imprime que le contenu de la fenêtre active (éditeur graphique, tableau etc.), une telle impression regroupe tous les éléments que vous avez sélectionnés.

La boîte de dialogue *Composition de l'impression – Assistant* comprend donc quatre onglets :

- *Standard* - modèles standards contenant les données de base à propos de la structure (modèle de la structure, informations sur les nœuds et sur les barres formant la structure, charges appliquées), les résultats obtenus lors de l'analyse de la structure (réactions d'appuis, déplacements, les efforts internes, contraintes, valeurs propres pour l'analyse dynamique) et les informations concernant le dimensionnement et la vérification des éléments de la structure acier (barres et assemblages).
- *Captures d'écran* - enregistrement du contenu des fenêtres d'édition capturé par l'utilisateur ; vous pouvez effectuer une capture d'écran quelconque après la sélection de la commande *Capter écran* accessible dans le menu *Fichier* (ou par le menu contextuel), le logiciel affichera alors une petite boîte de dialogue représentée sur la figure ci-dessous. Après un clic sur le bouton OK, le contenu de la fenêtre active est enregistré sous le nom donné dans le panneau gauche (onglet *Captures d'écran*). Au fur et à mesure de l'exploitation de vos résultats, vous effectuez une capture d'écran d'un tableau, d'un diagramme avec tous les filtres pouvant être appliqués dessus, la capture d'écran est stockée provisoirement pour utilisation ultérieure dans la composition d'impression.



ATTENTION : vous pouvez capturer le contenu d'un tableau quelconque à condition que dans le tableau, l'onglet Edition ne soit pas sélectionné.

- *Modèles* - cet onglet vous permet d'accéder à des jeux (compositions) d'impressions utilisateur y compris la modification de la configuration du jeu standard.
- *Edition simplifiée* – dans cet onglet vous pouvez composer une simple impression contenant les données et les résultats des calculs.

La partie inférieure de la boîte de dialogue regroupe les boutons dont la fonction est la suivante :

Mise en page	ouvre la boîte de dialogue <i>Mise en page</i>
Aperçu	affiche le document défini tel qu'il apparaîtra à l'impression
Imprimer	imprime le document composé défini
Fichier	enregistre dans un fichier les composants de l'impression composée définie
Fermer	ferme la boîte de dialogue <i>Composition de l'impression</i>

Si vous cliquez sur le bouton **Aperçu**, le logiciel affichera l'édition telle qu'elle sera imprimée. Dans la partie supérieure de l'écran, le menu représenté sur la figure ci-dessous est disponible.



Deux options affichées dans ce menu méritent d'être discutées de façon plus détaillée car elles peuvent être très utiles lors de la création des documents relatifs à la structure étudiée.

Après le lancement de l'aperçu, le pointeur de la souris passera au mode zoom (représenté par le symbole ).

Si vous cliquez sur le bouton  affiché dans le menu, le pointeur passe au mode de sélection/édition.

En ce mode de pointeur, un double clic sur un objet affiché dans l'aperçu de l'impression entraîne l'ouverture de la fenêtre permettant d'éditer la vue de la structure ou le tableau.

Si vous effectuez des modifications (par exemple une barre de la structure est ajoutée), après un clic sur le bouton **Revenir à l'aperçu**, la modification effectuée dans la vue de la structure ou dans le tableau sera prise en compte automatiquement dans l'impression et dans son aperçu.

Pour revenir au mode zoom, cliquez sur le bouton  affiché dans le menu de l'aperçu de l'impression.

A la fin du menu, les boutons **Exact/Simplifié** sont disponibles. Ces boutons permettent de sélectionner le mode d'activation de l'aperçu des éléments choisis de l'impression composée. La sélection du mode simplifié réduit la durée du lancement de l'aperçu avant impression. L'édition simplifiée ne présente que la répartition des éléments de l'impression sur la page - p. ex les tableaux ne contiendront pas de résultats de calculs.

L'aperçu avant impression sera toujours présenté en mode sélectionné par l'utilisateur sur la barre d'outils présentée sur la figure ci-dessus.

9.2.1. Standard

L'onglet *Standard* de la boîte de dialogue **Composition de l'impression** est divisé en deux panneaux (gauche et droit). Dans le panneau de gauche, le logiciel affiche tous les objets préparés pour l'impression (le contenu de ce panneau dépend de l'onglet sélectionné, veuillez vous référer à la description ci-dessous) ; le panneau de droite affiche tous les composants que vous avez sélectionné dans le panneau de gauche et qui seront imprimés. La composition de l'impression s'effectue par le transfert des objets affichés dans le panneau de gauche vers le panneau de droite, pour le faire, vous pouvez utiliser les boutons **Tout** et **Ajouter**. Un clic sur le bouton **Tout** transfère le contenu du panneau de gauche dans le panneau de droite ; un clic sur le bouton **Ajouter** ajoute à l'impression seulement l'élément mis en surbrillance dans le panneau de gauche.

Dans la partie centrale de cette boîte de dialogue, au-dessous des boutons **Tout** et **Ajouter**, le bouton **Standard** est affiché. Si vous avez composé une impression (sa forme et sa disposition), vous pouvez l'enregistrer comme modèle afin de ne pas répéter la création d'une telle disposition lors d'une composition ultérieure. Pour cela, cliquez sur le bouton **Standard**, tous les éléments de l'édition affichés dans le panneau droit seront transférés dans le panneau gauche de l'onglet *Standard*.

*ATTENTION : Si vous vous définissez vos éléments de l'impression standard, (c'est-à-dire que si vous cliquez sur le bouton **Standard** pour copier les éléments du panneau droit vers le panneau gauche de l'onglet *Standard*), la disposition standard des éléments de l'impression proposée par défaut par le logiciel dans le panneau gauche de l'onglet *Standard* sera écrasée. Le rétablissement de la disposition standard des composants ne sera pas possible.*

Au-dessus du panneau droit, un groupe d'icônes est disponible, leur fonction est la suivante :

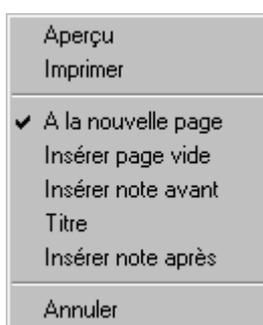
-  - Supprime du panneau droit tous les éléments de l'impression composée définis jusqu'à ce moment
-  - Supprime du panneau droit les éléments sélectionnés de l'impression composée définis jusqu'à ce moment
-  - Déplace l'élément sélectionné d'une position vers le haut de la liste des composants de l'impression composée
-  - Déplace l'élément sélectionné d'une position vers le bas de la liste des composants de l'impression composée

-  - Affiche l'aperçu des éléments sélectionnés de l'édition composée (si aucun élément n'a été sélectionné dans le panneau droit, le logiciel affichera l'aperçu de l'édition entière)
-  - Lance l'aperçu des éléments sélectionnés de l'impression composée en mode simplifié. La sélection du mode simplifié réduit la durée du lancement de l'aperçu avant impression (ATTENTION : l'édition simplifiée ne présente que la répartition des éléments de l'impression sur la page - p. ex les tableaux ne contiendront pas de résultats de calculs)

-  - Imprime les éléments sélectionnés de l'édition composée (si aucun élément n'a été sélectionné dans le panneau droit, le logiciel imprimera l'édition entière)

Si la case *Insérer saut de page* est cochée (elle est symbolisée par une ligne en tiret rouge -----), l'objet ajouté au panneau droit sera imprimé sur une nouvelle page. Le saut de page peut être également inséré à partir du menu contextuel représenté sur la figure ci-dessous (le menu contextuel est affiché après un clic sur le bouton droit de la souris quand le pointeur est positionné sur le panneau de droite de la boîte de dialogue. De plus, le menu contextuel contient d'autres commandes dont la fonction est la suivante :

- Insérer page vide* ajoute une page vide devant le composant sélectionné (mis en surbrillance) de l'impression composée affichée dans le panneau droit .
- Insérer note avant* affiche le traitement de texte intégré du système **Robot Millennium**, dans ce traitement vous pourrez éditer les textes supplémentaires à imprimer devant l'élément sélectionné (mis en surbrillance) dans le panneau droit.
- Titre* affiche le traitement de texte intégré du système **Robot Millennium**, dans ce traitement vous pourrez éditer les textes supplémentaires à imprimer en tant que titre de l'élément sélectionné (mis en surbrillance) dans le panneau droit.
- Insérer note après* affiche le traitement de texte intégré du système **Robot Millennium**, dans ce traitement vous pourrez éditer les textes supplémentaires à imprimer derrière l'élément sélectionné (mis en surbrillance) dans le panneau droit.



9.2.2. Captures d'écran

L'onglet *Captures d'écran* de la boîte de dialogue *Composition de l'impression* est divisé en deux panneaux (gauche et droit). Dans le panneau de gauche, le logiciel affiche deux panneaux (gauche et droit). Le panneau gauche affiche les noms correspondant au contenu des vues capturées. La capture d'écran peut être effectuée après la sélection de la commande *Capter écran* accessible dans le menu *Fichier*.

ATTENTION : Vous pouvez aussi capturer le contenu du tableau à l'exception du cas où l'onglet Edition est sélectionné dans le tableau.

Le panneau droit affiche tous les composants que vous avez sélectionnés dans le panneau de gauche et qui seront imprimés. La composition de l'impression s'effectue par le transfert des captures d'écran affichées dans le panneau de gauche vers le panneau de droite, pour le faire, vous pouvez utiliser les boutons **Tout** et **Ajouter**. Un clic sur le bouton **Tout** transfère le contenu du panneau de gauche dans le panneau de droite ; un clic sur le bouton **Ajouter** ajoute à l'impression seulement l'élément mis en surbrillance dans le panneau de gauche.

Au-dessus du panneau droit, un groupe d'icônes est disponible, leur fonction est décrite dans le chapitre suivant.

9.2.3. Modèles

L'onglet *Modèles* de la boîte de dialogue *Composition de l'impression* est divisé en deux panneaux (gauche et droit). Le panneau gauche regroupe les modèles d'édition prédéfinis fournis avec le logiciel. Les modèles en question contiennent une séquence définie de vues/dessins de la structure et de tableaux de données/résultats, pour certains modèles la sélection des barres/nœuds a été activée. Les modèles prédéfinis sont affichés en bleu dans le panneau en question. Les modèles prédéfinis ne peuvent pas être supprimés, cependant vous pouvez les remplacer. Si vous créez un modèle portant le nom du modèle prédéfini (le nom du modèle sera alors affiché en noir comme tous les autres modèles utilisateur) et que vous le supprimez ensuite, le nom ne sera pas supprimé, l'affichage en bleu sera rétabli, de même que le contenu standard du modèle.

La partie centrale de la boîte de dialogue regroupe les boutons :

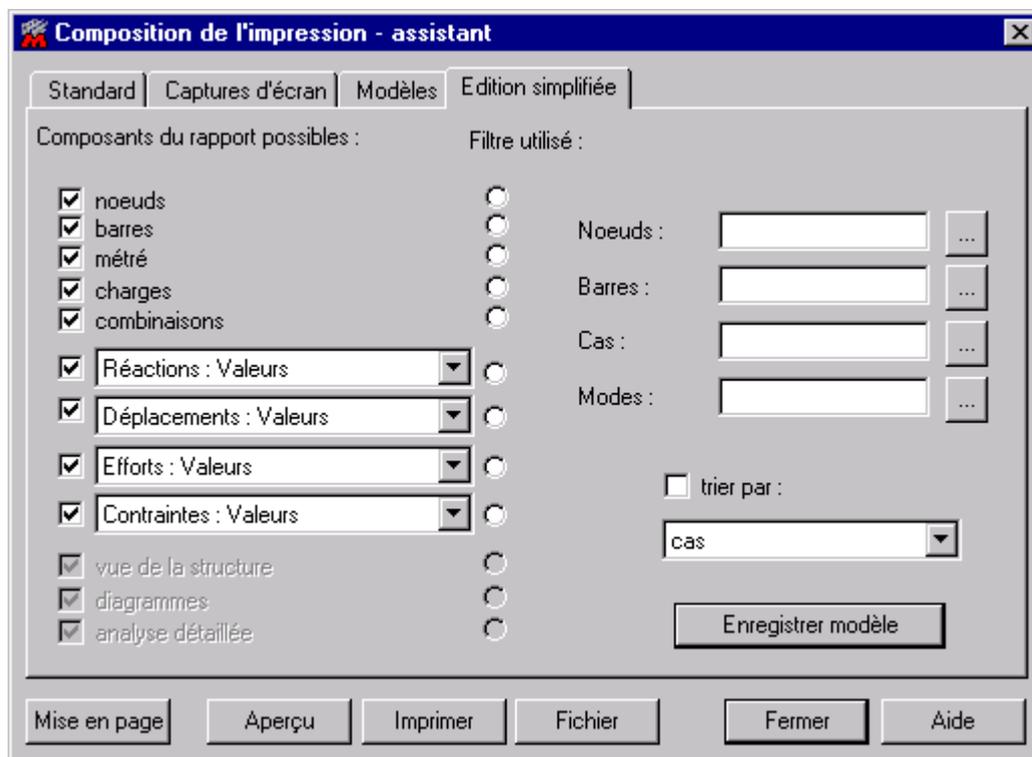
- **Nouveau** Crée une nouvelle ligne dans le champ *Modèles disponibles*, dans cette ligne vous pouvez saisir le nom du nouveau modèle d'impression.
Après la saisie du nom, appuyez sur la touche <Entrée>, tous les composants affichés dans le panneau droit de la boîte de dialogue seront enregistrés dans le modèle.
- **Ouvrir** Insère les composants du modèle sélectionné dans le panneau droit de la boîte de dialogue.

- **Enregistrer** Un clic sur ce bouton enregistre le modèle contenant les composants définis dans le panneau droit de la boîte de dialogue.

Lors de l'ouverture du modèle (après un clic sur le bouton **Ouvrir**), le logiciel affiche une petite boîte de dialogue auxiliaire. Si l'option *Police par défaut pour les titres des composants* est inactive (paramètre par défaut), les polices pour les titres des composants de l'impression spécifique seront conformes aux paramètres définis dans le modèle chargé. Si cette option est inactive, la police sélectionnée dans la boîte de dialogue *Préférences* sera prise pour les titres.

9.2.4. Edition simplifiée

Après la sélection de l'onglet *Edition simplifiée*, la boîte de dialogue *Composition de l'impression* prend l'aspect suivant.



Pour créer le modèle d'édition simplifiée, vous devez effectuer les actions suivantes :

- sélectionnez les valeurs à inclure dans l'impression composée
- filtrez les nœuds, barres, cas ou modes pour lesquels l'impression sera générée
- activez le tri (optionnel)

- cliquez sur le bouton **Enregistrer** le modèle.
Le logiciel passera alors à l'onglet *Modèles* de la boîte de dialogue *Composition de l'impression*, les éléments d'édition sélectionnés seront placés dans le panneau droit. Le modèle d'édition utilisateur peut être enregistré.

Les étapes spécifiques de la création de l'impression composée sont décrites ci-dessous.

ETAPE 1

La partie gauche de la boîte de dialogue affiche les grandeurs que vous pouvez inclure dans l'impression, à savoir nœuds, barres, métré, charges, combinaisons, réactions, déplacements, efforts et contraintes. Pour les réactions, déplacements, efforts et contraintes, trois formes de l'impression du tableau sont possibles : pour l'onglet *Valeurs*, pour l'onglet *Enveloppe* et pour l'onglet *Extrêmes globaux*. Les options *Vue de la structure*, *Diagrammes* et *Analyse détaillée* ne sont pas disponibles dans la présente version du logiciel.

A gauche des options mentionnées, le logiciel affiche un champ de sélection permettant de définir si la valeur en question doit être incluse dans l'impression simplifiée ou non. Le champ peut prendre les formes suivantes :



- la grandeur ne sera pas incluse dans l'édition simplifiée
- la grandeur sera incluse dans l'édition simplifiée pour la sélection complète
- la grandeur sera incluse dans l'édition simplifiée seulement pour les nœuds, barres, cas de charge ou modes propres sélectionnés.

ETAPE 2

Si vous sélectionnez la troisième possibilité, les boutons  deviennent accessibles, les boutons en question sont disponibles à droite des grandeurs citées pouvant être incluses dans l'impression simplifiée. Si une grandeur est incluse dans l'impression composée suivant un filtrage utilisateur, le bouton correspondant est activé, de même, les champs d'édition permettant la saisie des listes de barres, nœuds, cas et modes propres sont accessibles.

Il y a deux possibilités de filtrer les nœuds, barres, cas ou modes propres pour lesquelles l'édition composée sera générée :

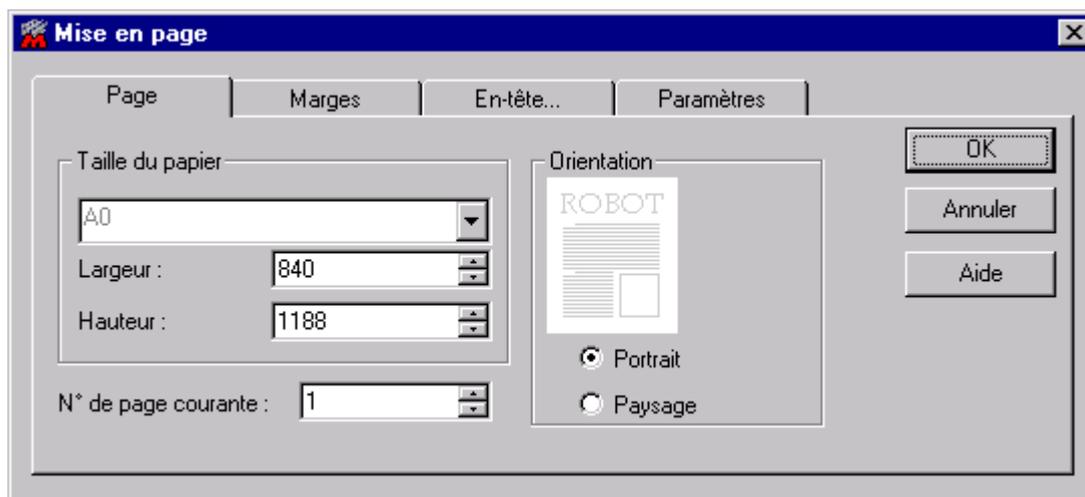
- dans le champ d'édition prévu à cet effet, saisissez les numéros de nœuds, barres, cas ou modes propres
- cliquez sur le bouton , la boîte de dialogue *Sélection* sera alors ouverte.

ETAPE 3

Si l'option *Trier par*, tous les tableaux disponibles dans l'édition composée seront triés suivant le critère sélectionné. Dans la présente version du logiciel, seul le tri par les groupes de nœuds/barres définis est possible.

9.3. Mise en page

Après la sélection de la commande *Mise en page* (menu *Fichier*) ou un clic sur le bouton **Mise en page** (boîte de dialogue *Assistant de la composition de l'impression*), le logiciel affiche la boîte de dialogue représentée sur la figure ci-dessous. Dans cette boîte de dialogue vous pouvez définir les paramètres de la mise en page.



La boîte de dialogue comprend quatre onglets : *Page*, *Marges*, *En-tête* et *Paramètre*. Après la sélection de l'onglet *Page* vous pouvez définir les paramètres suivants : taille du papier (A4, Letter, etc.), orientation (portrait, paysage) et le numéro de page.

Dans l'onglet *Marges*, comme dans chaque traitement de texte standard, vous pouvez définir les dimensions des marges : haut, bas, gauche, droit, la marge pour la reliure et la distance de l'en-tête et du pied de page à partir du bord de la page.

Après la sélection de l'onglet *En-tête* vous pouvez définir si dans les impressions sera incluse la page de garde, l'en-tête, le pied de page et la table des matières.

Vous pouvez aussi définir le mode de présentation de l'en-tête et du pied de page : aucun formatage supplémentaire, avec la ligne de séparation ou encadrés (vous pouvez le définir de façon indépendante pour l'en-tête, le pied de page et le texte).

Il faut ajouter que le système **Robot Millennium** propose l'en-tête et le pied de page standard prédéfinis.

Vous pouvez les modifier après un clic sur le bouton **Editer** relatif à l'élément spécifique (en-tête, pied de page, page de garde).

Le logiciel ouvrira alors le traitement de texte intégré dans lequel vous pourrez éditer l'en-tête, le pied de page ou la page de garde.

A droite des boutons **Editer** relatifs aux options *Page de garde*, *En-tête*, *Pied de page* et *Table des matières*, les boutons **Rétablir** sont disponibles. Un clic sur ces boutons rétablit le contenu par défaut des fichiers définissant les éléments correspondants (*Page de garde*, *En-tête*, *Pied de page* et *Table des matières*). Le bouton **Rétablir** affiché dans la zone *Bordures* permet de revenir aux paramètres par défaut des bordures.

Vous pouvez enregistrer dans un fichier les valeurs des paramètres définis dans l'onglet *En-tête* pour utiliser facilement dans le futur votre jeu personnalisé des composants de la page (en-tête, pied de page etc.).

Pour cela, utilisez l'option *Sélectionnez modèle* permettant de sélectionner un fichier contenant le jeu des paramètres définis dans l'onglet *En-tête*.

L'enregistrement des paramètres est possible après la saisie du nom dans le champ *Sélectionner Modèle* et un clic sur le bouton **Enregistrer**.

Pour supprimer un modèle, sélectionnez-le dans la liste et cliquez sur le bouton **Supprimer**.

L'onglet *Paramètres* affiche toutes les variables définies dans le système ainsi que leurs noms.



10. EXEMPLES

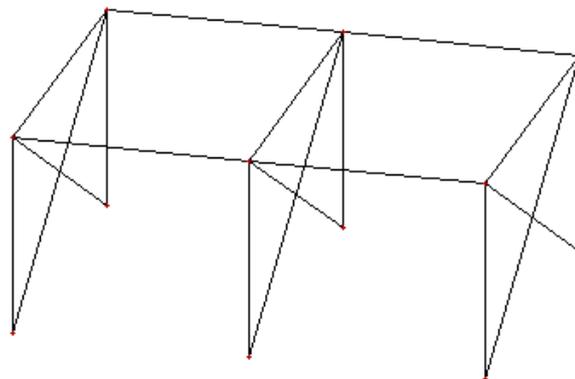
NOTE: Dans les exemples ci-dessous, le principe suivant de désignation de l'origine de et de l'extrémité des barres :

Par exemple, la formule (0,0,6) (8,0,6) signifie que l'origine de la barre est située dans le nœud dont les coordonnées sont $x = 0.0$, $y = 0.0$ et $z = 6.0$, l'extrémité de la barre est situé dans le nœud dont les coordonnées sont $x = 8.0$, $y = 0.0$ et $z = 6.0$. Dans cet exemple, le séparateur (défini dans le système d'exploitation Windows), utilisé pour séparer les coordonnées successives est la virgule ','.

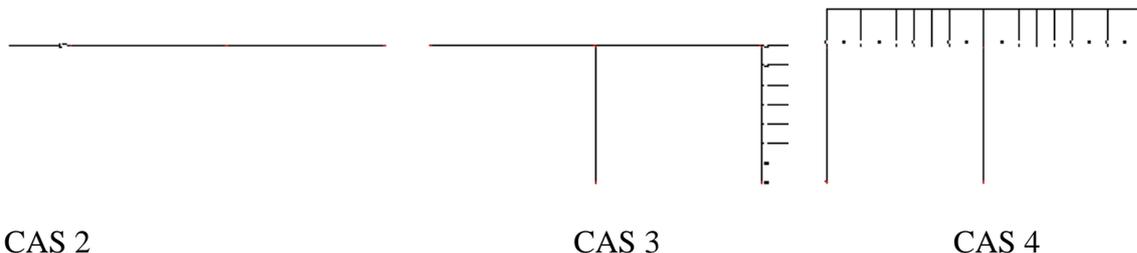
10.1. Structure à barres - exemple avec l'utilisation du système de bureaux de ROBOT Millennium

L'exemple ci-dessous présente la définition, l'analyse et le dimensionnement du portique spatial simple représenté sur la figure ci-dessous.

Unités de données : (m) et (kN).



A chacun des portiques de la structure, quatre cas de charges sont appliqués, trois d'entre eux sont représentés sur la figure ci-dessous :



Dans la description de la définition de la structure les conventions suivantes seront observées :

- une icône quelconque signifie un clic sur cette icône effectué avec le bouton gauche de la souris,
- { x } signifie la sélection (saisie) de l'option « x » dans la boîte de dialogue ,
- ClicBG et ClicBD - ces abréviations sont utilisées respectivement pour le clic sur le bouton gauche et sur le bouton droit de la souris.

Afin de commencer la définition de la structure, lancez le système **Robot Millennium** (cliquez sur l'icône correspondant ou sélectionnez la commande dans le menu affiché dans la barre des tâches).

Dans la fenêtre de l'assistant affichée par **Robot Millennium** (elle est décrite dans le chapitre 2.1) sélectionnez l'avant-dernier icône au premier rang (*Etude d'un portique spatial*).

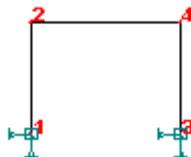


10.1.1. Définition du modèle de la structure

ACTION	DESCRIPTION
 Démarrage MODELISATION /DEMARRAGE	Assurez-vous d'être dans le bureau initial Démarrage .
	Sélectionnez l'icône de définition de lignes de construction.
ClicBG sur le champ <i>Position de l'axe X</i> ClicBG sur l'index Z puis de nouveau sur le champ <i>Position</i>	Entrez les valeurs 0 et 8 en cliquant sur insérer . Entrez les valeurs 0 et 6 changez le libellé en A, B, C...
 MODELISATION/BARRES	Dans la liste des bureaux disponibles dans le système Robot Millennium , il faut sélectionner le bureau BARRES .
ClicBG sur le champ TYPE et sélection du type Poteau ClicBG sur le champ SECTION et sélection du type HEA 340	Sélection des caractéristiques de la barre. Attention : si le profilé HEA340 n'est pas disponible dans la liste, cliquez sur l'icône <i>Nouveau</i> et dans la boîte de dialogue <i>Nouvelle section</i> , ajoutez le profilé en question à la liste de profilés actifs. Si le profilé n'est pas disponible, cliquez sur le bouton  à côté du champ et rajoutez ce profilé.

<p>ClicBG sur le champ <i>Origine</i> (le fond du champ est alors affiché en vert)</p>	<p>Début de la définition des barres dans la structure étudiée (poteaux).</p>
<p>Saisir graphiquement entre A1 et B1 Puis A2 et B2</p>	<p>Définition des deux poteaux du portique.</p>
<p>ClicBG sur le champ TYPE DE BARRE dans la boîte de dialogue Barres et sélection du type : Poutre ClicBG sur le champ SECTION et sélection du type HEA300</p>	<p>Début de la définition de la poutre et sélection de ses caractéristiques.</p> <p>Attention : si le profilé HEA300 n'est pas disponible dans la liste, cliquez sur l'icône <i>Nouveau</i> et dans la boîte de dialogue Nouvelle section, ajoutez le profilé en question à la liste de profilés actifs.</p> <p>Si le profilé n'est pas disponible cliquez sur le bouton  à côté du champ et rajoutez ce profilé.</p>
<p>ClicBG sur le champ <i>Origine</i> (le fond du champ est alors affiché en vert)</p>	<p>Début de la définition de la poutre dans la structure.</p>
<p>Saisir graphiquement entre B1 et B2</p>	<p>Définition de la poutre.</p>
<p>ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION/APPUIS</p>	<p>Sélection du bureau du système Robot Millennium permettant la définition des appuis.</p>
<p>ClicBG sur le champ <i>Sélection actuelle</i> (l'option <i>nœud</i> est active).</p>	<p>Sélection des nœuds de la structure pour lesquels les appuis seront définis.</p>
<p>Passer à l'éditeur graphique ; maintenez enfoncé le bouton gauche de la souris et sélectionner tous les nœuds inférieurs des poteaux.</p>	<p>Dans le champ <i>Sélection actuelle</i>, les nœuds sélectionnés seront saisis : 1 3.</p>
<p>Dans la boîte de dialogue Appuis sélectionner l'icône ENCASTREMENT (elle sera alors mise en surbrillance)</p>	<p>Sélection du type d'appui.</p>

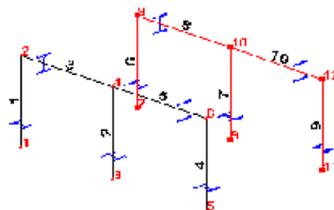
ClicBG sur le bouton Appliquer	Le type d'appui sélectionné sera affecté aux nœuds sélectionnés, la figure ci-dessous affiche la structure à cette étape de définition.
ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium DEMARRAGE	Sélection du bureau prédéfini dans le système Robot Millennium .



CTRL+A	Sélection de toutes les barres.
<i>Edition/Transformer/Miroir vertical</i>	Miroir des barres sélectionnées.
En mode graphique, définir la position de l'axe de symétrie vertical dans la position du poteau droit (x = 8) Fermer	Réalisation du miroir vertical des barres sélectionnées et fermeture de la boîte de dialogue Miroir vertical .
ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION /CHARGEMENTS	Sélection du bureau du système Robot Millennium permettant la définition des charges appliquées à la structure.
ClicBG sur le bouton Nouveau dans la boîte de dialogue Cas de charge	Définition du cas de charge (nature : permanente, nom standard PERM1).
ClicBG sur le champ <i>Nature Vent</i>	Sélection de la nature du cas de charge : vent
ClicBG sur le bouton Nouveau	Définition des deux cas de charge (nature : vent, noms standard : VENT1 et VENT2).
ClicBG sur le champ <i>Nature D'exploitation</i>	Sélection de la nature du cas de charge : exploitation
ClicBG sur le bouton Nouveau	Définition du cas de charge (nature : d'exploitation, nom standard EXPL1).

	Dans la première ligne, le logiciel a appliqué de façon automatique le poids propre à toutes les barres de la structure (en direction -Z).
Sélectionner dans la liste déroulante des cas de charge le 2 ^{ème} cas de charge : 2 : VENT1	Définition des charges agissant dans le deuxième cas de charge.
ClicBG sur l'icône définir charges ClicBG sur l'index Forces Nodale	Sélection du type de charge (charges sur nœud).
Clic BG sur le champ de la colonne LISTE, sélection graphique du nœud supérieur du poteau gauche (n° 2)	Sélection des nœuds auxquels la force nodale sera appliquée.
ClicBG sur le champ intersection de la colonne "F" et de la ligne X et saisir la valeur 100 ClicBG sur Ajouter	Sélection de l'orientation et de la valeur du chargement par force.
ClicBG sur le nœud supérieur du poteau gauche	Sélection des nœuds auxquels le chargement par forces nodales sera appliqué.
Sélectionner dans la liste déroulante des cas de charge le 3 ^{ème} cas de charge : 3 : VENT2	Définition des charges agissant dans le troisième cas de charge.
ClicBG sur l'icône Définir charges ClicBG sur l'index Barres et charge uniforme	Sélection du type de charge (charges uniforme sur barre).
ClicBG sur le champ de la colonne LISTE, sélection graphique du poteau extrême droit (n° 4)	Sélection des barres auxquelles la charge uniforme sera appliquée.
ClicBG sur le champ intersection de la colonne "P" et de la ligne X et saisir la valeur -15 ClicBG sur Ajouter	Sélection de l'orientation et de la valeur du chargement par force.
ClicBG sur le poteau droit (extrême)	Sélection des barres auxquelles la charge uniforme sera appliquée.
Sélectionner dans la liste déroulante des cas de charge le 4 ^{ème} cas de charge : 4 : EXPL1	Définition des charges agissant dans le quatrième cas de charge.
ClicBG sur le champ de la colonne LISTE, sélection graphique de deux travées de la poutre (n° 3 et 5)	Sélection des barres auxquelles la charge uniforme sera appliquée. Attention : vous pouvez sélectionner par fenêtre 2 barres à la fois ou bien indiquer les barres avec la touche CTRL appuyée.

ClicBG sur l'icône Définir charges ClicBG sur l'index Charge uniforme	Sélection du type de charge (charge uniforme).
ClicBG sur le champ intersection de la colonne "P" et de la ligne Z et saisir la valeur -20 ClicBG sur Ajouter	Sélection de l'orientation et de la valeur de la charge uniforme.
ClicBG sur les deux travées de la poutre	Sélection des barres auxquelles la charge uniforme sera appliquée.
ClicBG dans un point quelconque dans la fenêtre Vue	
CTRL + A	Sélection de toutes les barres de la structure.
Activer la fenêtre de définition graphique avec le modèle de la structure et sélectionner la commande <i>Edition/Transformer/Translation</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Translation .
ClicBG sur le champ (dX, dY, dZ), Saisissez la coordonnée {0;10;0}	Définition du vecteur de translation.
ClicBG sur le champ <i>Nombre de répétitions</i> {1}	Définition du nombre de répétitions de la translation.
Appliquer, Fermer	Réalisation de la translation de la structure et fermeture de la boîte de dialogue Translation .
<i>Affichage/Projection/3d xyz</i>	Sélection de la vue 3D de la structure (conf. la figure ci-dessous).
ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION/BARRES	Sélection du bureau du système Robot Millennium permettant la définition des barres.



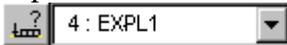
<p>ClicBG sur le champ TYPE DE BARRE et sélection du type : Poutre</p> <p>ClicBG sur le champ SECTION et sélection du type HEA 300</p>	<p>Sélection des caractéristiques de la barre.</p>
<p>ClicBG sur le champ <i>Origine</i> (le fond du champ est alors affiché en vert)</p>	<p>Début de la définition des barres dans la structure.</p>
<p>Cliquer entre les différents nœuds (sur la vue ci-dessus du nœud 2à8)</p>	<p>Définition d'une poutre entre les nœuds pour réaliser les traverses.</p>
<p>ClicBG sur le champ TYPE DE BARRE et sélection du type Barre</p> <p>ClicBG sur le champ SECTION et sélection du type IPE 220</p>	<p>Sélection des caractéristiques de la barre.</p> <p>Si le profilé n'est pas disponible cliquez sur le bouton  à côté du champ et rajoutez ce profilé.</p>
<p>ClicBG sur le champ <i>Origine</i> (le fond du champ est alors affiché en vert)</p>	<p>Début de la définition des contreventements.</p>
<p>Cliquer entre les différents nœuds (sur la vue ci-dessus du nœud 2à7 ; 1à8)</p>	<p>Définition des contreventements.</p>
<p>ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION /DEMARRAGE</p>	<p>Sélection du bureau de démarrage du système Robot Millennium.</p>
<p>ClicBG dans la fenêtre présentant la vue de la structure</p> <p>Sélection des trois dernières barres définies (contreventements et poutre) – maintenir la touche CTRL enfoncée et cliquer du bouton gauche de la souris sur les trois barres.</p>	<p>Sélection des barres à copier.</p>
<p><i>Edition/Transformer/Translation</i></p>	<p>Ouverture de la boîte de dialogue Translation.</p>
<p>ClicBG sur le champ (dX, dY, dZ), {8;0;0}</p>	<p>Définition du vecteur de translation.</p>

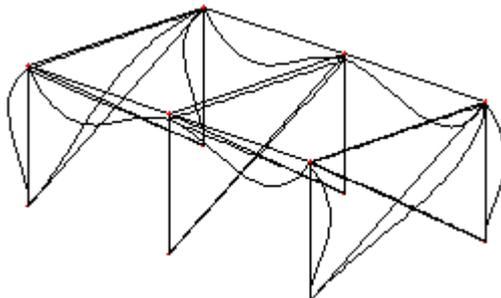
ClicBG sur le champ <i>Nombre de répétitions</i> {2}	Définition du nombre de répétitions de l'opération de translation en cours.
Appliquer, Fermer	Réalisation de la translation des barres et fermeture de la boîte de dialogue <i>Translation</i> .

10.1.2. Analyse de la structure

ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium RESULTATS/RESULTATS	Lancement des calculs de la structure définie. Une fois les calculs terminés, Robot Millennium ouvrira le bureau RESULTATS . La fenêtre de Robot Millennium sera divisée en trois parties : la zone graphique avec le modèle de la structure, la boîte de dialogue <i>Diagrammes</i> et le tableau de réactions
--	---

10.1.3. Analyse des résultats

A partir de la barre d'outils supérieure  sélectionner 4 : EXPL1	Sélection de la présentation des résultats pour le quatrième cas de charge.
Sélection de l'onglet <i>Déformée</i> dans la boîte de dialogue <i>Diagrammes</i> Activation de l'option <i>Déformée</i>	Sélection de la présentation de la déformée de la structure pour le cas de charge sélectionné.
ClicBG sur le bouton Appliquer	Présentation de la déformée de la structure (conf. la figure ci-dessous). Les diagrammes des autres grandeurs disponibles dans la boîte de dialogue <i>Diagrammes</i> peuvent être affichés de façon analogue.

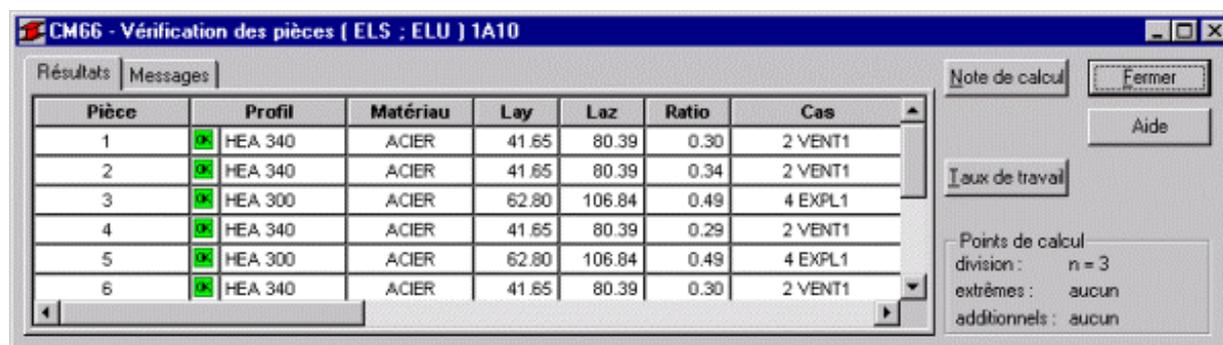


désactivez la commande <i>Déformée</i> dans la boîte de dialogue <i>Diagrammes</i> , Appliquer	
ClicBG dans le tableau <i>Réactions</i> sur le champ avec le nom de la colonne Fz	Colonne Fz est mise en surbrillance
<i>Format/Alignement/Centrer</i> <i>Format/Police/Gras</i>	Edition de la présentation des résultats pour la force Fz.
ClicBD dans le tableau <i>Réactions</i>	Appel du menu contextuel.
Colonnes	Sélection de l'option <i>Colonnes</i> , une boîte de dialogue d'affichage des grandeurs présentées dans le tableau s'ouvre. .
ClicBG dans l'onglet <i>Appuis</i> , activation de l'option <i>Code de l'appui</i> , OK	Dans le tableau, une colonne supplémentaire est affichée, la colonne présente les codes des appuis définis dans la structure, par exemple : bbbbbb signifie l'encastrement, bbbfff - articulation.

10.1.4. Dimensionnement acier

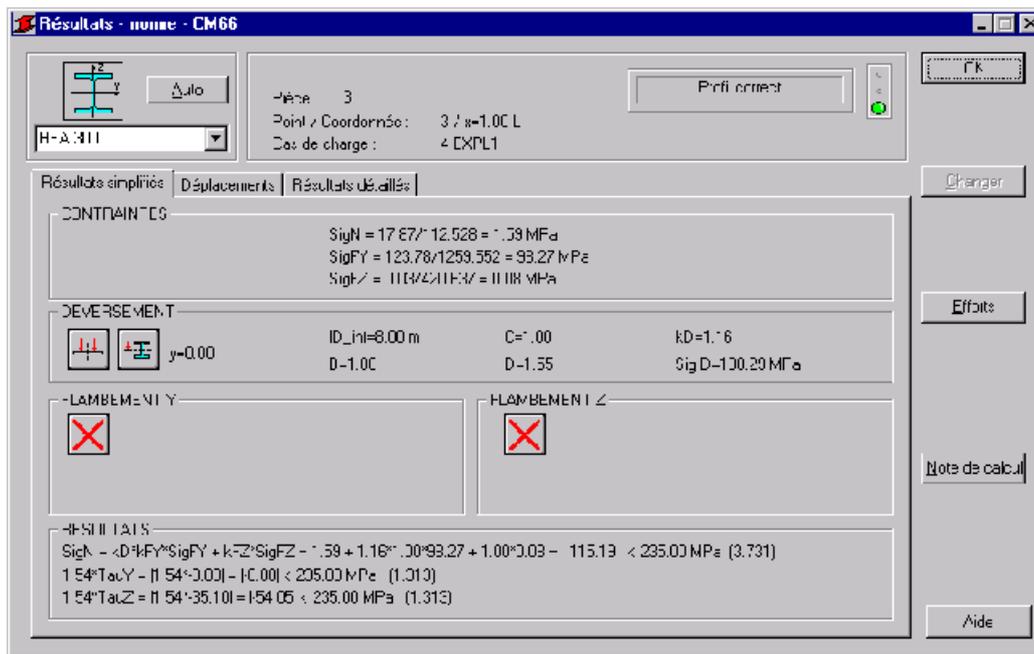
Norme CM66

ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium DIMENSIONNEMENT /DIMENSIONNEMENT ACIER	Début du dimensionnement des barres acier formant la structure. La fenêtre de Robot Millennium sera divisée en trois parties : la zone graphique avec le modèle de la structure, boîte de dialogue Définition et boîte de dialogue Calculs .
ClicBG sur le bouton Liste dans la ligne <i>Vérification des pièces</i> affichée dans la boîte de dialogue Calculs	Ouverture de la boîte de dialogue Sélection de barres .
Dans le champ affiché au-dessus du bouton Précédente saisissez : 1a10, Fermer	Sélection des barres à vérifier.
ClicBG sur le bouton Sélectionner cas de charges dans la boîte de dialogue Calculs	Ouverture de la boîte de dialogue Sélectionner cas .
ClicBG sur le bouton Tout, Fermer	Sélection de tous les cas de charge.
ClicBG sur le bouton Calculer	Début du dimensionnement des barres sélectionnées, Jeu de lignes créées, boîte de dialogue Résultats simplifiés représentée ci-dessous.



Pièce	Profil	Matériau	Lay	Loz	Ratio	Cas
1	HEA 340	ACIER	41.65	80.39	0.30	2 VENT1
2	HEA 340	ACIER	41.65	80.39	0.34	2 VENT1
3	HEA 300	ACIER	62.80	106.84	0.49	4 EXPL1
4	HEA 340	ACIER	41.65	80.39	0.29	2 VENT1
5	HEA 300	ACIER	62.80	106.84	0.49	4 EXPL1
6	HEA 340	ACIER	41.65	80.39	0.30	2 VENT1

ClicBG dans la ligne présentant les résultats détaillés pour la barre n° 3	Ouverture de la boîte de dialogue Résultats pour la barre sélectionnée.
ClicBG dans l'onglet <i>Résultats simplifiés</i>	Présentation des résultats de la barre n° 3. La boîte de dialogue prend l'aspect représenté sur la figure ci-dessous.

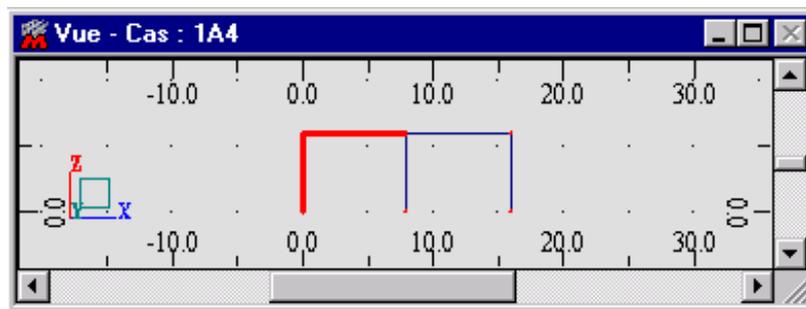


Fermeture des boîtes de dialogue Résultats et Résultats – vérification des barres	
---	--

10.1.5. Vérification assemblages acier

ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium DIMENSIONNEMENT /ASSEMBLAGES ACIER	Début du dimensionnement des assemblages acier présents dans la structure. La fenêtre de Robot Millennium sera divisée en quatre parties : la zone graphique avec le modèle de la structure, la boîte de dialogue Définition de l'assemblage , la fenêtre avec le dessin de l'assemblage défini et la boîte de dialogue Assemblages définis .
---	---

Activez la fenêtre graphique avec la vue sur la structure et, dans le menu, sélectionnez la commande : <i>Affichage / Projection/ Zx</i>	Sélection de la projection sur le plan Zx (la valeur de la coordonnée y = 0 est prise).
Sélection du poteau gauche extrême et de la travée gauche de la poutre – maintenir la touche CTRL enfoncée et cliquer du bouton gauche de la souris sur les barres à sélectionner	Sélection de barres dont l'assemblage sera vérifié.



ClicBG sur le bouton Créer affiché dans la boîte de dialogue <i>Définition de l'assemblage</i>	Définition de l'assemblage entre les barres sélectionnées, la boîte de dialogue affiche des onglets.
Sélectionner l'option <i>Assemblage soudé</i> disponible dans la boîte de dialogue <i>Définition de l'assemblage</i> (onglet <i>Profilés</i>) Appliquer	Sélection du type d'assemblage acier à définir.
ClicBG dans la fenêtre <i>Vue de l'assemblage</i> affichant le dessin de l'assemblage étudié	Modification du menu.
<i>Analyse/Calculer</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Calcul des assemblages</i> .
Sélectionner l'assemblage n° 1 dans la boîte de dialogue <i>Assemblages définis - données/résultats simplifiés</i> (la ligne est mise en surbrillance)	

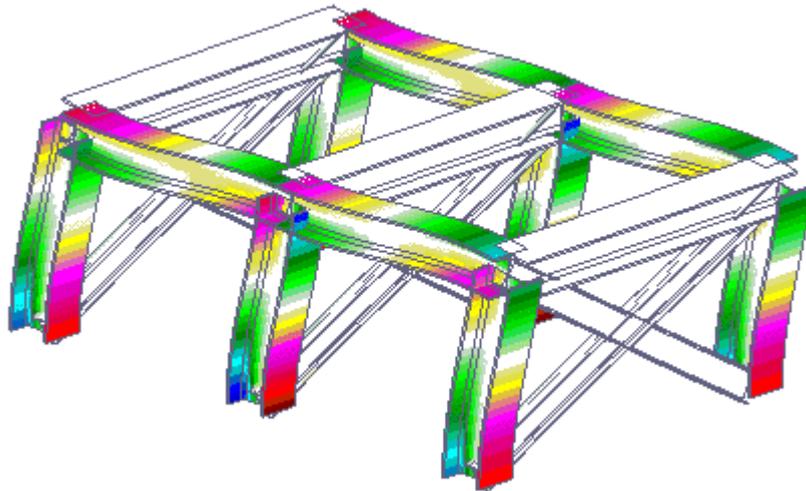
ClicBG sur le champ <i>Liste</i> affiché dans la zone <i>Cas de charge</i>	Définition des cas de charge pris en compte lors de la vérification de l’assemblage.
Saisissez 1A4	Sélection de tous les cas de charge.
ClicBG sur le bouton Calculs	Début de la vérification de l’assemblage.
ClicBG sur le bouton Note de calcul dans la boîte de dialogue <i>Assemblages définis</i>	Après les calculs, Robot Millennium affiche une petite boîte de dialogue et, ensuite, le traitement de texte intégré et ouvre la note de calcul sur la vérification de l’assemblage.
OK	
Fermeture du traitement de texte	

10.1.6. Analyse des contraintes

ClicBG dans le champ de sélection du bureau du système Robot Millennium Résultats/ Analyse des contraintes - structure	Lancement de l’analyse des contraintes de la structure. L’écran est divisé en trois parties : écran graphique contenant le modèle de la structure, la boîte de dialogue <i>Contraintes dans la structure</i> et le tableau de résultats <i>Contraintes dans la structure</i> .
Dans la barre d’outils supérieure, sélectionnez le deuxième cas de charge 2 : <i>VENTI</i>	Sélection du deuxième cas de charge
Dans l’onglet <i>Diagrammes</i> disponible dans la boîte de dialogue <i>Contraintes dans la structure</i> , sélectionnez l’option <i>Max</i> qui se trouve dans la zone <i>Mises</i> Dans l’onglet <i>Cartographies – Déformation</i> , sélectionnez l’option <i>Déformation</i> Appliquer	Lancement des calculs et présentation des valeurs des contraintes sur barres de la structure (le tableau présente les valeurs des contraintes appropriées).
Passez à l’écran graphique et cliquez sur la commande <i>Affichage/ Projection/ 3d xyz</i>	Sélection de la vue axonométrique.

Passez au tableau *Contraintes*
dans la structure
Affichage/ Vue dynamique 3D

Paramétrage de la vue 3D permettant de présenter la structure avec les formes des profilés et les cartographies détaillées sur ces sections (la structure définie avec les contraintes est présentée sur la figure ci-dessous).

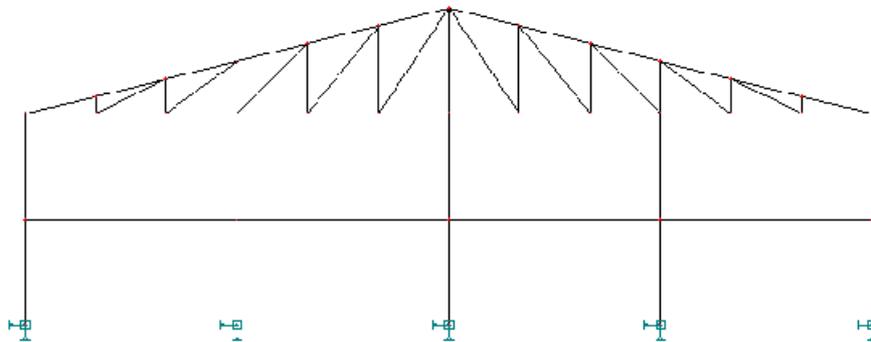


10.2. Structure à barres - exemple sans l'utilisation du système de bureaux de ROBOT Millennium

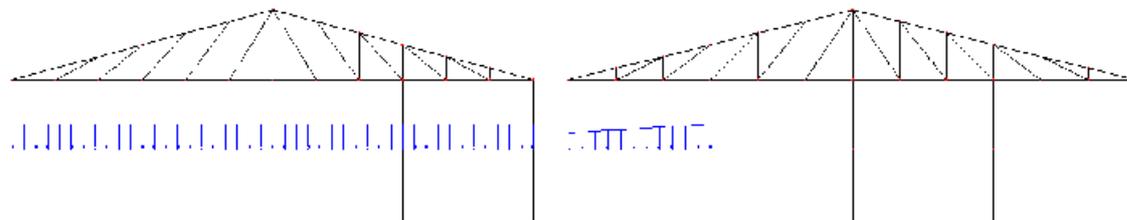
L'exemple ci-dessous présente la définition, l'analyse et le dimensionnement du portique plan simple représenté sur la figure ci-dessous.

La structure comprend un portique en béton armé et un treillis généré à l'aide de la bibliothèque des structures types fournie avec *Robot Millennium*.

Unités de données : (m) et (kN).

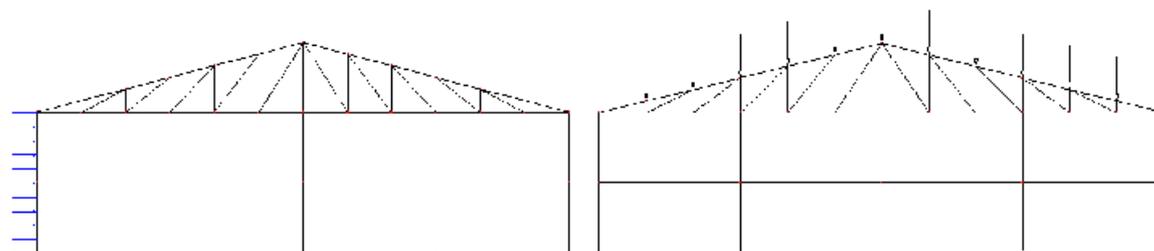


Cinq cas de charges sont appliqués à la structure, quatre d'entre eux sont représentés sur les figures ci-dessous :



CAS DE CHARGE 2

CAS DE CHARGE 3



CAS DE CHARGE 4

CAS DE CHARGE 5

Dans la description de la définition de la structure les conventions suivantes seront observées :

- une icône quelconque signifie un clic sur cet icône effectué avec le bouton gauche de la souris,
- { x } signifie la sélection (saisie) de l'option « x » dans la boîte de dialogue ,
- ClicBG et ClicBD - ces abréviations sont utilisées respectivement pour le clic sur le bouton gauche et sur le bouton droit de la souris.

Afin de commencer la définition de la structure, lancez le système **Robot Millennium** (cliquez sur l'icône correspondant ou sélectionnez la commande dans le menu affiché dans la barre des tâches). Dans la fenêtre de l'assistant affichée par **Robot Millennium** (elle est décrite dans le chapitre 2.1) sélectionnez le premier icône au premier rang (**Etude d'un portique plan**)



10.2.1. Définition du modèle de la structure

ACTION	DESCRIPTION
	Début de la définition des lignes de construction. Le logiciel affiche la boîte de dialogue Lignes de construction .
Dans l'onglet X : <i>position</i> : {0} <i>Répéter x</i> : {4} <i>Espacement</i> : {6} <i>Libellé</i> : 1, 2, 3 ...	Définition des paramètres des lignes de construction verticales.
ClicBG sur le bouton Insérer	Les lignes verticales ont été définies, elles sont affichées dans le champ <i>Jeu de lignes créées</i> .
ClicBG dans l'onglet Z	Début de la définition des paramètres des lignes de construction horizontales.
Dans l'onglet Z : <i>Position</i> : {0} <i>Répéter x</i> : {3} <i>Espacement</i> : {3} <i>Libellé</i> : A, B, C...	Définition des paramètres des lignes de construction horizontales.
ClicBG sur le bouton Insérer	Les lignes horizontales ont été définies, elles sont affichées dans le champ <i>Jeu de lignes créées</i> .

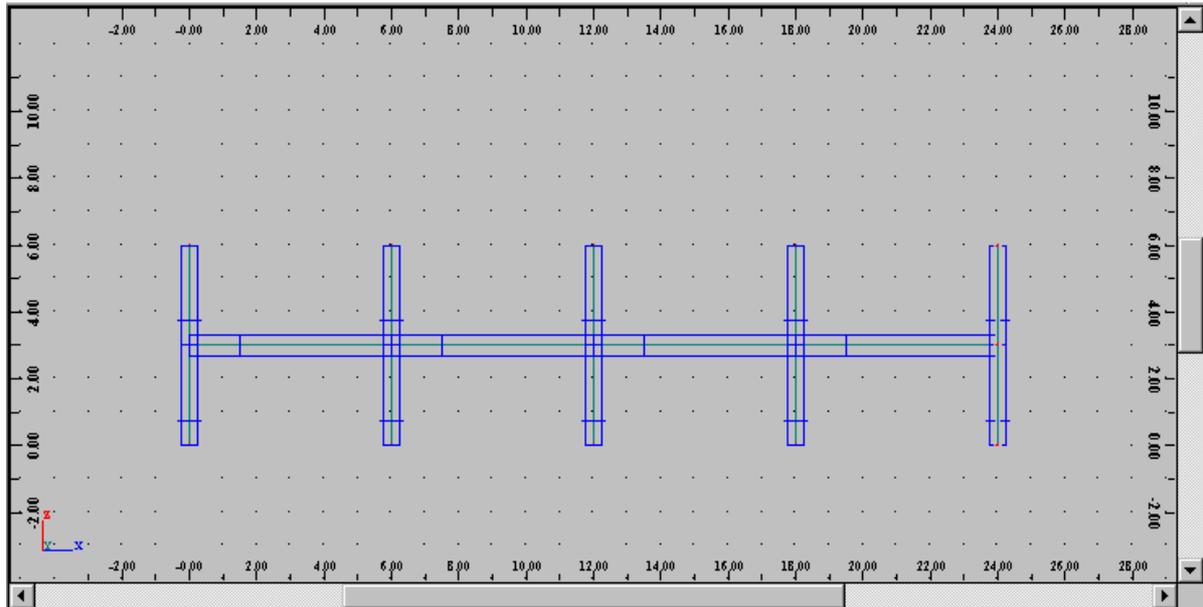
ClicBG sur le bouton : Appliquer, Fermer	Création des lignes de construction définies et fermeture de la boîte de dialogue Lignes de construction , le logiciel affiche alors les lignes de construction.
--	---

Définition des barres de la structure

	Ouvre la boîte de dialogue Profilés .
	Ouvre la boîte de dialogue Nouvelle section .
Sélection des profilés en I, dans le champ <i>Section</i> sélectionnez la section HEA 240 Ajouter	Définition d’une nouvelle section.
ClicBG sur le champ <i>Type de profilé</i> , sélection de l’option « Poutre BA », Saisissez : B45x60 dans le champ <i>Nom</i> b = 45cm, h = 60cm dans les champs respectifs Ajouter Fermer	Définition de la section de la poutre en béton armé.
Fermer	Ferme la boîte de dialogue Sections .
	Ouverture de la boîte de dialogue Barres .
ClicBG sur le champ CARACTERISTIQUES et sélection du type : Poteau BA ClicBG sur le champ SECTION et sélection du type C45x45	Sélection des caractéristiques de la barre.
ClicBG sur le champ <i>Origine</i> (le fond du champ est alors affiché en vert)	Début de la définition des barres formant la structure (poteaux de la structure).
(0 ;0) (0 ;3) (0 ;3) (0 ;6)	Définition des deux premières barres situées sur la ligne de construction n° 1.

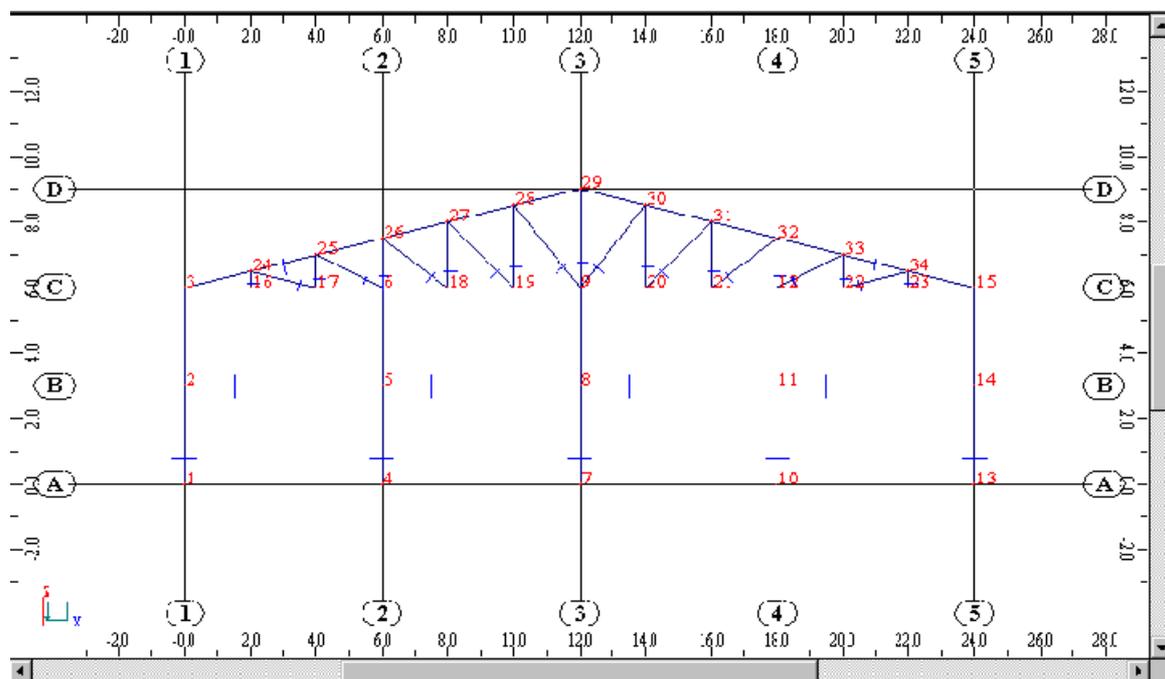
ClicBD sur le point quelconque dans la fenêtre contenant la vue de la structure et sélection de la commande “ <i>Sélectionner</i> ” à partir du menu contextuel.	Ouverture du menu contextuel et passage en mode sélection. Le pointeur de la souris a alors l’aspect d’une “main”.
CTRL+A	Sélection de toutes les barres.
<i>Edition/Transformer/Translation</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Translation</i> .
ClicBG sur le champ (dX,dZ), {6;0} ClicBG dans les champs Incrément de numérotation (nœuds et barres) {1}	Définition du vecteur de translation et de l’incrément de la numérotation pour les barres et pour les nœuds.
ClicBG sur le champ Nombre de répétitions {4}	Définition du nombre de répétitions de l’opération de translation à effectuer.
Appliquer, Fermer	Réalisation de la translation du poteau et fermeture de la boîte de dialogue <i>Translation</i> .
ClicBG sur le champ TYPE dans la boîte de dialogue <i>Barres</i> et sélection du type <i>Poutre béton armé</i> ClicBG sur le champ SECTION et sélection du type <i>B45x60</i>	Début de la définition des poutres formant la structure et la sélection de leurs caractéristiques.
ClicBG sur le champ <i>Origine</i> (le fond du champ est alors affiché en vert)	Début de la définition des barres formant la structure.
(0 ;3) (6 ;3) (6 ;3) (12 ;3) (12 ;3) (18 ;3) (18 ;3) (24 ;3)	Définition d’une poutre en béton armé positionnée sur la ligne de construction B.
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Barres</i> .

<i>Affichage/Attributs</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Affichage des attributs</i> .
Onglet <i>Profilés</i> Activer l'option <i>Croquis</i> Appliquer	Sélection de l'option permettant d'afficher les croquis des profilés pour les barres définies dans la structure, le logiciel affiche alors les barres représentées sur la figure ci-dessous.



Définition d'une structure type

<i>Affichage/Attributs</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Affichage des attributs</i>
Onglet <i>Profilés</i> Désactiver l'option <i>Croquis</i> Onglet <i>Structure</i> Activer l'option <i>Numéros de nœuds</i> Appliquer, OK	
	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Structures types</i> et Début de la définition d'une structure type.
ClicBG (double) sur l'icône  (1 ^{ère} icône dans le dernier rang)	Sélection du treillis triangulaire de type 1. Le logiciel affiche la boîte de dialogue <i>Insertion d'une structure</i> , dans laquelle vous pouvez définir les paramètres du treillis.
Dans l'onglet <i>Dimensions</i> ClicBG sur le champ <i>Longueur L</i> {24}	Définition de la longueur du treillis (vous pouvez aussi le faire en mode dans la fenêtre de l'éditeur graphique).
ClicBG sur le champ <i>Hauteur H</i> {3}	Définition de la hauteur du treillis (vous pouvez aussi le faire en mode dans la fenêtre de l'éditeur graphique).
ClicBG sur le champ <i>Nombre de panneaux</i> {12}	Définition du nombre des panneaux du treillis à insérer.
ClicBG dans l'onglet <i>Insérer</i>	
ClicBG dans le champ <i>Point d'insertion</i> Sélectionnez le nœud n° 3 à coordonnées (0 ;0 ;6)	Définition des coordonnées du point d'insertion (premier nœud) du treillis.
ClicBG sur le bouton Appliquer OK	Création du treillis défini dans le point donné et fermeture de la boîte de dialogue <i>Insertion d'une structure</i> . La structure définie est représentée sur la figure ci-dessous.



<i>Affichage/Attributs</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Affichage des attributs</i> .
Onglet <i>Structure</i> Désactiver l'option <i>Numéros de nœuds</i> Onglet <i>Autres</i> Désactiver l'option <i>Lignes de construction</i> Appliquer, OK	
I	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Profils</i> .
ClicBG dans le champ <i>Lignes/barres</i> , passer à la fenêtre graphique et sélectionner toutes les barres	Sélection de barres du treillis.
ClicBG sur le profil HEA 240	Sélection du profilé à affecter aux barres sélectionnées.
ClicBG sur le bouton Appliquer, Fermer	Affectation du profilé HEA 240 à toutes les barres du treillis et fermeture de la boîte de dialogue.

Définition des appuis

	Ouverture de la boîte de dialogue Appuis .
ClicBG sur le champ <i>Sélection actuelle</i> (l'option <i>nœud</i> est active)	Sélection des nœuds dans lesquels les appuis de la structure seront définis.
Passer à l'éditeur graphique, maintenez le bouton gauche de la souris enfoncé et sélectionner les nœuds inférieurs de tous les poteaux.	Dans le champ <i>Sélection actuelle</i> , les nœuds sélectionnés (1A13P3) seront saisis (après avoir cliqué dans la fenêtre).
Dans la boîte de dialogue Appuis sélectionner l'icône Encastrement (elle sera alors mise en surbrillance)	Sélection du type d'appui.
ClicBG sur le bouton Appliquer	Le type d'appui sélectionné sera affecté aux nœuds donnés.
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue Appuis .

Définition des cas de charge

	Ouverture de la boîte de dialogue Cas de charge .
ClicBG sur le bouton Nouveau	Définition du cas de charge (nature : permanente, nom standard : PERM1).
ClicBG sur le champ <i>Nature D'exploitation</i>	Sélection de la nature du cas de charge : exploitation
ClicBG sur le bouton Nouveau	Définition de deux cas de charge (nature : d'exploitation, noms standard : EXPL1 et EXPL2).
ClicBG sur le champ <i>Nature Vent</i>	Sélection de la nature du cas de charge : vent
ClicBG sur le bouton Nouveau	Définition cas de charge (nature : vent, nom standard : VENT1).
ClicBG sur le champ <i>Nature Neige</i>	Sélection de la nature du cas de charge : neige
ClicBG sur le bouton Nouveau, Fermer	Définition cas de charge (nature : neige, nom standard NEI1 et fermeture de la boîte de dialogue Cas de charge)

Définition des charges agissant dans les cas de charges créés

Commande <i>Tableau</i> – <i>Chargements</i> dans le menu <i>Chargements</i>	Ouverture du tableau de définition des charges agissant dans les cas de charge définis.
 Positionnement du tableau dans la partie inférieure de la fenêtre de Robot Millennium de façon qu'elle soit aussi large que cette fenêtre afin de mieux visualiser le modèle de la structure définie	Réduction de la taille du tableau afin de faciliter la saisie graphique des chargements. Dans le cas où les fenêtres se superposent, vous pouvez basculer d'une fenêtre à l'autre, pour cela utilisez les icônes disponibles sur la barre d'état.
	Charge par poids propre (direction « -Z ») appliquée de façon automatique à toutes les barres de la structure.
ClicBG dans le deuxième champ dans la colonne CAS DE CHARGE, sélection 2 ^{ème} cas de charge EXPL1	Définition des charges agissant dans le deuxième cas de charge.
ClicBG sur le champ dans la colonne TYPE DE CHARGE, sélection de la charge uniforme	Sélection du type de charge.
ClicBG sur le champ dans la colonne LISTE, Dans l'éditeur graphique, sélectionner la poutre en béton armé (barres 11A14)	Sélection des barres auxquelles la charge uniforme sera appliquée.
ClicBG sur le champ dans la colonne "pz=" et saisir la valeur – 60	Sélection de l'orientation et de la valeur de la charge uniforme.
ClicBG dans le troisième champ dans la colonne CAS DE CHARGE, sélection 3 ^{ème} cas de charge EXPL2	Définition des charges agissant dans le troisième cas de charge.
ClicBG sur le champ dans la colonne TYPE DE CHARGE, sélection de la charge trapézoïdale	Sélection du type de charge.

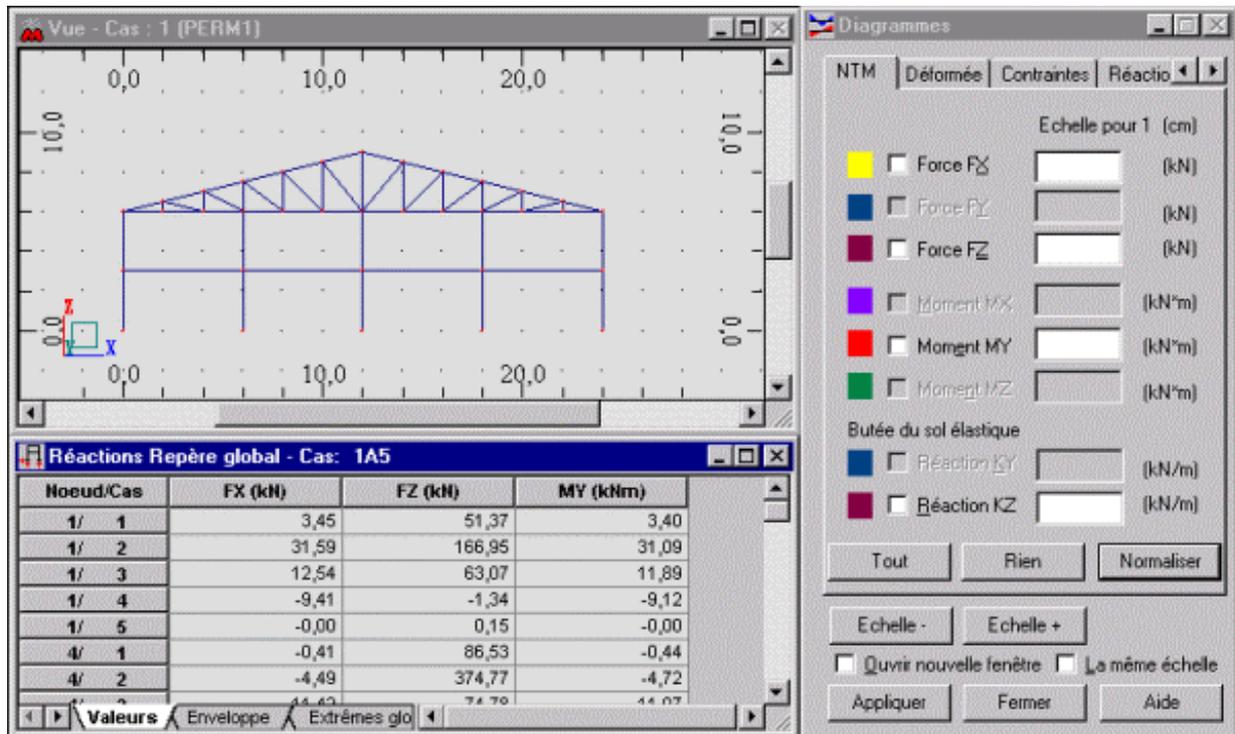
ClicBG sur le champ dans la colonne LISTE, Dans l'éditeur graphique, sélectionner la première travée à gauche de la poutre en béton armé (barre 11)	Sélection des barres auxquelles la charge trapézoïdale sera appliquée.
ClicBG sur le champ dans la colonne "pz1=" et saisir la valeur -20 ClicBG sur le champ dans la colonne "pz2=" et saisir la valeur -25	Sélection de l'orientation et de la valeur de la charge trapézoïdale.
ClicBG dans le quatrième champ dans la colonne CAS DE CHARGE, sélection 4 ^{ème} Cas de charge VENT1	Définition des charges agissant dans le quatrième cas de charge.
ClicBG sur le champ dans la colonne TYPE DE CHARGE, sélection de la charge uniforme	Sélection du type de charge.
ClicBG sur le champ dans la colonne LISTE, Dans la fenêtre de l'éditeur graphique, sélectionner le poteau extrême gauche (barres 1 et 2)	Sélection des barres auxquelles la charge uniforme sera appliquée.
ClicBG sur le champ dans la colonne "px=" et saisir la valeur 4.0	Sélection de l'orientation et de la valeur de la charge uniforme.
ClicBG dans le cinquième champ dans la colonne CAS DE CHARGE, sélection 5 ^{ème} cas de charge NEIGE 1	Définition des charges agissant dans le cinquième cas de charge.
ClicBG sur le champ dans la colonne TYPE DE CHARGE, sélection de la charge par forces nodales	Sélection du type de charge.
ClicBG sur le champ dans la colonne LISTE, Dans la fenêtre de l'éditeur graphique, sélectionner les nœuds de la membrure supérieure du treillis (sauf les nœuds aux extrémités, - nœuds 24A34)	Sélection des nœuds auxquels la charge par forces nodales sera appliquée.

ClicBG sur le champ dans la colonne "FZ=" et saisir la valeur -0.25	Sélection de l'orientation et de la direction du chargement.
Fermer le tableau des <i>Chargements</i>	

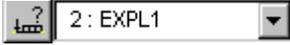
10.2.2. Analyse de la structure

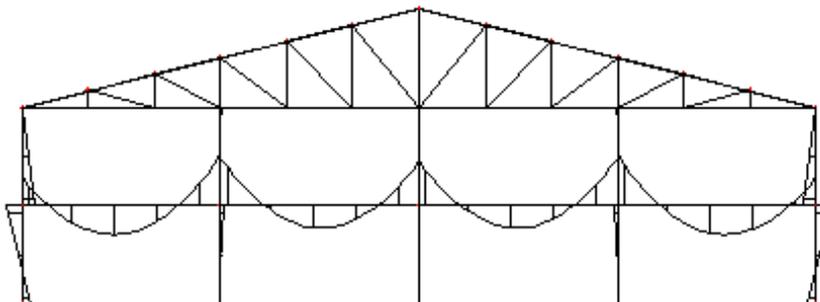
<i>Outils / Préférences de l'affaire</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Préférences de l'affaire</i> .
<i>Analyse de la structure</i>	Sélection de l'option <i>Analyse de la structure</i> à partir de l'arborescence de la boîte de dialogue.
<i>Méthode de résolution : Sparse</i>	Sélection de la méthode de résolution pour la structure définie
OK	Validation des paramètres définis et fermeture de la boîte de dialogue <i>Préférences de l'affaire</i>

Sélectionner le bureau RESULTATS (groupe de bureaux RESULTATS)	Lancement des calculs de la structure définie. Une fois les calculs terminés, <i>Robot Millennium</i> affichera le bureau RESULTATS . La fenêtre de <i>Robot Millennium</i> sera divisée en trois parties représentées sur la figure ci-dessous : la zone graphique avec le modèle de la structure, le boîte de dialogue <i>Diagrammes</i> et le tableau <i>Réactions</i> .
---	--



10.2.3. Analyse des résultats

 sélection 2 : EXPL1	Sélection de la présentation des résultats pour le deuxième cas de charge.
Activation de l'option <i>Moment My</i> dans la boîte de dialogue <i>Diagrammes</i>	Sélection de la présentation du moment fléchissant <i>My</i> .
ClicBG sur le bouton Appliquer	Présentation du diagramme du moment fléchissant pour les barres formant la structure (voir la figure ci-dessous). De façon analogue, vous pouvez consulter les diagrammes des autres résultats disponibles dans la boîte de dialogue <i>Diagrammes</i> .



Désactivation de la commande <i>Moment My</i> dans la boîte de dialogue <i>Diagrammes</i> , Appliquer	
	Ouverture du tableau <i>Déplacements</i> .
ClicBG dans l'onglet <i>Extrêmes globaux</i> du tableau <i>Déplacement</i>	Présentation des déplacements maximaux et minimaux calculés pour les nœuds de la structure (conf. la figure ci-dessous), les déplacements affichés sont les déplacements extrêmes pour chaque direction.
ClicBG dans l'onglet <i>Valeurs</i>	
ClicBD dans le tableau de déplacements	Appel du menu contextuel.
Colonnes	Sélection de l'option <i>Colonnes</i> et ouverture de la boîte de dialogue.
ClicBG dans l'onglet <i>Général</i> , activation de l'option <i>Coordonnées</i> , OK	Dans ce tableau, deux colonnes supplémentaires sont affichées (coordonnées des nœuds de la structure).

	UX (cm)	UZ (cm)	RY (Rad)
MAX	0.0205	0.0009	0.000
Nœud	3	24	2
Cas	4	4	2
MIN	-0.0043	-0.0174	-0.000
Nœud	15	5	14
Cas	2	2	2

Extrêmes globaux / Info

Fermeture du tableau <i>Déplacement des nœuds</i>	
--	--

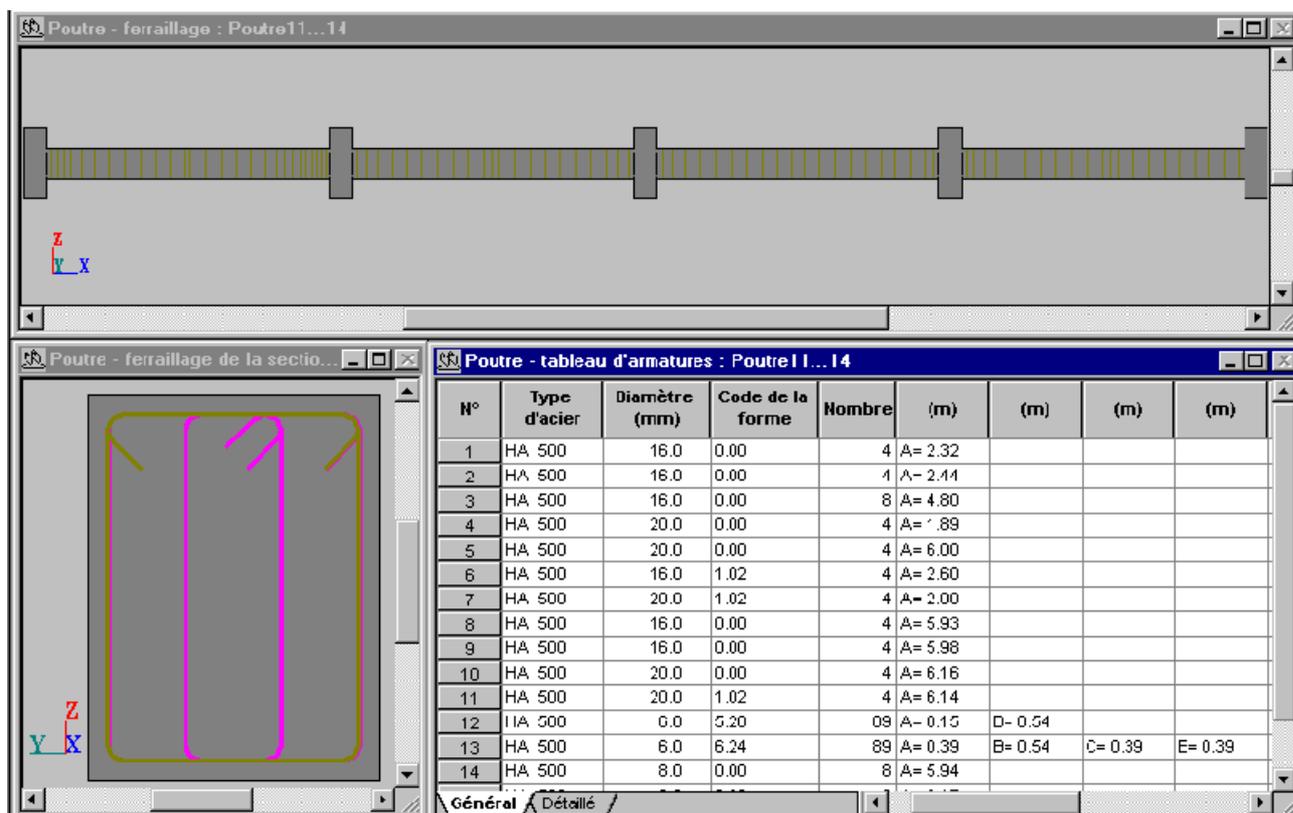
10.2.4. Dimensionnement béton armé avec la prise en compte de la torsion

Dimensionnement poutres BA

Norme française BAEL 91

Activer l'éditeur graphique, ClicBD et choisissez la commande <i>Sélectionner</i> ; sélectionner par fenêtre la poutre en béton armé	Sélection de la poutre à dimensionner.
<i>Analyse / Dimensionnement éléments BA / Dimensionnement des poutres BA</i>	Lancement du module de dimensionnement des poutres en béton armé, le module importera les données et les résultats des calculs statiques de la structure afin de les appliquer à la poutre à dimensionner.
<i>Cas simples</i> OK	Sélection de l'option <i>Cas simples</i> dans la boîte de dialogue <i>Sélection de la charge</i> .
 ClicBG sur le bouton Calculer affiché dans la boîte de dialogue <i>Jeu d'options de calcul</i>	Lancement du dimensionnement de la poutre en béton armé et validation des valeurs par défaut des options de calcul.
<i>Analyse / Options de calcul</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Options de calcul</i>
Sur l'onglet <i>Général</i> , cliquez sur le bouton Avancé , et ensuite, sélectionnez l'option <i>Prise en compte de la torsion</i> OK	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Options avancées</i> , prise en compte dans le calculs du moment de torsion. Fermeture de la boîte de dialogue <i>Options avancées</i> .
Passez à l'onglet <i>Acier longitudinal</i> et désactivez les diamètres de 5 jusqu'à 14 mm. OK	Désactivation des diamètres de 5 jusqu'à 14 mm.
OK	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Options de calcul</i> .

ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium POUTRES BA/POUTRES BA - RESULTATS	Présentation des résultats des calculs en mode tableau et en mode graphique (diagrammes des efforts transversaux pour les différents états limites, diagrammes de la section d'acier le long de la poutre).
POUTRES BA/POUTRES BA - FERRAILLAGE	Présentation des armatures dans la poutre effectuée en mode tableau et en mode graphique (conf. la figure ci-dessous).

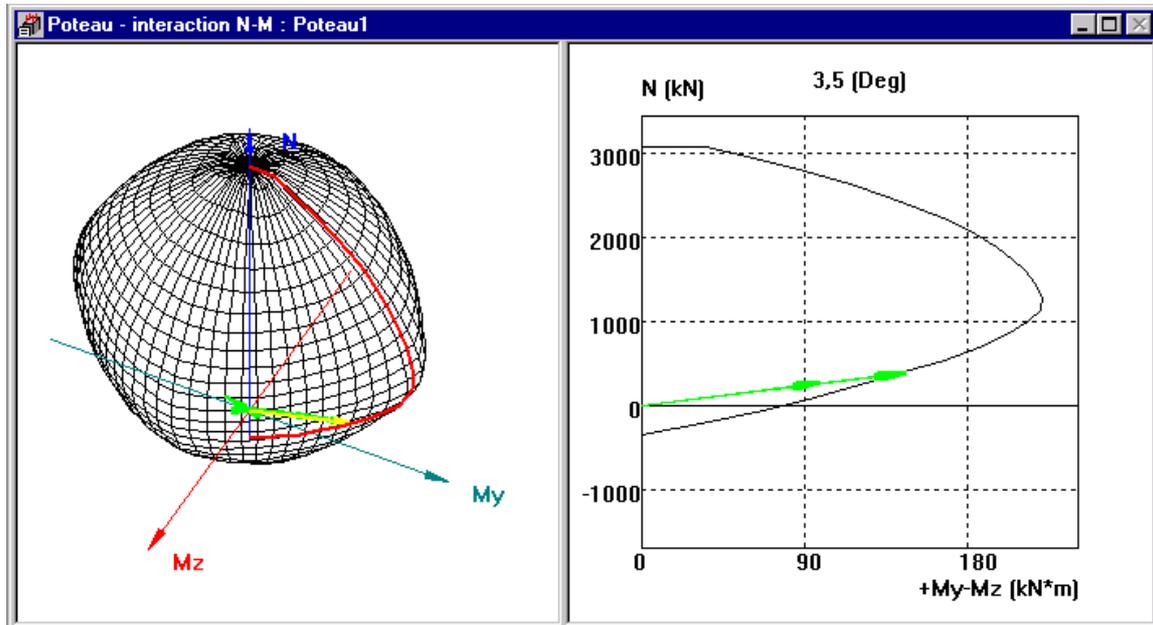


<i>Résultats/Plan d'exécution</i>	Présentation du plan d'exécution de la première travée de la poutre dimensionnée (activation du bureau PLANS D'EXECUTION).
Fermeture du module <i>Dessins</i>	
<i>Résultats/Note de calcul</i> OK	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Note de calcul</i> dans laquelle vous pouvez sélectionner les composants de la note de calcul. Robot Millennium lance le traitement de texte intégré et affiche les données et les résultats de calcul pour la poutre sélectionnée.
Fermeture du traitement de texte avec la note de calcul	

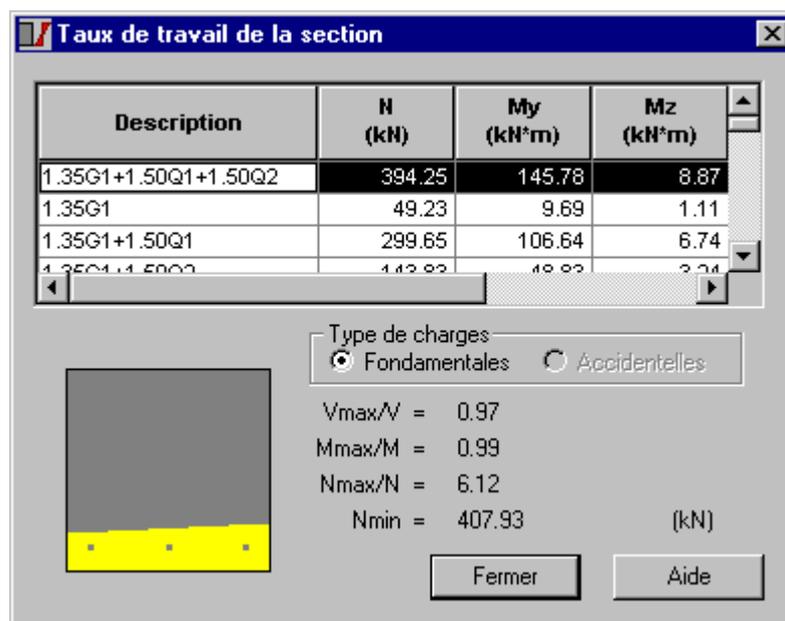
Dimensionnement poteaux BA

Norme française BAEL 91

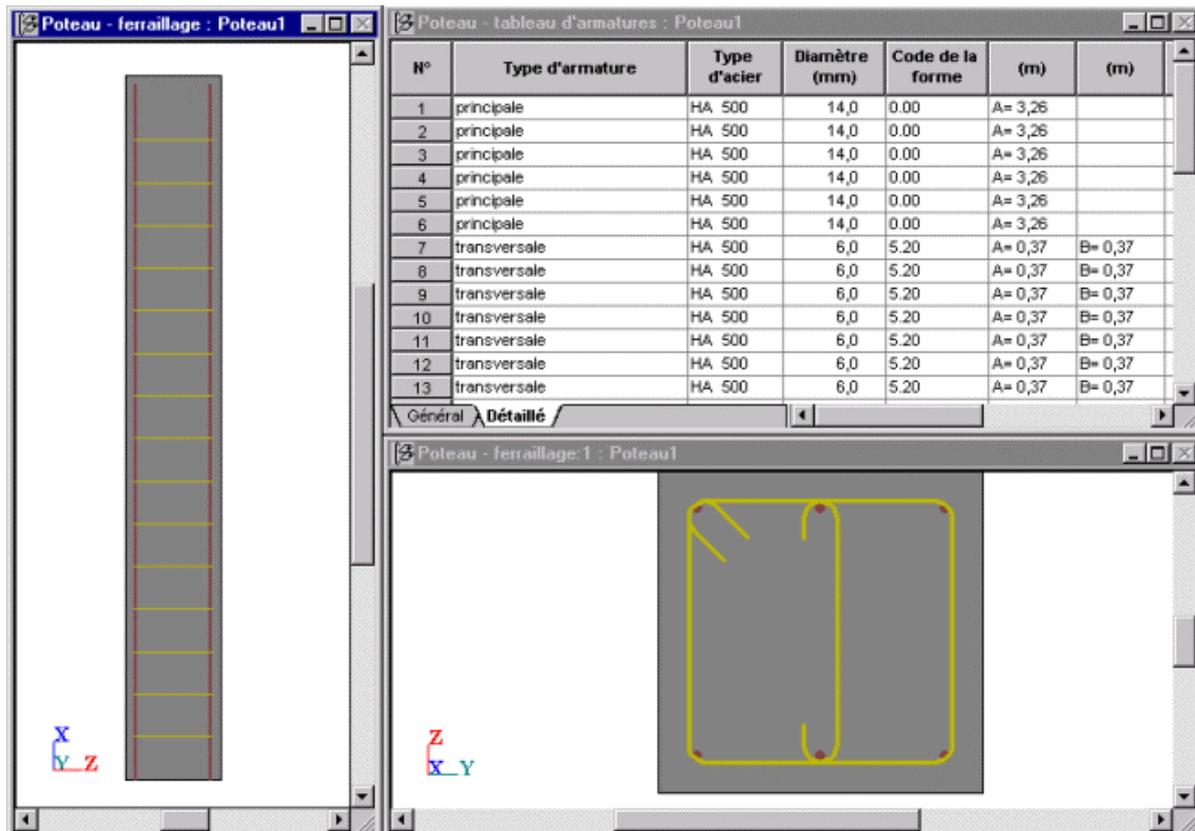
 Démarrage Modélisation / Démarrage	Sélection du bureau DEMARRAGE de la liste des bureaux disponibles.
Activer l'éditeur graphique, ClicBD et choisissez la commande <i>Sélectionner</i> ; sélectionner par fenêtre le poteau inférieur gauche (barre 1)	Sélection du poteau à dimensionner.
<i>Analyse / Dimensionnement éléments BA / Dimensionnement des poteaux BA</i>	Lancement du module de dimensionnement des poteaux en béton armé, le module importera les données et les résultats des calculs statiques de la structure afin de les appliquer au poteau à dimensionner.
<i>Cas simples</i> OK	Sélection de l'option <i>Cas simples</i> dans la boîte de dialogue <i>Sélection de la charge</i> .
 ClicBG sur le bouton Calculer affiché dans la boîte de dialogue <i>Jeu d'options de calcul</i>	Lancement du dimensionnement du poteau en béton armé et validation des valeurs par défaut des options de calcul.
ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium <i>Poteaux BA/Poteaux BA - Résultats</i>	Présentation des surfaces (courbes) d'interaction N-M, My-Mz.
<i>Poteaux BA/Poteaux BA - Ferrailage</i>	Présentation des armatures dans le poteau effectuée en mode tableau et en mode graphique (conf. la figure ci-dessous).



Activer l'éditeur graphique, ClicBD et choisissez la commande <i>Taux de travail</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Taux de travail</i> .
A partir de la liste des combinaisons disponibles, sélectionnez la première combinaison du haut : 1.35G1+1.50Q1+1.50Q2	Présentation de la section du poteau : affichage de l'axe neutre, zone comprimée et tendue avec les coefficients de sécurité relatifs à la combinaison sélectionnée.



Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Taux de travail</i>
ClicBG dans le champ de sélection des bureaux du système Robot Millennium POTEAUX BA/ POTEAUX – FERRAILLAGE	Présentation des armatures dans le poteau effectuée en mode tableau et en mode graphique (conf. la figure ci-dessous).



10.2.5. Dimensionnement des barres BA

Norme BAEL 91

MODELISATION DEMARRAGE	/	Dans la liste de bureaux du système Robot Millennium , il faut sélectionner le bureau DEMARRAGE .
<i>Analyse /</i> <i>Dimensionnement éléments BA /</i> <i>Dimensionnement des barres BA /</i> <i>Calculer</i>		Ouverture de la boîte de dialogue Calculs suivant la norme BAEL 91 .
Dans le champ <i>Calculer barres</i> , saisissez la liste de barres 1A14		Sélection des barres à dimensionner.

Dans le champ <i>Listse de cas (ELU)</i> , saisir la liste de cas de charge utilisés lors du dimensionnement 1A5	Sélection de tous les cas de charge.
Dans le champ <i>Calculer</i> poutres dans, définissez les paramètres suivants : Calculs poutres dans 11 points	Définition des paramètres du calcul de la section d'acier théorique pour les barres sélectionnées.
ClicBG sur le bouton Calculer	Lancement des calculs de la section d'acier théorique pour les barres sélectionnées et pour les paramètres de calcul définis.
Fermer dans la boîte de dialogue Rapport de calculs des barres BA	Affichage de la boîte de dialogue avec les messages d'erreurs et les avertissements concernant les calculs du ferrailage théorique des barres.
Fermer la boîte de dialogue Calculs suivant la norme BAEL 91	
<i>Dimensionnement / Ferrailage / Ferrailage théorique barres BA</i>	Ouverture du tableau <i>Ferrailage théorique des barres</i> , qui affiche les résultats de calculs du ferrailage théorique dans certaines sections des barres BA.
Fermer le tableau <i>Ferrailage théorique des barres</i>	

10.3. Plaque en béton armé

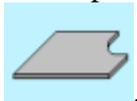
Cet exemple présente la définition et l'analyse d'une plaque en béton armé avec un trou.
Unités de données : (m) et (kN).

L'exemple présente pas à pas toutes les étapes de la création du modèle de la plaque et les calculs pour lesquels trois cas de charge ont été définis (poids propre et deux cas d'exploitation).

Dans la description de la définition de la structure les conventions suivantes seront observées :

- un icône quelconque signifie un clic sur cette icône effectué avec le bouton gauche de la souris,
- { x } signifie la sélection (saisie) de l'option « x » dans la boîte de dialogue ,
- ClicBG et ClicBD - ces abréviations sont utilisées respectivement pour le clic sur le bouton gauche et sur le bouton droit de la souris.

Afin de commencer la définition de la structure, lancez le système **Robot Millennium** (cliquez sur l'icône correspondante ou sélectionnez la commande dans le menu affiché dans la barre des tâches). Dans la fenêtre de l'assistant affichée par **Robot Millennium** (elle est décrite dans le chapitre 2.1) sélectionnez la dernière icône au premier rang (*Etude d'une plaque*)

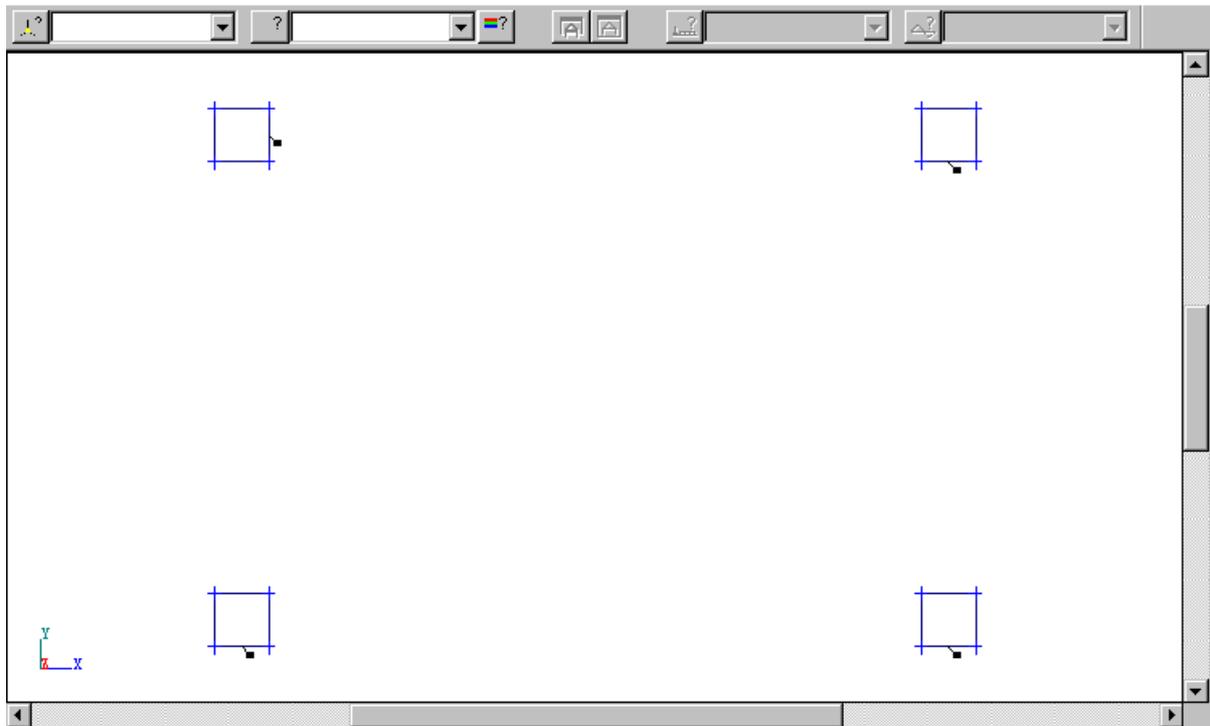


10.3.1. Définition du modèle de la structure

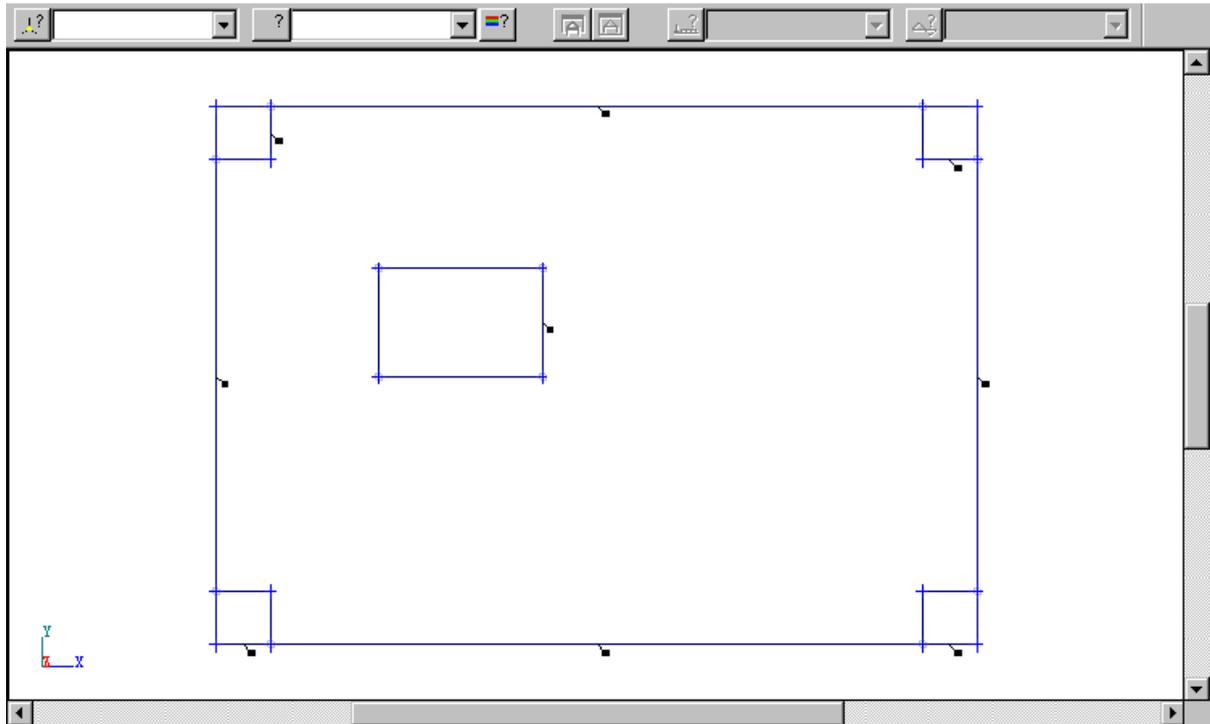
Définition du contour

ACTION	DESCRIPTION
<i>Affichage/Grille/Espacement de la grille</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Espacement de la grille</i> .
Dx = Dy = 1.0	Définition de l'espacement de la grille sur l'écran (égal dans les deux directions)
Appliquer, Fermer	Acceptation des paramètres définis et fermeture de la boîte de dialogue <i>Espacement de la grille</i> .
	Ouvre la boîte de dialogue <i>Polyligne – contour</i> .
ClicBG sur l'option <i>Polyligne</i> accessible dans le champ <i>Méthode de définition</i>	Sélectionne la polyligne pour la définition du carré.
Dans la fenêtre graphique, utiliser la souris pour définir les points à coordonnées suivantes : {-7 ; 5} {-6 ; 5} {-6 ; 4} {-7 ; 4} {-7 ; 5}	Définition du contour carré. Le contour est défini par quatre sommets (le cinquième sommet est défini pour fermer le contour). Le contour modélise les dimensions du poteau sur lequel la plaque est appuyée.
Dans la fenêtre graphique, utiliser la souris pour définir les points à coordonnées suivantes : {-7 ; -5} {-6 ; -5} {-6 ; -4} {-7 ; -4} {-7 ; -5}	Définition du contour carré. Le contour est défini par quatre sommets (le cinquième sommet est défini pour fermer le contour). Le contour modélise les dimensions du poteau sur lequel la plaque est appuyée.
Fermer	Ferme la boîte de dialogue <i>Polyligne - contour</i> .
CTRL+A	Sélectionne tous les éléments du contour

<i>Edition/Transformer/Miroir vertical...</i>	Ouvre la boîte de dialogue <i>Miroir vertical</i> .
ClicBG sur le champ <i>Position de l'axe = {0}</i> <i>Mode d'édition = Copier</i> <i>Etirer inactif</i>	Définition de l'axe de symétrie verticale à coordonnée $x=0.0$. La copie concerne tous les éléments du contour sélectionnés.
Appliquer Fermer	Copie des éléments du contour. Fermeture de la boîte de dialogue <i>Miroir vertical</i>
	Règle le facteur de zoom de façon que les éléments définis puissent être affichés en entier.
ClicBG dans la fenêtre d'édition graphique <i>Vue</i>	



	<p>Ouvre la boîte de dialogue <i>Polyligne - contour</i> dans laquelle vous pouvez définir les composants successifs du contour.</p>
<p>ClicBG sur l'option <i>Ligne</i> disponible dans la zone <i>Méthode de définition</i></p>	<p>Sélection de l'outil ligne en vue de la définition des autres parties du contour. ATTENTION : Lors de la définition des lignes vous pouvez déplacer la boîte de dialogue <i>Polyligne - contour</i> afin qu'elle ne gêne pas la saisie des données.</p>
<p>Utiliser la souris pour définir une ligne aux coordonnées suivantes : {-6 ; 5} {6 ; 5}</p>	<p>Définition des lignes du contour.</p>
<p>Utiliser la souris pour définir une ligne aux coordonnées suivantes : {7 ; 4} {7 ; -4}</p>	<p>Définition des lignes du contour.</p>
<p>Utiliser la souris pour définir une ligne aux coordonnées suivantes : {6 ; -5} {-6 ; -5}</p>	<p>Définition des lignes du contour.</p>
<p>Utiliser la souris pour définir une ligne aux coordonnées suivantes : {-7 ; -4} {-7 ; 4}</p>	<p>Définition des lignes du contour.</p>
<p>ClicBG sur l'option <i>Polyligne</i> disponible dans la zone <i>Méthode de définition</i></p>	<p>Sélectionne l'outil polyligne en vue de la définition d'un carré.</p>
<p>{-4 ; 2} {-4 ; 0} {-1 ; 0} {-1 ; 2} {-4 ; 2}</p>	<p>Définition d'un contour rectangulaire. Le contour est défini par quatre sommets (le cinquième point est défini pour fermer le contour). Le contour défini modélise les dimensions du trou dans la plaque.</p>
<p>Fermer</p>	<p>Ferme la boîte de dialogue <i>Polyligne - contour</i>.</p>



Paramètres du maillage par éléments finis

<i>Outils/Préférences de l'affaire/Maillage EF</i>	Ouvre la boîte de dialogue de définition des paramètres du maillage.
Dans la zone <i>Type de maillage</i> sélectionner l'option <i>Utilisateur</i> ClicBG sur le bouton Modifier	Sélection du type de maillage utilisateur.
ClicBG sur l'option <i>Méthodes de maillage admissibles / Delaunay</i>	Sélection de la méthode de Delaunay.
Dans le zone <i>Génération du maillage</i> , champ d'édition <i>Division 1</i> , saisir {7}	Définition de la taille du maillage par éléments fini à générer.
OK	Validation des modifications et fermeture de la boîte de dialogue <i>Options de maillage</i> .
OK	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Préférences de l'affaire</i> et validation des modifications effectuées.

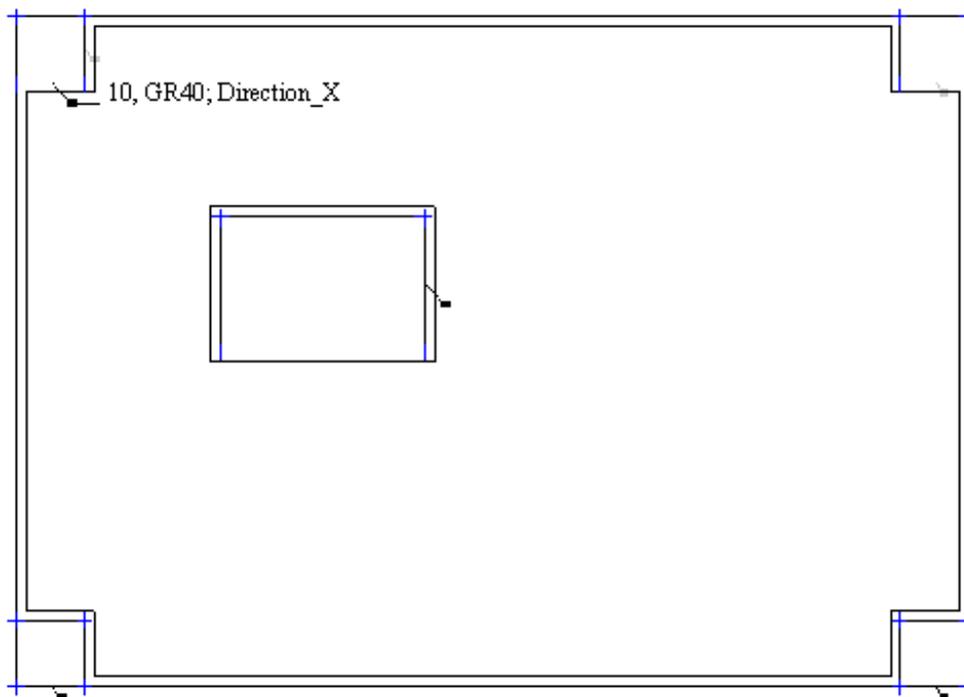
Caractéristiques de la plaque

	Ouvre la boîte de dialogue de définition de l'épaisseur de la plaque.
	Définition d'une nouvelle épaisseur des éléments finis surfaciques.
Sur l'onglet <i>Uniforme</i> , saisir la valeur { 40 } dans le champ d'édition <i>Ep=</i>	Définition de l'épaisseur de la plaque.
Dans le champ <i>Matériau</i> , sélectionner { BETON }	Sélection du matériau : BETON.
Ajouter et Fermer	Ajout d'un nouveau type d'épaisseur (EP40) à la liste des épaisseurs définies Fermeture de la boîte de dialogue <i>Nouvelle épaisseur</i> .
Fermer	Fermez la boîte de dialogue <i>Epaisseurs EF</i> .

Affectation des caractéristiques à la plaque étudiée

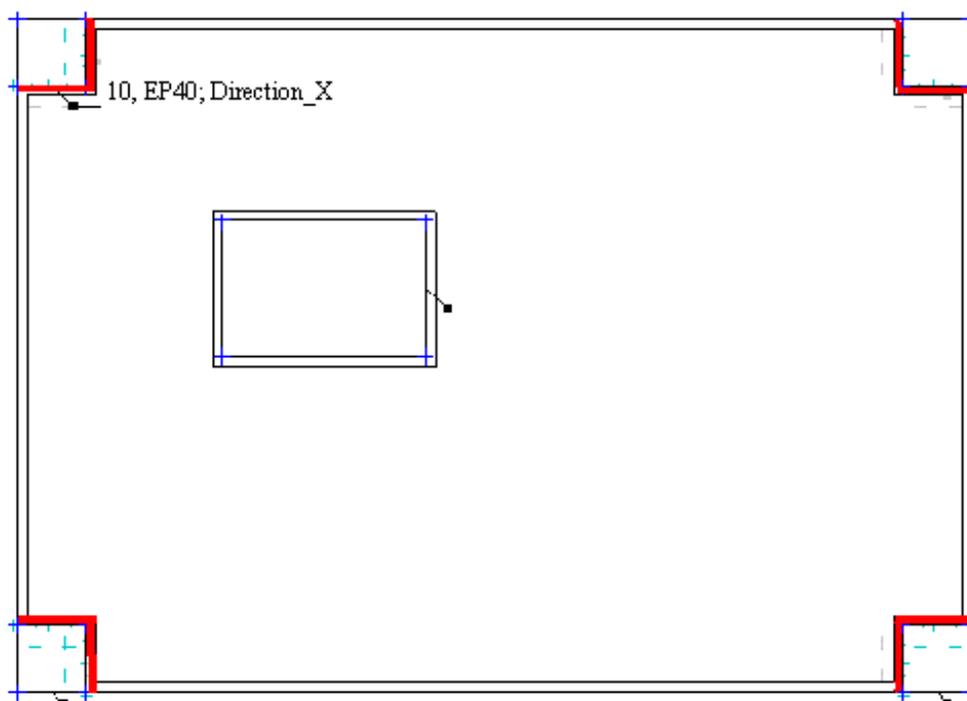
	Ouvre la boîte de dialogue <i>Panneaux</i> .
ClicBG sur l'option <i>Trou</i> accessible dans la zone <i>Type de contour</i>	Définition du contour du trou.
ClicBG sur l'option <i>Point interne</i> disponible dans la zone <i>Mode de création</i> ClicBG sur le point à coordonnées { -3, 1 }, fenêtre de définition graphique <i>Vue</i>	Définition du contour du trou. Sélection du point situé à l'intérieur du trou ; après un clic sur ce point, le contour sera considéré comme un trou. Ici, le point (-3,1) à été pris à titre d'exemple.
ClicBG sur l'option <i>Type de contour : Panneau</i>	Définition du panneau (autour du trou défini).

<p>ClicBG sur l'option <i>Caractéristiques/Epaisseur</i> : Sélectionner la position : EP40 ClicBG sur l'option <i>Caractéristiques/Ferrailage</i> Sélectionnez la direction X</p>	<p>Sélection du type d'épaisseur (EP40) et du type de ferrailage de la plaque.</p>
<p>ClicBG sur l'option <i>Point interne</i> disponible dans la zone <i>Mode de création</i> ClicBG dans le point à coordonnées {0,0}, fenêtre graphique <i>Vue</i></p>	<p>Définition du contour du panneau. Sélection du point situé à l'intérieur du contour (à l'extérieur du contour du trou) ; après un clic sur ce point (ici, le point (0,0) à été pris à titre d'exemple), le contour sera considéré comme le contour du panneau.</p>
<p>Fermer</p>	<p>La définition du panneau est achevée.</p>



Définition des appuis

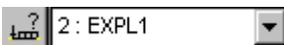
	Ouvre la boîte de dialogue <i>Appuis</i> .
ClicBG sur l'option <i>Encastrement</i>	Sélection du type d'appui.
ClicBG sur l'option <i>Sélection actuelle / Ligne</i> ClicBG sur le champ d'édition ClicBG dans les bords successifs des poteaux	Sélection de l'élément (lignes du bord du panneau) dans lequel l'appui sera défini ; Définition des bords sur la longueur desquels l'appui encastré sera défini (marqués en rouge sur la figure ci-dessous). Dans la boîte de dialogue de confirmation de la sélection, sélectionnez le contour 10. Dans le cas où la boîte de dialogue « Sélection » s'affiche, vous pouvez indiquer une des polygones de la liste.
Fermer.	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Appuis</i> .



Définition des cas de charges

	Ouvre la boîte de dialogue <i>Cas de charge</i> .
ClicBG sur le bouton Nouveau	Définition du <i>poids propre</i> à nom standard PERM1.
ClicBG sur le champ <i>Nature D'exploitation</i>	Sélection du type de cas de charge : <i>d'exploitation</i> .
ClicBG sur le bouton Nouveau ClicBG sur le bouton Nouveau, Fermer	Définition de deux cas de charge d'exploitation à noms standard : EXPL1 et EXPL2 et fermeture de la boîte de dialogue <i>Cas de charge</i> .

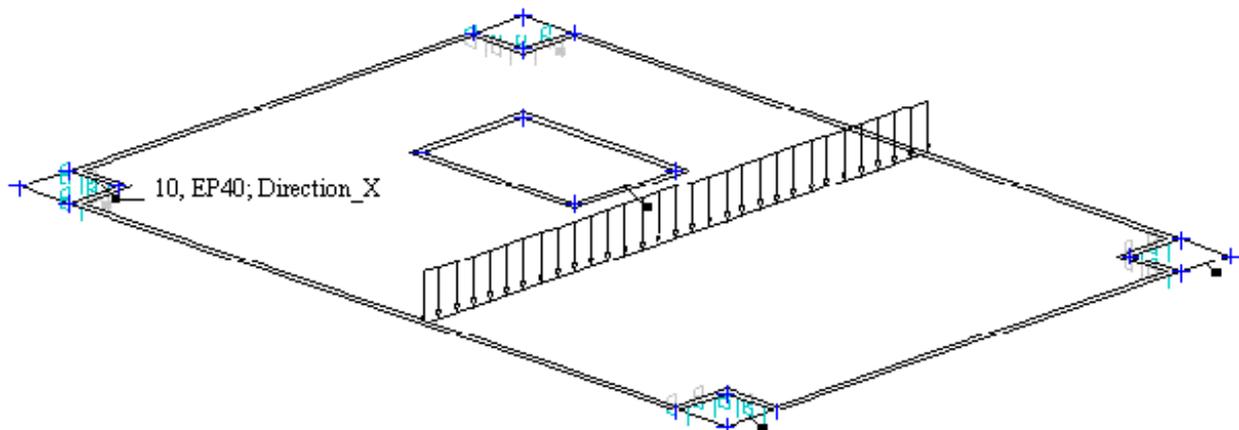
Définition des charges pour les cas de charges définis

 sélection 2: EXPL1	Sélection du premier cas de charge d'exploitation EXPL1.
	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Charge</i> .
Sélection de l'onglet <i>Surface</i> 	Sélection de la charge surfacique uniforme sur le contour.
<i>Paramètres de la charge : Z : {-0.5}</i>	Définition de la valeur de la charge.
ClicBG sur le champ <i>Définition du contour</i>	Définition du contour rectangulaire sur lequel la charge sera appliquée.
Définir les points à coordonnées suivantes : {-7 ; 1.5} {-4 ; 1.5} {-4 ; 0} {-7 ; 0}	
ClicBG sur le bouton Ajouter affiché dans la partie inférieure de la boîte de dialogue <i>Charge surfacique uniforme (contour)</i>	
ClicBG sur le champ <i>Appliquer à</i> {10}	Sélection du panneau auquel la charge sera appliquée.
Appliquer	
 sélection 3 : EXPL2	Sélection du deuxième cas de charge d'exploitation EXPL2.

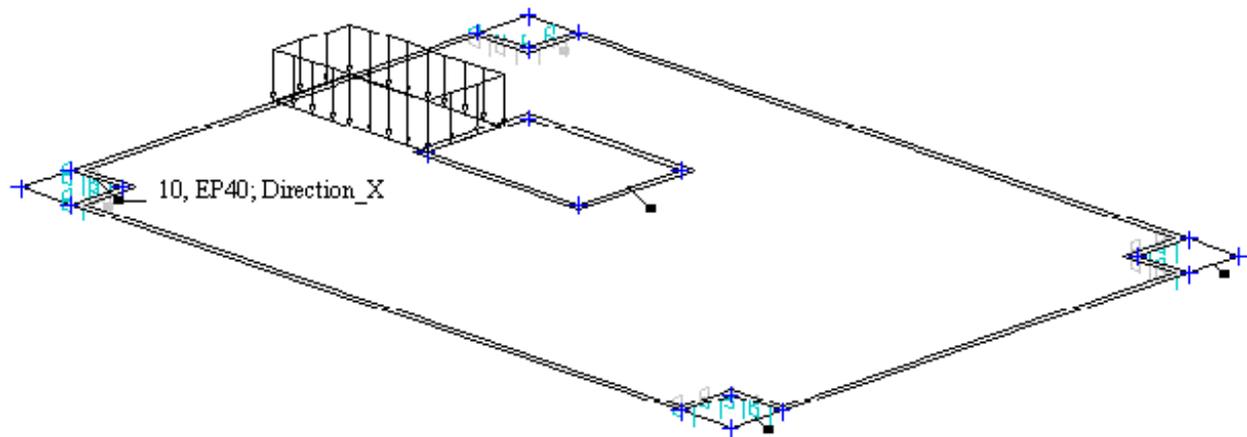
Sélectionner l'onglet <i>Surface</i> 	Sélection de la charge linéaire définie par 2 points.
Valeurs : P1, P2 Z : {-0.8, -0.8} Coordonnées des points A : {1, -5} B : {1, 5}	Définition de la valeur de la charge dans deux points (P1 et P2 – début et fin du segment sur lequel la charge est appliquée). Définition des coordonnées des points en question (A et B).
Ajouter	
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Charge</i> .

Visualisation des cas de charge définis

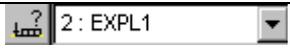
<i>Affichage/Projection/3D xyz</i>	Sélection de la vue 3D.
<i>Affichage/Attributs/Charges</i> onglet	Si les symboles des cas de charges ne sont pas visibles, vous pouvez activer leur affichage dans la boîte de dialogue <i>Attributs</i>
ClicBG dans la case <i>Symbole</i>	Activation de l'affichage des charges appliquées à la structure
Appliquer, OK	
 sélection du cas 3 : EXPL2	Sélection du deuxième cas de charge d'exploitation EXPL2.

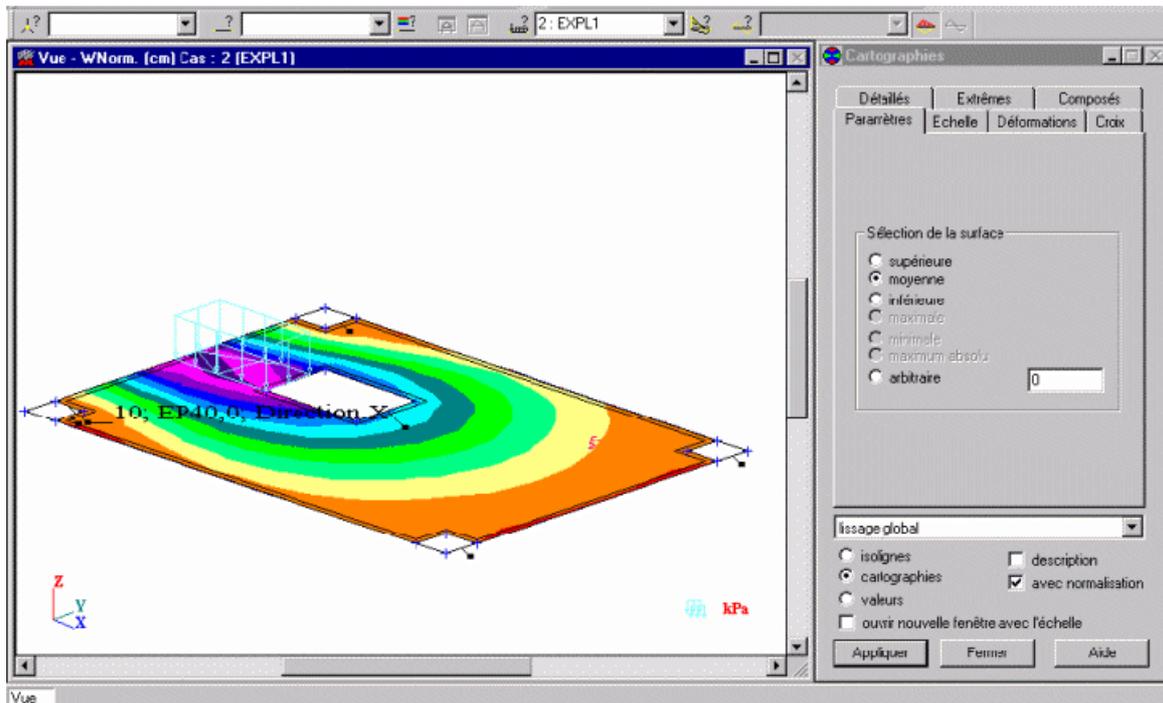


? 2 : EXPL1 sélection du cas 2 : EXPL1	Sélection du premier cas de charge d'exploitation EXPL1.
---	---



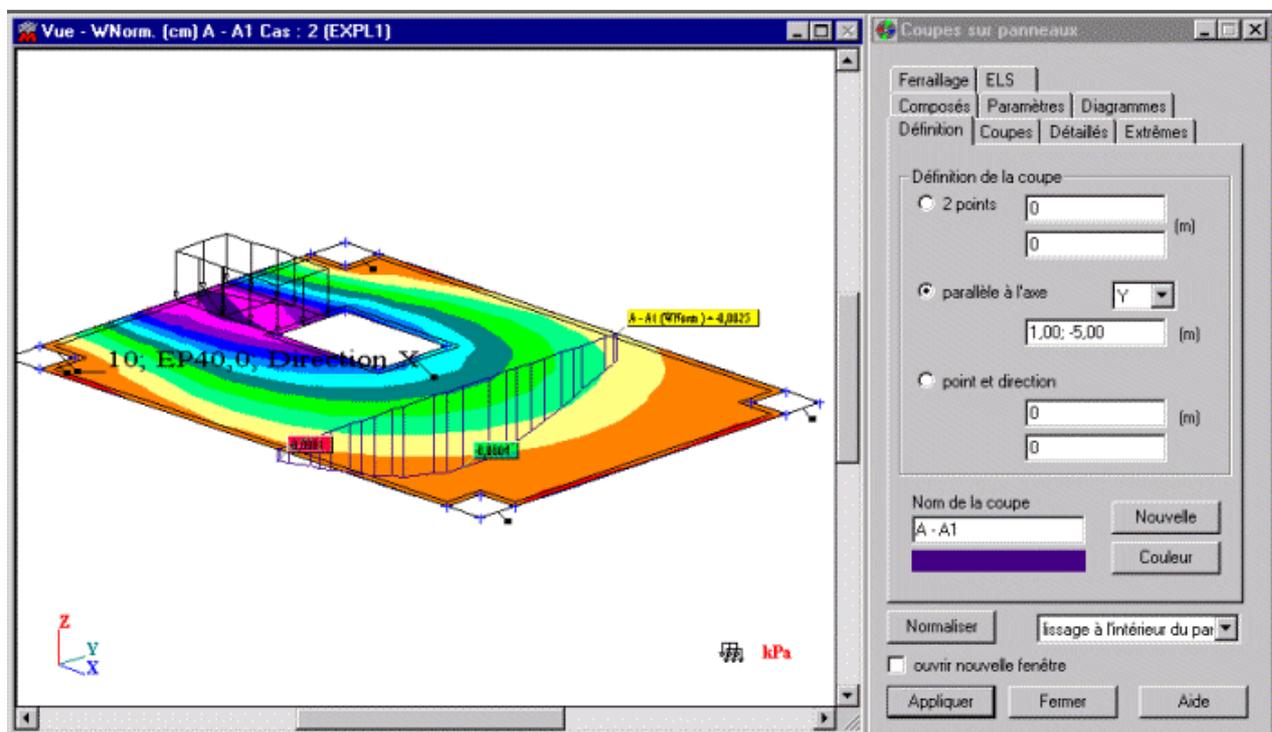
10.3.2. Analyse de la structure et affichage des résultats de calculs (cartographies des coupes sur panneaux)

<p>ClicBG dans la liste des bureaux de <i>Robot Millennium</i>, Sélection du bureau RESULTATS : CARTOGRAPHIES (groupe RESULTATS)</p>	<p>Lancement des calculs de la structure étudiée. Après les calculs, <i>Robot Millennium</i> affiche le bureau RESULTATS – CARTOGRAPHIES. L'écran se divise alors en deux parties : la fenêtre graphique avec la vue sur le modèle de la structure et la boîte de dialogue <i>Cartographies</i> (veuillez consulter la figure ci-dessous).</p>
 <p>sélection de 2 : EXPL1</p>	<p>Sélection du premier cas de charge d'exploitation EXPL1.</p>
<p>ClicBG dans la case <i>Déplacements – u w</i> dans la boîte de dialogue <i>Cartographie</i></p>	<p>Les déplacements seront affichées.</p>
<p>Passage à l'onglet <i>Paramètres</i> dans la boîte de dialogue <i>Cartographies</i> Sélection de l'option <i>moyenne</i> dans la zone <i>Sélection de la surface</i></p>	<p>Sélection de la surface pour laquelle les déplacements seront calculés.</p>
<p>Appliquer</p>	



Passer à l'onglet <i>Détailés</i> dans la boîte de dialogue Cartographies Désactiver l'affichage des déplacements pour la plaque	
Appliquer	
MODELISATION / GEOMETRIE	Sélection du bureau initial du système Robot Millennium
<i>Résultats / Coupes sur panneaux</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Coupes sur panneaux permettant de créer les diagrammes des efforts internes et des déplacements sur les éléments finis surfaciques.
ClicBG sur l'option <i>Déplacements - u,w</i> sur l'onglet <i>Détaillé</i>	Sélection du déplacement à présenter.
Sur l'onglet <i>Définition</i> disponible dans la boîte de dialogue Coupes sur panneaux , sélectionnez l'option <i>parallèle à l'axe -Y</i> , saisissez les coordonnées (1.00, -5.00) dans le champ au-dessous	Sélection du mode de définition du plan de coupe.

Passez à l'onglet <i>Paramètres</i> , et dans la zone <i>Sélection de la surface</i> , sélectionnez l'option <i>moyenne</i> .	Sélection de la surface pour laquelle les déplacements dans la coupe sélectionnée seront présentés.
Dans l'onglet <i>Diagrammes</i> , sélectionnez les options suivantes : <i>horizontale</i> dans le champ <i>Descriptions des diagrammes</i> , <i>hachuré</i> dans le champ <i>Remplissage</i> et <i>normale</i> dans le champ <i>Position du diagramme</i>	Sélection de la façon de présenter les diagrammes sur coupes de la structure.
Appliquer	Activation de la présentation des déplacements sur coupes sur panneaux (voir figure ci-dessous). La figure ci-dessous présente la structure définie.

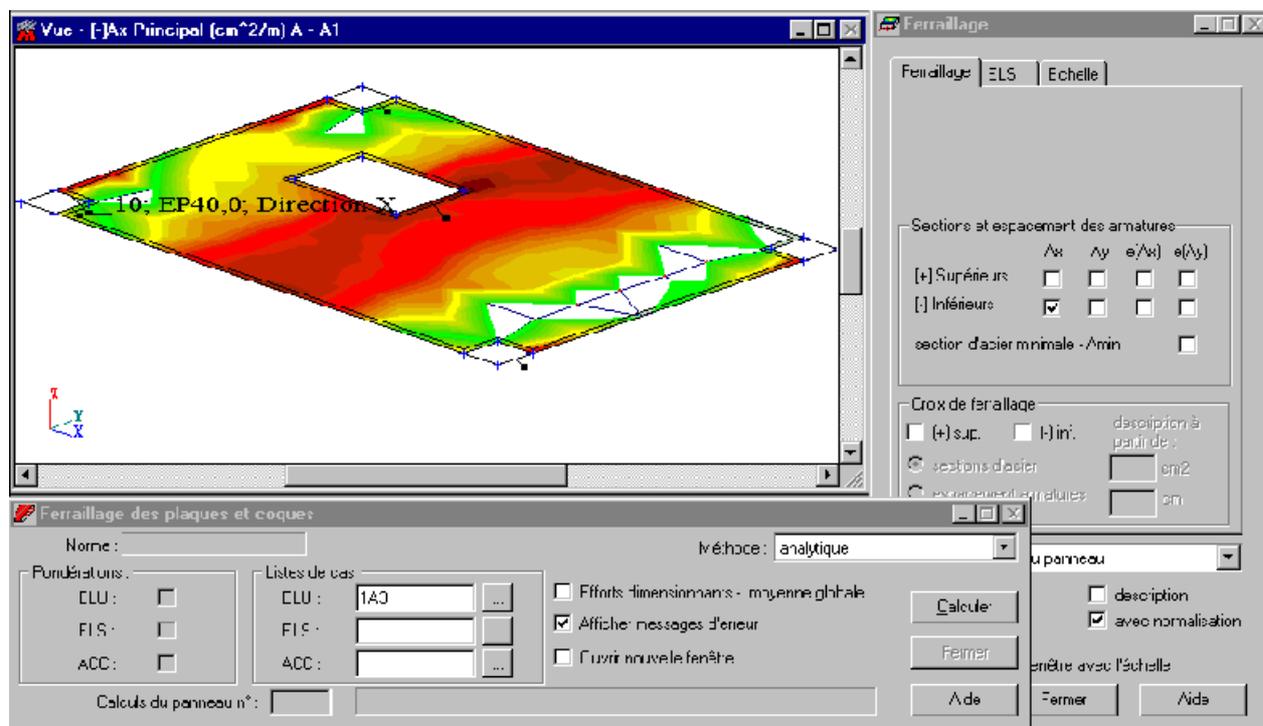


10.3.3. Calcul du ferrailage théorique

Norme BAEL 91

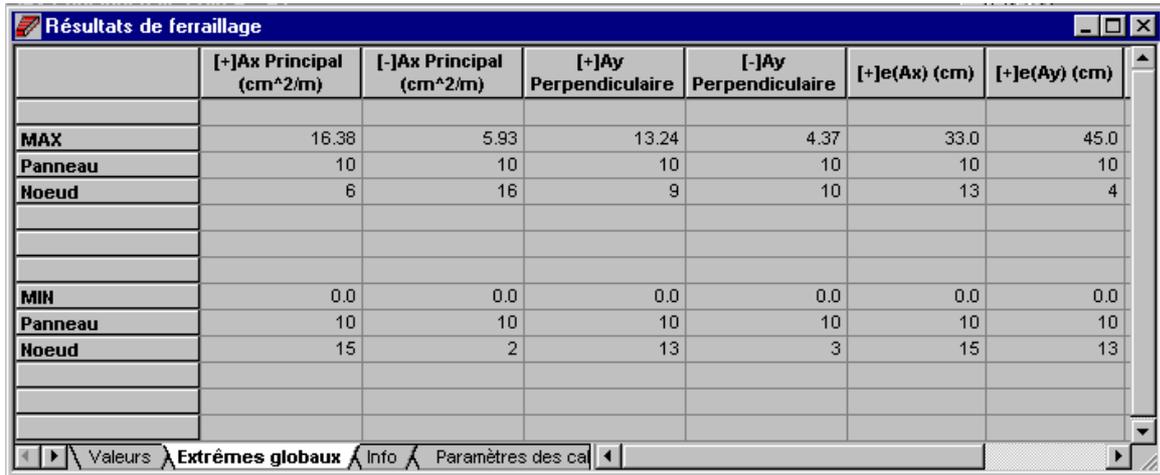
<p>ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium DALLES BA /FERRAILLAGE THEORIQUE</p>	<p>Passage au bureau du logiciel Robot Millennium prévu pour le calcul du ferrailage théorique de la plaque étudiée. L'écran est alors divisé en trois parties :</p> <ul style="list-style-type: none"> • fenêtre graphique avec la vue sur la structure • boîte de dialogue Ferrailage des plaques et coques • boîte de dialogue Ferrailage.
<p>ClicBG sur le champ ELU dans la zone <i>Liste de cas</i> saisir 1A3 dans la boîte de dialogue Ferrailage des plaques et coques</p>	<p>Les calculs du ferrailage théorique seront effectués pour l'état limite ultime, tous les cas de charge seront pris en compte.</p>
<p>ClicBG sur le champ <i>Méthode</i> Sélectionner la méthode analytique</p>	<p>Sélection de la méthode analytique de calcul de la section d'acier.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Calculer dans la boîte de dialogue Ferrailage des plaques et coques</p>	<p>Lancement des calculs de la section d'acier pour la plaque définie (panneau n° 11).</p>
<p>Après les calculs, ClicBG sur l'option <i>Ax (-) Inférieurs</i> dans la boîte de dialogue Ferrailage</p>	<p>Sélection des grandeurs à présenter.</p>
<p>Passage à l'onglet <i>Echelle</i> et sélection de l'option <i>Gamme complète</i> dans le champ <i>Palette de couleurs</i></p>	<p>Sélection de la palette couleurs utilisée pour l'affichage des cartographies du ferrailage.</p>

ClicBG sur le bouton Appliquer dans la boîte de dialogue Ferraillage	Affichage de la section d'acier pour la surface et la direction sélectionnées. La cartographie des aciers est représentée sur la figure ci-dessous.
Désactivation de l'option $A_x (+)$ <i>Supérieurs</i> dans la boîte de dialogue Ferraillage ClicBG sur Appliquer	Désactivation de l'affichage des cartographies.



	Ouverture du tableau présentant les résultats des calculs du ferraillage théorique pour la plaque.
ClicBD sur le tableau <i>Colonnes de ferraillage</i>	Le logiciel affiche un menu contextuel.
<i>Colonnes</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Résultats de ferraillage .
Dans la zone <i>Sections et espacements des armatures</i> , activez les options : $e(A_x) +$ <i>Supérieurs</i> $e(A_x) -$ <i>Inférieurs</i>	Sélection des grandeurs à présenter dans le tableau.
OK	Fermeture de la boîte de dialogue Résultats de ferraillage

Passer à l'onglet <i>Extrêmes globaux</i> dans le tableau <i>Résultats de ferrailage</i>	Présentation des Extrêmes globaux pour les sections et pour les espacements des armatures obtenus pour la plaque étudiée. Le tableau prend la forme représentée sur la figure ci-dessous.
Fermeture du tableau <i>Résultats de ferrailage</i>	



	[+]Ax Principal (cm ² /m)	[-]Ax Principal (cm ² /m)	[+]Ay Perpendiculaire	[-]Ay Perpendiculaire	[+]e(Ax) (cm)	[+]e(Ay) (cm)
MAX	16.38	5.93	13.24	4.37	33.0	45.0
Panneau	10	10	10	10	10	10
Noeud	6	16	9	10	13	4
MIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Panneau	10	10	10	10	10	10
Noeud	15	2	13	3	15	13

Valeurs | Extrêmes globaux | Info | Paramètres des ca

10.4.Exemples de définition de la structure à l'aide des options extrusion et révolution (structures de type coque)

Le chapitre 10.4 regroupe quelques brefs exemples de modélisation des structures spatiales. Lors de la création de ces structures, les options extrusion et révolution ont été utilisées. Toutes les structures présentées sont définies en tant que **coques**.

Dans la description de la définition de la structure les conventions suivantes seront observées :

- un icône quelconque signifie un clic sur cette icône effectué avec le bouton gauche de la souris,
- { x } signifie la sélection de l'option « x » dans la boîte de dialogue ,
- ClicBG et ClicBD - ces abréviations sont utilisées respectivement pour le clic sur le bouton gauche et sur le bouton droit de la souris.

Afin de commencer la définition de la structure, lancez le système **Robot Millennium** (cliquez sur l'icône correspondant ou sélectionnez la commande dans le menu affiché dans la barre des tâches).

Dans la fenêtre de l'assistant affiché par **Robot Millennium** (elle est décrite dans le chapitre

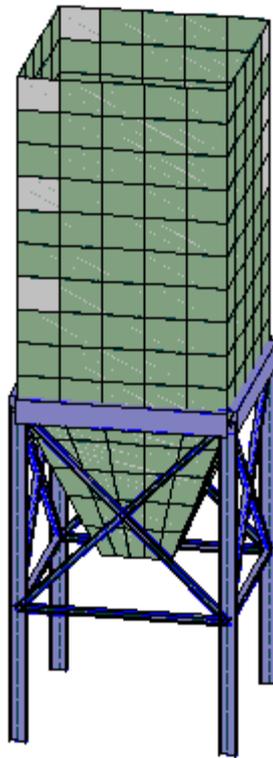


2.1) sélectionnez le deuxième icône au deuxième rang (**Etude d'une coque**) .

10.4.1. SILO

Cet exemple présente la définition du silo, représenté de façon schématique sur la figure ci-dessous.

Unités de données : (m).



DEFINITION DE LA STRUCTURE

1. GEOMETRIE DU SILO

OPERATION	DESCRIPTION
<i>Affichage / Projection / XY</i>	Sélection du plan de travail
<i>Affichage/Grille/Espacement de la grille</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Espacement de la grille .
$Dx = Dy = 1.0$	Définition de l'espacement de la grille sur l'écran (égal dans les deux directions)
Appliquer, Fermer	Validation des paramètres définis et fermeture de la boîte de dialogue Espacement de la grille .

	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Polyligne – contour</i> en vue de la définition des composants successifs du contour.
Dans la partie de la boîte de dialogue <i>Méthode de définition</i> , sélectionner l'option <i>Contour</i>	
A l'écran graphique, définir un carré à côté de 2m, les sommets du carré sont : (-1,-1,0), (-1,1,0), (1,1,0), (1,-1,0) fermer le contour par la saisie de la première coordonnée (-1;-1;0)	Définition du carré à base duquel le silo sera créé.
Fermer la boîte de dialogue <i>Polyligne – contour</i>	
Dans le menu, sélectionner la commande <i>Edition / Modifier sous-structure / Modifier objets</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Objets – opérations et modifications.</i>
Positionner le curseur dans le champ <i>Objet</i> et, à l'écran graphique, désigner le carré défini	Sélection du carré (le numéro de l'objet est transféré dans le champ <i>Objet</i>).
Appuyer sur le bouton Extrusion	Début de la définition de la modification de l'objet.
Appuyer sur le bouton Paramètres de la modification de l'objet	Définition des paramètres de l'opération d'extrusion.
Définir les paramètres de l'extrusion : <i>H à l'axe Z,</i> <i>Longueur 5 m</i> <i>Divisions = 5</i> Options inactives : <i>base supérieure, base inférieure</i>	Paramètres de l'extrusion.
Appuyer sur le bouton Appliquer	Réalisation de l'opération d'extrusion du carré suivant les paramètres donnés.
Appuyer sur le bouton Homothétie	Début de la définition de l'opération sur la modification (extrusion) de l'objet.
Appuyer sur le bouton Paramètres de l'opération	Définition des paramètres de l'opération sur la modification du carré.
Définir les paramètres de l'homothétie : <i>coefficients d'échelle x=y=3</i> <i>échelle z=1</i> <i>centre de l'homothétie (0,0,0)</i>	Paramètres de l'homothétie sur l'opération d'extrusion.

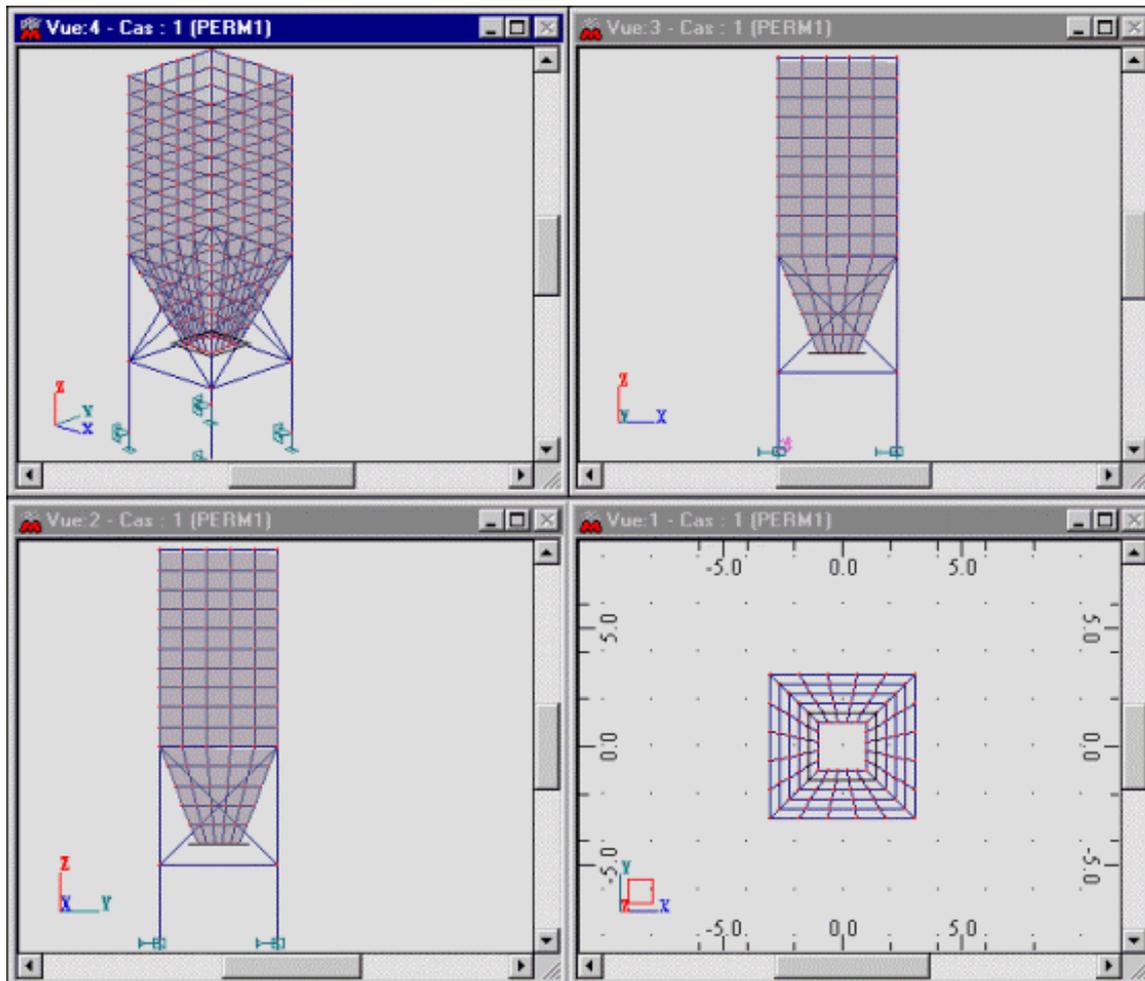
Appuyer sur le bouton Appliquer	Réalisation de l'opération d'homothétie sur l'opération d'extrusion du carré suivant les paramètres donnés.
Appuyer sur le bouton Extrusion	Début de la définition de la modification de l'objet.
Appuyer sur le bouton Paramètres de la modification de l'objet	Définition des paramètres de l'opération d'extrusion.
Définir les paramètres de l'extrusion : <i>H à l'axe Z,</i> <i>Longueur 10 m</i> <i>division = 10</i> options inactives : <i>base supérieure, base inférieure</i>	Paramètres de l'extrusion.
Appuyer sur le bouton Appliquer	Réalisation de l'opération d'extrusion du carré suivant les paramètres donnés
Fermer la boîte de dialogue Objets – opérations et modifications	
	Vue initiale
<i>Vue/Projection/3d xyz</i>	
	Ouverture de la boîte de dialogue de définition de l'épaisseur
Sélectionner l'épaisseur par défaut pour les panneaux EP_30BET	Sélection de l'épaisseur à affecter aux éléments spécifiques composant le silo
Dans le champ <i>Panneaux</i> saisissez tout	Sélection de tous les éléments du silo
Appuyer sur le bouton Appliquer	Affectation de l'épaisseur par défaut à tous les éléments du silo
Fermer la boîte de dialogue Epaisseur EF	

2. GEOMETRIE DU SUPPORT

	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Barres</i>
ClicBG sur le champ TYPE DE BARRE et sélection du type : Poutre BA ClicBG sur le champ SECTION et sélection du type B50x70	Sélection des caractéristiques de la barre
Définir quatre barres : poutre 1 : orig. (-3 ; -3 ; 5), fin (3 ; -3 ; 5) poutre 2 : orig. (3 ; -3 ; 5), fin (3 ; 3 ; 5) poutre 3 : orig. (3 ; 3 ; 5), fin (-3 ; 3 ; 5) poutre 4 : orig. (-3 ; 3 ; 5), fin (-3 ; -3 ; 5)	Définition des poutres en béton armé
ClicBG sur le champ TYPE DE BARRE et sélection du type : <i>Poteau</i> ClicBG sur le champ SECTION et sélection du type HEA 500 (si ce profilé n'est pas spécifié dans la liste de profilés disponibles, il faut ouvrir la boîte de dialogue <i>Nouvelle section</i> , pour cela, cliquer sur le bouton  et sélectionner ce profilé)	Sélection des caractéristiques de la barre
Définir quatre poteaux acier de 10 m de longueur : poteau 1 : orig. (-3 ; -3 ; 5), fin (-3 ; -3 ; -5) poteau 2 : orig. (3 ; -3 ; 5), fin (3 ; -3 ; -5) poteau 3 : orig. (3 ; 3 ; 5), fin (3 ; 3 ; -5) poteau 4 : orig. (-3 ; 3 ; 5), fin (-3 ; 3 ; -5)	Définition des poteaux acier

<p>ClicBG sur le champ TYPE DE BARRE et sélection du type : <i>Barre</i></p> <p>ClicBG dans la champ SECTION et sélection du type HEA 200 (si ce profilé n'est pas spécifié dans la liste de profilés disponibles, il faut ouvrir la boîte de dialogue <i>Nouvelle section</i>, pour cela, cliquer sur le bouton  et sélectionner ce profilé)</p>	Sélection des caractéristiques de la barre.
<p>Définir quatre barres :</p> <p>poutre 1 : orig.(-3 ;-3 ;-1), fin (3 ;-3 ;-1)</p> <p>poutre 2 : orig.(3 ;3 ;-1), fin (3 ;3 ;-1)</p> <p>poutre 3 : orig.(3 ;3 ;-1), fin (-3 ;3 ;-1)</p> <p>poutre 4 : orig.(-3 ;3 ;-1), fin (-3 ;-3 ;-1)</p>	Définition de la traverse acier.
<p>ClicBG sur le champ TYPE DE BARRE et sélection du type : <i>Barre</i></p> <p>ClicBG sur le champ SECTION et sélection du type IPE 100 (si ce profilé n'est pas spécifié dans la liste de profilés disponibles, il faut ouvrir la boîte de dialogue <i>Nouvelle section</i>, pour cela, cliquer sur le bouton  et sélectionnez ce profilé)</p>	Sélection des caractéristiques de la barre.
<p>Définir les contreventements :</p> <p>1 : orig.(-3 ;-3 ;5), fin (3 ;-3 ;-1)</p> <p>2 : orig. (3 ;-3 ;5), fin (-3 ;-3 ;-1)</p>	Définition des contreventements.
<p>Définir les contreventements:</p> <p>3 : orig.(3 ;-3 ;5), fin (3 ;3 ;-1)</p> <p>4 : orig. (3 ;3 ;5), fin (3 ;-3 ;-1)</p>	Définition des contreventements.
<p>Fermer le boîte de dialogue Barres</p>	
<p>Sélectionner les contreventements 1 et 2 (par fenêtre ou à l'aide de la touche CTRL appuyée)</p>	

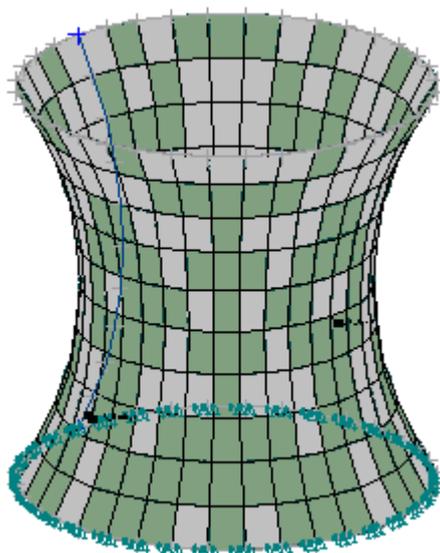
<i>Edition / Transformer / Translation</i>	Ouverture de la boîte de dialogue de définition de la translation.
vecteur de la translation (0 ;6 ;0) Appliquer	
ClicBD dans la fenêtre contenant le dessin de la structure ; à partir du menu contextuel, cliquer sur la commande <i>Sélectionner</i> Sélectionner les contreventements 3 et 4	
vecteur de la translation (-6 ;0 ;0)	
Fermer la boîte de dialogue <i>Translation</i>	
<i>Affichage / Projection / 3D xyz</i>	Sélection de la vue axonométrique.
	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Appuis</i> .
ClicBG sur le champ <i>Sélection actuelle</i> (l'option <i>Nœud</i> est active)	Sélection des nœuds de la structure dans lesquels les appuis seront définis.
Passer à l'écran graphique ; maintenir le bouton gauche enfoncé et sélectionner par fenêtre tous les nœuds inférieurs des poteaux	Si les nœuds ne sont pas tous visibles, vous pouvez tourner la structure en utilisant la touche de raccourci CTRL+ALT+Z. La rotation peut être interrompue par un simple mouvement de la souris.
Dans la boîte de dialogue <i>Appuis</i> sélectionner l'icône symbolisant l'appui encastré (il sera mis en surbrillance)	Sélection du type d'appui
ClicBG sur le bouton Appliquer	Le type d'appui sélectionné sera affecté aux nœuds sélectionnés dans la structure
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Appuis</i>
<i>Analyse/ Modèle de calcul / Générer</i>	Génération du modèle de calcul de la structure (maillage par éléments finis surfaciques)



10.4.2. TOUR DE REFROIDISSEMENT

Cet exemple présente la définition d'une structure de coque (tour de refroidissement), représentée de façon schématique sur la figure ci-dessous.

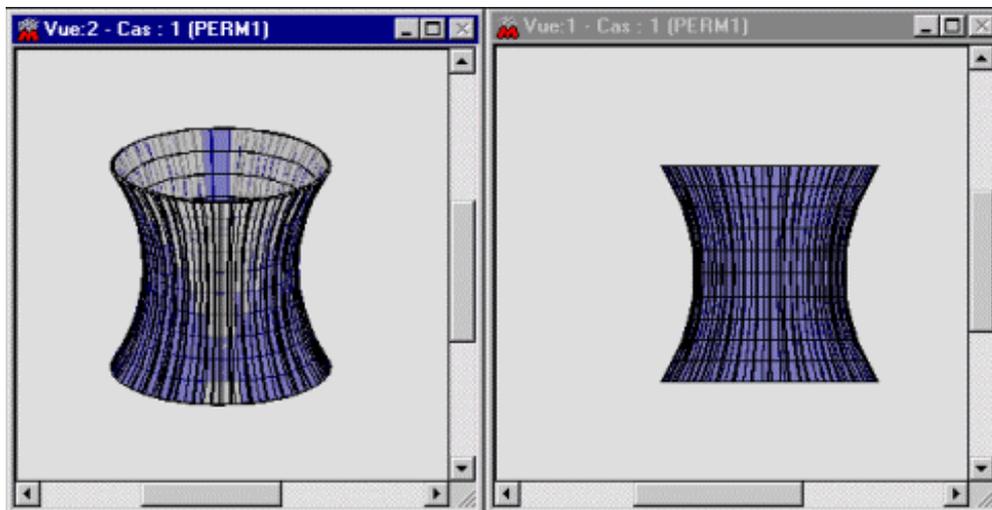
Unités de données : (m).



OPERATION	DESCRIPTION
<i>Affichage / Projection / XZ</i>	Sélection du plan de travail.
<i>Structure/Objets/Arc</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Arc en vue de la définition des composants successifs du contour.
Sélectionner la méthode de définition de l'arc : <i>début, fin, centre</i>	
A l'écran graphique, définir l'arc à paramètres suivants : Début (-10 ;0 ;10) fin (-10 ;0 ;-10) centre (-7 ;0 ;0)	
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue Arc .
CTRL + A	Sélection des objets de l'arc défini.

Dans le menu, sélectionner la commande <i>Structure / Objets / Révolution</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Révolution .
Définir les paramètres de la révolution : Axe : début (0 ;0 ;0) fin (0 ;0 ;10) angle de rotation 360 division 36 options inactives : <i>base supérieure, base inférieure et nouvel objet</i>	Paramètres de la révolution.
Appliquer	Réalisation de l'opération de la révolution de l'objet.
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue Révolution .
	Ouverture de la boîte de dialogue de définition de l'épaisseur.
Sélectionner l'épaisseur par défaut pour les panneaux EP_30BET	Sélection de l'épaisseur à affecter aux éléments spécifiques composant la structure.
Dans le champ <i>Panneaux</i> , saisir tout	Sélection de tous les éléments de la structure.
Appuyer sur le bouton Appliquer	Affectation de l'épaisseur par défaut à tous les éléments de la structure.
Fermer la boîte de dialogue Epaisseur EF	
<i>Affichage / Attributs</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Affichage des attributs .
Dans l'onglet <i>EF</i> sélectionner l'option <i>Epaisseur</i>	
Sélectionner l'épaisseur par défaut pour les panneaux EP_30BET	Sélection de l'épaisseur à affecter aux éléments spécifiques composant la structure.
Appliquer, OK	Fermeture de la boîte de dialogue Affichage des attributs .
	Vue initiale
<i>Affichage /Projection /3d xyz</i>	Vue axonométrique de la structure.
	Ouverture de la boîte de dialogue Appuis .

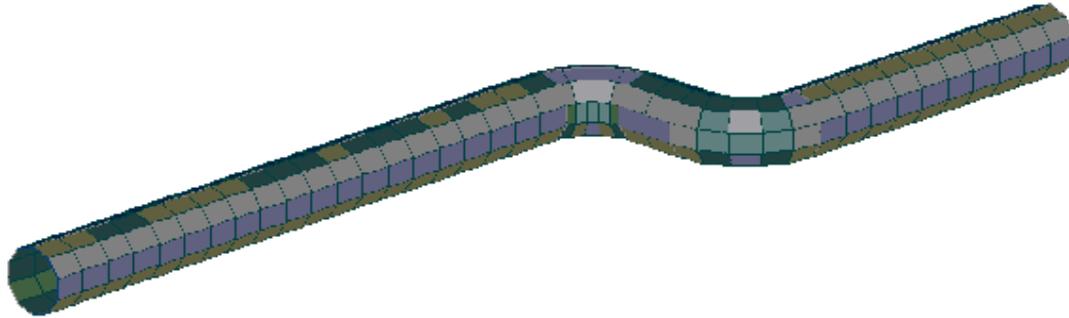
Sélection de l'option <i>Ligne</i> sur le champ <i>Sélection actuelle</i>	
Dans la boîte de dialogue <i>Appuis</i> , sélectionner l'icône symbolisant l'appui encastré (il sera mis en surbrillance)	Sélection du type d'appui.
Sélection de la ligne inférieure (cercle) de la structure	Affectation de l'appuis encastré au bord inférieur
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Appuis</i> .
<i>Analyse/ Modèle de calcul / Générer</i>	Génération du modèle de calcul de la structure (maillage par éléments finis surfaciques).



10.4.3. PIPELINE

Cet exemple présente la définition d'un fragment du pipeline représenté de façon schématique sur la figure ci-dessous.

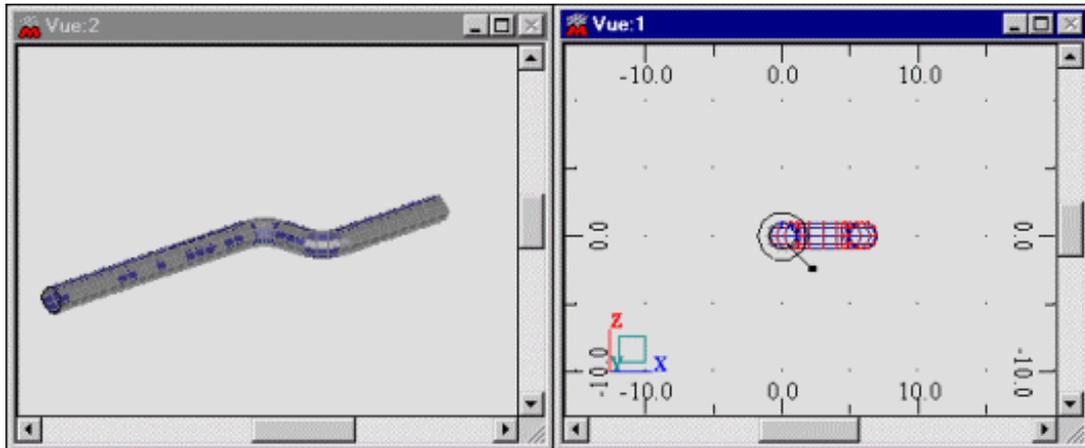
Unités de données : (m).



OPERATION	DESCRIPTION
<i>Affichage / Projection / XZ</i>	Sélection du plan de travail
<i>Structure/Objets/Cercle</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Cercle en vue de la définition des composants successifs du contour
Dans la partie de la boîte de dialogue <i>Méthode de définition</i> , sélectionner l'option <i>Centre et rayon</i>	
A l'écran graphique, définir le cercle de rayon 1 m, les coordonnées du centre sont (0 ;0 ;0)	Définition du cercle à base duquel le pipeline sera créé
Fermer la boîte de dialogue Cercle	
Dans le menu, sélectionner la commande <i>Edition / Modifier sous-structure / Modifier objets</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Objets - opérations et modifications

Positionner le curseur sur le champ <i>Objet</i> et, à l'écran graphique, sélectionnez le cercle défini	Sélection du cercle (le numéro de l'objet est transféré dans le champ <i>Objet</i>).
Appuyer sur le bouton Extrusion	Début de la définition de la modification de l'objet.
Appuyer sur le bouton Paramètres de la modification de l'objet	Définition des paramètres de l'opération d'extrusion.
Définir les paramètres de l'extrusion : // à l'axe Y, longueur 20 m division 20 options inactives : <i>base supérieure, base inférieure</i>	Paramètres de l'extrusion.
Appuyer sur le bouton Appliquer	Réalisation de l'opération d'extrusion du cercle suivant les paramètres donnés.
Appuyer sur le bouton Révolution	Début de la définition de la modification de l'objet.
Définir les paramètres de la révolution : <i>Axe :</i> <i>début (2 ;20 ;0)</i> <i>fin (2 ;20 ;1)</i> <i>angle de rotation -90</i> <i>division 5</i> options inactives : <i>base supérieure, base inférieure</i>	Paramètres de la révolution.
Appliquer	Réalisation de l'opération de la révolution de l'objet.
Appuyer sur le bouton Extrusion	Début de la définition de la modification de l'objet.
Définir les paramètres de l'extrusion : // à l'axe X, Longueur 2 m division 2 options inactives : <i>base supérieure, base inférieure</i>	Paramètres de l'extrusion.
Appuyer sur le bouton Appliquer	Réalisation de l'opération d'extrusion du cercle suivant les paramètres donnés.

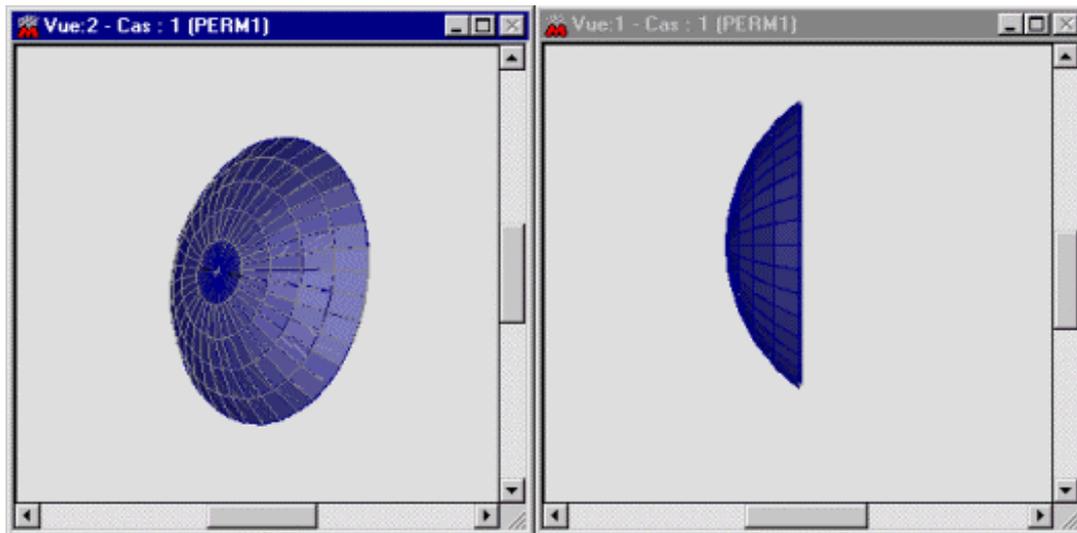
Appuyer sur le bouton Révolution	Début de la définition de la modification de l'objet.
Définir les paramètres de la révolution : Axe : <i>début</i> (4 ;24 ;0) <i>fin</i> (4 ;24 ;1) <i>angle de rotation</i> 90 <i>division</i> 5 options inactives : <i>base supérieure, base inférieure</i>	Paramètres de la révolution.
Appliquer	Réalisation de l'opération de la révolution de l'objet.
Appuyer sur le bouton Extrusion	Début de la définition de la modification de l'objet.
Définir les paramètres de l'extrusion : // à l'axe Y, Longueur 10 m division 10 options inactives : <i>base supérieure, base inférieure</i>	Paramètres de l'extrusion.
Appuyer sur le bouton Appliquer	Réalisation de l'opération d'extrusion du cercle suivant les paramètres donnés.
Fermer	
	Vue initiale
<i>Affichage / Projection / 3d xyz</i>	Vue axonométrique.
<i>Analyse / Modèle de calcul / Générer</i>	Génération du modèle de calcul de la structure (maillage par éléments finis surfaciques).



10.4.4. ANTENNE

Cet exemple présente la définition de la structure de coque représenté de façon schématique sur la figure ci-dessous.

Unités de données : (m).



OPERATION	DESCRIPTION
<i>Affichage / Projection / XZ</i>	Sélection du plan de travail.
<i>Structure/Objets/Arc</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Arc en vue de la définition des composants successifs du contour.
Sélectionner la méthode de définition de l'arc : <i>début, fin, milieu</i>	
A l'écran graphique, définir l'arc à paramètres suivants : <i>début</i> (0 ;0 ;10) <i>fin</i> (0 ;0 ;-10) <i>milieu</i> (-5 ;0 ;0)	
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue Arc .
CTRL + A	Sélection de l'arc défini.

Dans le menu, sélectionner la commande <i>Structure / Objets / Révolution</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Révolution .
Définir les paramètres de la révolution : <i>Axe : début (0 ;0 ;0)</i> <i>fin (-5 ;0 ;0)</i> <i>angle de rotation 180</i> <i>division 18</i> options inactives : <i>base supérieure, base inférieure et nouvel objet</i>	Paramètres de la révolution.
Appliquer	Réalisation de l'opération de la révolution de l'objet.
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue Révolution .
<i>Affichage / Projection / 3d xyz</i>	Vue axonométrique.
	Ouverture de la boîte de dialogue de définition de l'épaisseur.
Sélectionner l'épaisseur par défaut pour les panneaux EP_30BET	Sélection de l'épaisseur à affecter aux éléments spécifiques composant la structure.
Dans le champ <i>Panneaux</i> saisir tout	Sélection de tous les éléments de la structure.
Appuyer sur le bouton Appliquer	Affectation de l'épaisseur par défaut à tous les éléments de la structure.
Fermer la boîte de dialogue Epaisseur EF	
<i>Affichage / Attributs</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Affichage des attributs .
Dans l'onglet <i>EF</i> sélectionner l'option <i>Epaisseur</i>	
Appliquer, OK	Fermeture de la boîte de dialogue Affichage des attributs .
<i>Analyse/ Modèle de calcul / Générer</i>	Génération du modèle de calcul de la structure (maillage par éléments finis surfaciques).

10.4.5. STRUCTURE AXISYMETRIQUE

Cet exemple présente la définition de la structure de coque représenté de façon schématique sur la figure ci-dessous.

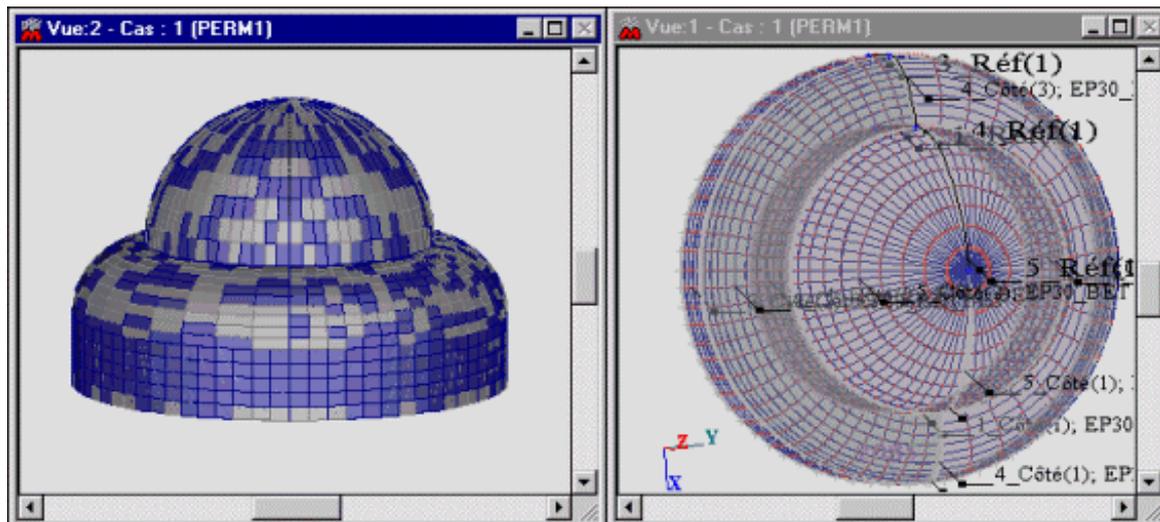
Unités de données : (m).



OPERATION	DESCRIPTION
<i>Affichage / Projection / ZX</i>	Sélection du plan de travail.
	Ouverture de la boîte de dialogue Polyligne – contour en vue de la définition des composants successifs du contour.
Dans la partie de la boîte de dialogue <i>Méthode de définition</i> sélectionner l'option <i>Ligne</i>	
A l'écran graphique, définir deux lignes : ligne 1 : début (-10 ;0 ;0) fin (-10 ;0 ;10) ligne 2 : début (-15 ;0 ;0) fin (-15 ;0 ;5)	Définition de deux lignes.
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue Polyligne - contour
<i>Structure/Objets/Arc</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Arc en vue de la définition des composants successifs du contour.

Sélectionner la méthode de définition de l'arc : <i>centre et 2 points</i>	
A l'écran graphique, définir deux arcs : arc 1 à rayon 5 : <i>milieu</i> (-10 ;0 ;5) <i>point 1</i> (-15 ;0 ;5) <i>point 2</i> (-10 ;0 ;10) arc 2 : à rayon 10 : <i>milieu</i> (0 ;0 ;10) <i>point 1</i> (-10 ;0 ;10) <i>point 2</i> (0 ;0 ;20)	
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue Arc .
CTRL + A	Sélection de tous les objets définis (lignes et arcs).
Dans le menu, sélectionner la commande <i>Structure / Objets / Révolution</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Révolution .
Définir les paramètres de la révolution : Axe : <i>début</i> (0 ;0 ;10) <i>fin</i> (0 ;0 ;20) <i>angle de rotation</i> 360 <i>division</i> 36 options inactives : <i>base supérieure, base inférieure et nouvel objet</i>	Paramètres de la révolution.
Appliquer	Réalisation de l'opération de la révolution de l'objet.
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue Révolution .
	Ouverture de la boîte de dialogue de définition de l'épaisseur.
Sélectionner l'épaisseur par défaut pour les panneaux EP_30BET	Sélection de l'épaisseur à affecter aux éléments spécifiques composant la structure.
Dans le champ <i>Panneaux</i> saisir tout	Sélection de tous les éléments de la structure.
Appuyer sur le bouton Appliquer	Affectation de l'épaisseur, par défaut, à tous les éléments de la structure.
Fermer la boîte de dialogue Epaisseur EF	
	Vue initiale

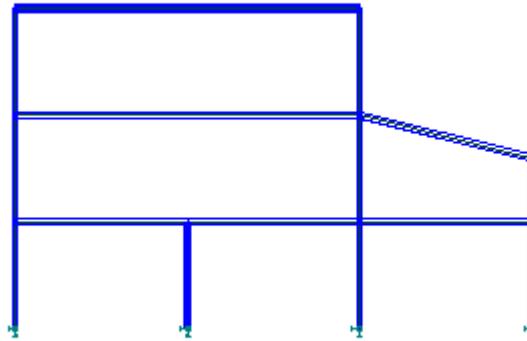
<i>Affichage / Projection / 3D</i>	Vue axonométrique.
<i>Affichage / Attributs</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Affichage des attributs</i> .
Dans l'onglet <i>EF</i> sélectionner l'option <i>Epaisseur</i>	
Appliquer, OK	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Affichage des attributs</i> .
	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Appuis</i> .
Sélection graphique de l'option <i>Ligne</i> dans le champ <i>Sélection actuelle</i>	Définition de l'encastrement sur les bords inférieurs.
Dans la boîte de dialogue <i>Appuis</i> sélectionner l'icône symbolisant l'appui encastré (il sera mis en surbrillance)	Sélection du type d'appui
Sélection de deux lignes inférieures (cercles) de la structure	
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Appuis</i>
<i>Analyse/ Modèle de calcul / Générer</i>	Génération du modèle de calcul de la structure (maillage par éléments finis surfaciques)



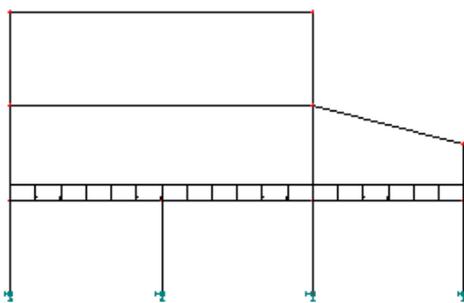
10.5.Exemple de l'étude d'un portique plan

Cet exemple présente la définition, l'analyse et le dimensionnement du portique plan acier représenté sur le dessin ci-dessous.

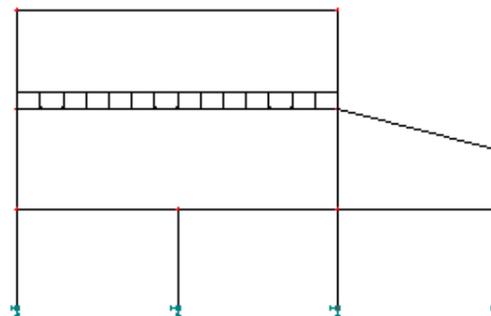
Unités de données : (m) et (kN).



Pour la structure, trois cas de charge seront définis (poids propre et deux cas de charge d'exploitation représentés sur les figures ci-dessous), de plus les charges de neige et vent seront générées de façon automatique (10 cas).



CAS 2



CAS 3

Dans la description de la définition de la structure, les conventions suivantes seront observées :

- un icône quelconque signifie un clic sur cette icône effectué avec le bouton gauche de la souris,
- { x } signifie la sélection de l'option « x » dans la boîte de dialogue ,
- ClicBG et ClicBD - ces abréviations sont utilisées respectivement pour le clic sur le bouton gauche et sur le bouton droit de la souris.

Afin de commencer la définition de la structure, lancez le système **Robot Millennium** (cliquez sur l'icône correspondant ou sélectionnez la commande dans le menu affiché dans la barre des tâches).

Dans la fenêtre de l'assistant affichée par **Robot Millennium** (elle est décrite dans le chapitre



2.1) sélectionnez la première icône au premier rang (*Etude d'un portique plan*).

10.5.1. Définition du modèle de la structure

ACTION EFFECTUEE	DESCRIPTION
 MODELE DE STRUCTURE / BARRES	Sélection du bureau dans la liste des bureaux disponibles dans Robot Millennium .
ClicBG sur le champ TYPE et sélectionner le type Poteau ClicBG sur le champ SECTION et sélection du type HEA 300 (si ce profilé n'est pas spécifié dans la liste de profilés disponibles, il faut ouvrir la boîte de dialogue Nouvelle section , pour cela, cliquez sur le bouton  et sélectionner ce profilé)	Sélection des caractéristiques de la barre.
ClicBG sur le champ <i>Origine</i> (le fond du champ sera alors affiché en vert)	Début de la définition des barres de la structure (poteaux de la structure).
poteau 1 : (0 ;0) (0 ;5) (0 ;5) (0 ;10) (0 ;10) (0 ;15) poteau 2 : (8 ;0 ;0) (8 ;0 ;5) poteau 3 : (16 ;0) (16 ;5) (16 ;5) (16 ;10) (16 ;10) (16 ;15) poteau 4 : (24 ;0) (24 ;5) (24 ;5) (24 ;8)	Définition des poteaux du portique.

<p>ClicBG sur le champ TYPE dans la fenêtre Barres et sélection du type Poutre</p> <p>ClicBG sur le champ SECTION et sélection du type HEA300</p>	<p>Début de la définition des poutres du portique et sélection de leur caractéristiques.</p>
<p>ClicBG sur le champ <i>Origine</i> (le fond du champ sera alors affiché en vert)</p>	<p>Début de la définition des poutres dans la structure.</p>
<p>Poutre 1 : (0 ;5) (8 ;5) (8 ;5) (16 ;5) (16 ;5) (24 ;5)</p> <p>Poutre 2 : (0 ;10) (16 ;10)</p> <p>Poutre 3 : (16 ;10) (24 ;8)</p> <p>Poutre 4 : (0 ;15) (16 ;15)</p>	<p>Définition des poutres.</p>
<p>ClicBG sur le champ de sélection du bureau du système Robot Millennium</p> <p>MODELISATION / DEMARRAGE</p>	<p>Sélection du bureau du système Robot Millennium.</p>
	<p>Vue initiale</p>
	<p>Ouverture de la boîte de dialogue Appuis.</p>
<p>ClicBG sur le champ <i>Sélection actuelle</i> (l'option <i>Nœud</i> est active)</p>	<p>Sélection des nœuds de la structure dans lesquels les appuis seront définis.</p>
<p>Passer à l'écran graphique ; maintenir enfoncé le bouton gauche de la souris, utiliser la sélection par fenêtre pour mettre en surbrillance les nœuds inférieurs des poteaux</p>	<p>Dans le champ <i>Sélection actuelle</i>, les numéros des nœuds sélectionnés seront affichés (1, 5, 7, 11).</p>
<p>Dans la boîte de dialogue Appuis sélectionner l'icône symbolisant l'appui encastré (elle sera alors mise en surbrillance)</p>	<p>Sélection du type d'appui.</p>

ClicBG sur le bouton Appliquer, Fermer	Le type d'appui sélectionné sera affecté aux nœuds sélectionnés.
---	--

10.5.2. Définition des cas de charge et des charges

	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Cas de charge</i> .
ClicBG sur le bouton Nouveau	Définition du cas de charge Nature : permanente Nom standard : PERM1
ClicBG dans le champ <i>Nature</i> Sélectionner la charge <i>d'exploitation</i>	Sélection de la nature du cas de charge (charge d'exploitation).
ClicBG sur le bouton Nouveau ClicBG sur le bouton Nouveau	Définition de deux cas de charge Nature : d'exploitation Noms standard : EXPL1 et EXPL2
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Cas de charge</i> .
A partir du menu supérieur, sélectionner : <i>Chargements/Tableau</i> – <i>chargements</i>	Ouverture du tableau de définition des charges agissant dans les cas de charge définis.
 Disposer le tableau dans la partie inférieure de l'écran de façon qu'il occupe toute la largeur de la structure et que le modèle de la structure étudiée soit visible	Réduction de la taille du tableau de façon que la définition graphique des charges soit possible.
Premier champ dans la colonne CAS	La charge par poids propre direction ("Z") a été affectée automatiquement à toutes les barres de la structure.
ClicBG dans le deuxième champ dans la colonne CAS, sélectionner le deuxième cas de charge EXPL1	Définition des charges agissant dans le deuxième cas de charge.
ClicBG sur le champ dans la colonne TYPE DE CHARGE Sélectionner la charge uniforme	Sélection du type de charge.
ClicBG sur le champ dans la colonne LISTE, Sélection graphique de la poutre 1 (barres 10A12)	Sélection des barres auxquelles la charge uniforme sera appliquée.

ClicBG sur le champ dans la colonne "pz=" Saisir la valeur -20	Sélection de la direction et de la valeur de la charge uniforme.
ClicBG dans le troisième champ dans la colonne CAS, Sélectionner le troisième cas de charge EXPL2	Définition des charges agissant dans le troisième cas de charge.
ClicBG sur le champ dans la colonne TYPE DE CHARGE Sélectionner la charge uniforme	Sélection du type de charge.
ClicBG sur le champ dans la colonne LISTE, sélection graphique de la poutre 2 (barre 13)	Sélection des barres auxquelles la charge uniforme sera appliquée.
ClicBG sur le champ dans la colonne "pz=" Saisir la valeur -14	Sélection de la direction et de la valeur de la charge uniforme.
Fermeture du tableau des charges	

10.5.3. Définition des charges de neige et vent

Norme française NV65/N84 Mod.96

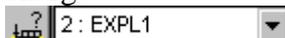
<i>Chargements / Autres charges / Neige et Vent 2D/3D</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Neige et vent 2D/3D</i> .
Clic sur le bouton Auto	Génération automatique de l'enveloppe de la structure en vue de la génération des charges de neige et vent. Dans le champ <i>Enveloppe</i> , les numéros de nœuds suivants seront affichés : 1, 2, 3, 4, 10, 9, 13, 12, 11).
Définition des paramètres suivants : <i>Profondeur = 60</i> <i>Entraxe = 10</i> Cocher les cases : <i>Neige et Vent</i> Décocher les cases : <i>Sans acrotères</i> <i>Avec base non reposant au sol</i> <i>Toitures isolées</i>	Définition des paramètres de base pour les charges de neige et vent.
Clic sur le bouton Paramètres	Ouverture de la boîte de dialogue supplémentaire (<i>Charges de neige et vent 2D/3D</i>) dans laquelle vous pouvez définir les paramètres détaillés.
Définition des paramètres de la charge de neige et vent : onglet <i>Paramètres globaux</i> : <i>Département</i> : Alpes-Maritimes <i>Altitude géographique</i> : 200 <i>Altitude de la construction</i> : 15 m <i>Position du sol</i> : 0.8 m <i>Flèche de la toiture</i> : automatique	Définition des paramètres des charges de neige et vent.
onglet <i>Vent</i> : <i>Site</i> : Normal <i>Type</i> : Normal <i>Pression du vent</i> : automatique Effet des dimensions de la structure : automatique Désactiver toutes les options affichées dans la zone <i>Actions spécifiques</i>	Définition des paramètres des charges de neige et vent.

onglet <i>Neige</i> : <i>Type</i> : Normale et accidentelle <i>Pression de la neige</i> : automatique pour la neige normale et extrême Activer l'option <i>Redistribution de la neige</i> Désactiver toutes les autres options dans la zone <i>Accumulation de la neige</i>	Définition des paramètres des charges de neige et vent.
Générer	Un clic sur ce bouton entraîne la génération des charges de neige et vent pour les paramètres définis. Le logiciel affichera une note de calcul dans laquelle les paramètres des cas de charge de neige et vent seront présentés.
Fermeture du traitement de texte et des notes de calcul	
Fermeture de la boîte de dialogue <i>Neige et vent 2D/3D</i>	6 nouveaux cas de charge sont disponibles : 3 charges de vent et 3 charges de neige.

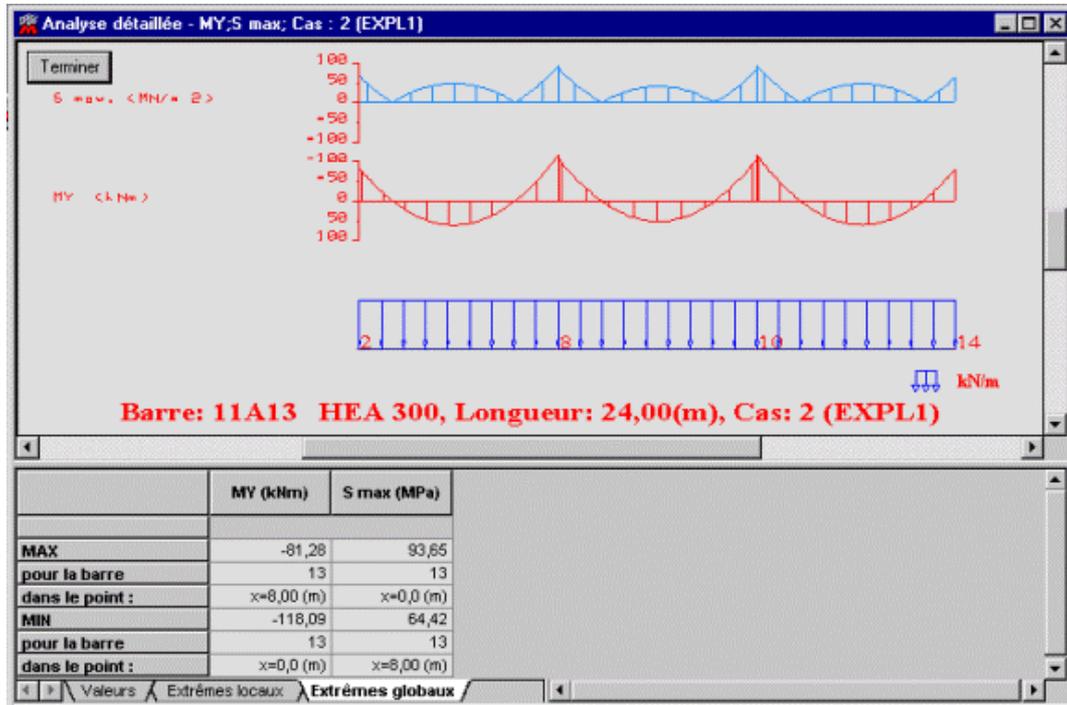
10.5.4. Analyse de la structure

	Lancement des calculs de la structure définie. Après la fin des calculs, la barre de titre du logiciel ROBOT affiche l'information suivante : <i>Résultats MEF – actuels</i> .
---	---

10.5.5. Analyse détaillée

ClicBG dans le champ de sélection des bureaux <i>Robot Millennium</i> RESULTATS / ANALYSE DETAILLEE	Lancement de l'analyse détaillée des barres de la structure. L'écran graphique est divisé en deux parties contenant le modèle de la structure et la boîte de dialogue <i>Analyse détaillée</i> .
Sélection du deuxième cas de charge 	

<p>Dans la boîte de dialogue Analyse détaillée, sélectionnez les options suivantes :</p> <p>Activer l'option <i>Ouvrir nouvelle fenêtre</i></p> <p>Dans l'onglet <i>NTM</i>, sélectionner l'option <i>Moment MY</i></p>	<p>Sélection des grandeurs à présenter pour la poutre sélectionnée.</p>
<p>Appliquer</p>	<p>Le logiciel affiche un écran graphique supplémentaire divisé en deux parties :</p> <ul style="list-style-type: none"> • présentation graphiques des informations pour les barres sélectionnées (diagrammes, charges, profilés de barres). • tableau présentant les résultats numériques pour les barres sélectionnées.
<p>Dans la boîte de dialogue Analyse détaillée sélectionner l'option suivante :</p> <p>dans l'onglet <i>Contraintes</i>, sélectionner l'option <i>maximales – Smax</i></p> <p>dans l'onglet <i>Points de division</i> sélectionner l'option <i>Points caractéristiques</i></p> <p>ClicBG dans <i>Régénérer</i></p>	<p>Ajout du diagramme des contraintes et calcul des points caractéristiques pour le diagramme des moments My</p> <p>.</p>
<p>Appliquer</p>	<p>Ajout des grandeurs successives à afficher pour la poutre sélectionnée.</p>
<p>Dans le tableau, sélectionner l'onglet <i>Extrêmes globaux</i></p>	<p>Le tableau présente les extrêmes globaux pour la poutre sélectionnée.</p> <p>La fenêtre contenant l'analyse détaillée de la poutre sélectionnée prendra la forme représentée sur la figure ci-dessous.</p>



Terminer

Fermeture du bureau dans lequel l'analyse détaillée pour la poutre sélectionnée a été présentée.

10.5.6. Dimensionnement de la structure

Norme acier française : CM66

<p>ClicBG sur le champ de sélection du bureau du système Robot Millennium DIMENSIONNEMENT / DIMENSIONNEMENT ACIER</p>	<p>Lancement du dimensionnement des barres d'acier définies dans la structure. L'écran est alors divisé en trois parties : <ul style="list-style-type: none"> • zone graphique contenant le modèle de la structure • boîte de dialogue <i>Définitions</i> • boîte de dialogue <i>Calculs</i>. </p>
<p>ClicBG sur le bouton Nouveau dans l'onglet <i>Familles</i> dans le boîte de dialogue <i>Définitions</i></p>	<p>Début de la définition des familles.</p>
<p>Définition de la première famille de barres à paramètres suivants : Numéro : 1 Nom : poteaux Liste de pièces : 1A9 Matériau : ACIER défaut</p>	<p>Définition de la première famille de pièces (poteaux définis dans la structure).</p>
<p>Enregistrer</p>	<p>Enregistrement des paramètres de la première famille.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Nouveau dans l'onglet <i>Familles</i> dans le boîte de dialogue <i>Définitions</i></p>	<p>Début de la définition de la deuxième famille de pièces.</p>
<p>Définition de la deuxième famille à paramètres suivants : <i>Numéro</i> : 2 <i>Nom</i> : poutres <i>Liste de pièces</i> : 10A15 <i>Matériau</i> : ACIER défaut</p>	<p>Définition de la deuxième famille de pièces (poutres définies dans la structure).</p>
<p>Enregistrer</p>	<p>Enregistrement des paramètres de la deuxième famille.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Liste dans la ligne <i>Dimensionnement des familles</i> dans la fenêtre <i>Calculs</i></p>	<p>Passage à la boîte de dialogue <i>Calculs</i> et ouverture de la boîte de dialogue <i>Sélection de familles</i>.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Tout (dans le champ affiché au-dessus du bouton Précédente, la liste 1A2 est affichée) Fermer</p>	<p>Sélection des familles à dimensionner.</p>

ClicBG sur le bouton Sélectionner cas de charge dans la fenêtre <i>Calculs</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Sélection de cas</i> .
ClicBG sur le champ affiché au-dessus du bouton Précédente , Saisissez la liste de cas 1A3 Fermer	Sélection des trois premiers cas de charge.
Activation des options : <i>Optimisation</i> et Etat limite : <i>Ultime</i>	Lors du dimensionnement des familles, les procédures d'optimisation seront utilisées (optimisation du poids des sections), L'état limite ultime sera vérifié.
Cliquez sur le bouton Options	Dans la boîte de dialogue <i>Options d'optimisation</i> affichée à l'écran, sélectionnez l'option <i>Poids</i> ; à la suite de l'optimisation, le profilé le plus léger sera trouvé.
OK	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Options d'optimisation</i> .
ClicBG sur le bouton Calculer	Début du dimensionnement des familles des barres de la structure, Le logiciel affiche alors la fenêtre <i>Résultats simplifiés</i> représentée ci-dessous.

Pièce	Profil	Matériau	Lay	Laz	Ratio	Cas
Famille : 1 Poteaux						
2	HEA 220	ACIER	54.53	90.72	1.29	3 EXPL2
	HEA 240		49.74	83.29	0.98	
	HEA 260		45.56	76.93	0.79	
Famille : 2 Poutres						
13	HEA 400	ACIER	95.03	218.00	1.10	3 EXPL2
	HEA 450		84.57	219.43	0.90	
	HEA 500		78.25	220.86	0.75	

Points de calcul
 division : n = 3
 extrêmes : aucun
 additionnels : aucun

ClicBG sur le bouton Changer Tout dans la boîte de dialogue <i>Dimensionnement des familles</i> représentée ci-dessus	Pour les deux familles, les profilés de barres calculés sont remplacés par les sections calculées (pour les poteaux, HEA300 remplacé par HEA240 ; pour les poutres, HEA300 remplacé par HEA450). Après le changement des profilés, la barre de titre du logiciel Robot affiche l'information suivante : <i>Résultats MEF – non actuels</i> .
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Dimensionnement des familles</i> .
	Recalcul de la structure après le changement des profilés. Après la fin des calculs, la barre de titre du logiciel Robot affiche l'information suivante : <i>Résultats MEF – actuels</i> .
ClicBG sur le bouton Calculer dans la boîte de dialogue <i>Calculs</i>	Redimensionnement des familles sélectionnées (1,2), les options d'optimisation sont utilisées. La fenêtre <i>Résultats simplifiés</i> est affichée.
ClicBG sur le bouton Changer tout dans la boîte de dialogue <i>Dimensionnement des familles</i>	Pour les poteaux, les profilés de barres calculés sont remplacés par les sections calculées (HEA240 remplacé par HEA200). Après le changement des profilés, la barre de titre du logiciel Robot affiche l'information suivante : <i>Résultats MEF – non actuels</i> .
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Dimensionnement des familles</i> .
	Recalcul de la structure après le changement des profilés. Après la fin des calculs, la barre de titre du logiciel Robot affiche l'information suivante : <i>Résultats MEF – actuels</i> .
ClicBG sur le bouton Calculer dans la boîte de dialogue <i>Calculs</i>	Redimensionnement des familles sélectionnées (1,2), les options d'optimisation sont utilisées. La fenêtre <i>Résultats simplifiés</i> est affichée.
ClicBG sur le bouton Changer tout dans la boîte de dialogue <i>Dimensionnement des familles</i>	Pour les poteaux, les profilés de barres calculés sont remplacés par les sections calculées (HEA200 remplacé par HEA180). Après le changement des profilés, la barre de titre du logiciel Robot affiche l'information suivante : <i>Résultats MEF – non actuels</i> .
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Dimensionnement des familles</i> .
	Recalcul de la structure après le changement des profilés. Après la fin des calculs, la barre de titre du logiciel Robot affiche l'information suivante : <i>Résultats MEF – actuels</i> .

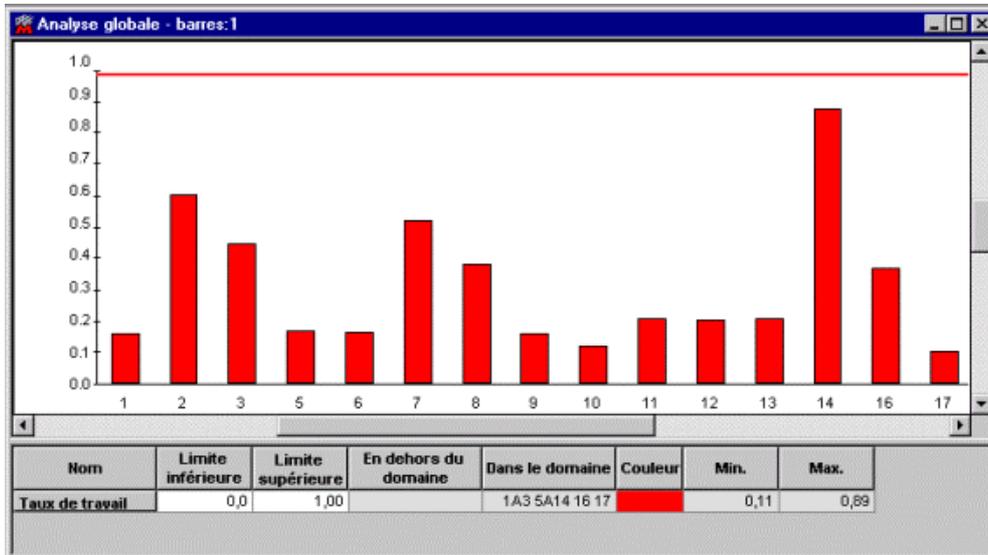
ClicBG sur le bouton Calculer dans la boîte de dialogue Calculs	Redimensionnement des familles sélectionnées (1,2), les options d'optimisation sont utilisées. La fenêtre Résultats simplifiés est affichée.
ClicBG sur le bouton Changer tout dans la boîte de dialogue Dimensionnement des familles	Pour les poteaux, les profilés de barres calculés sont remplacés par les sections calculées (HEA180 remplacé par HEA160). Après le changement des profilés, la barre de titre du logiciel Robot affiche l'information suivante : <i>Résultats MEF – non actuels.</i>
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue Dimensionnement des familles
	Recalcul de la structure après le changement des profilés. Après la fin des calculs, la barre de titre du logiciel Robot affiche l'information suivante : <i>Résultats MEF – actuels.</i>
ClicBG sur le bouton Calculer dans la boîte de dialogue Calculs	Redimensionnement des familles sélectionnées (1,2), les options d'optimisation sont utilisées. La fenêtre Résultats simplifiés est affichée.
ClicBG sur le bouton Changer tout dans la boîte de dialogue Dimensionnement des familles	Pour les poteaux, les profilés de barres calculés sont remplacés par les sections calculées (HEA160 remplacé par HEA140). Après le changement des profilés, la barre de titre du logiciel Robot affiche l'information suivante : <i>Résultats MEF – non actuels.</i>
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue Dimensionnement des familles .
	Recalcul de la structure après le changement des profilés. Après la fin des calculs, la barre de titre du logiciel Robot affiche l'information suivante : <i>Résultats MEF – actuels.</i>
ClicBG sur le bouton Calculer dans la boîte de dialogue Calculs	Redimensionnement des familles sélectionnées (1,2), les options d'optimisation sont utilisées. Le logiciel affiche la fenêtre Résultats simplifiés représentée ci dessous. Les profilés calculés (HEA 160 et HEA 450) sont optimaux pour les familles dimensionnées. Attention : Il peut s'avérer utile de calculer les profilés optimisés plusieurs fois afin d'obtenir le jeu de profilés optimal.

Pièce	Profil	Matériau	Lay	Laz	Ratio	Cas
Famille : 1 Poteaux						
6	HEA 120	ACIER	102.22	165.63	27.52	3 EXPL2
	HEA 140		87.19	142.03	0.59	
	HEA 160		76.12	125.48	0.37	
Famille : 2 Poutres						
13	HEA 400	ACIER	95.03	218.00	1.12	3 EXPL2
	HEA 450		84.57	219.43	0.91	
	HEA 500		76.25	220.86	0.76	

Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Dimensionnement des familles</i>
ClicBG sur le champ <i>Vérification des pièces</i> dans la fenêtre <i>Calculs</i> Saisir 1A15	Sélection des barres à vérifier
ClicBG sur le champ <i>Liste de cas de charge</i> dans la fenêtre <i>Calculs</i> Sélectionner 1A3	Sélection de tous les cas de charges
ClicBG sur le bouton Calculer	Début de la vérification des barres sélectionnées dans la structure (la vérification est effectuée pour obtenir les résultats pour les barres spécifiques formant la structure) ; Le logiciel affiche alors la fenêtre <i>Résultats simplifiés</i> .
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Vérification des pièces</i>

10.5.7. Analyse globale

ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION / DEMARRAGE	Sélection du bureau du logiciel Robot Millennium .
<i>Résultats/Analyse globale – barres</i>	Lancement de l'analyse globale de toutes les barres de la structure. Le logiciel affiche un écran graphique supplémentaire divisé en deux parties : <ul style="list-style-type: none"> • Présentation graphique des informations • Tableaux contenant les résultats numériques
ClicBD sur l'écran graphique supplémentaire	Un menu contextuel est affiché à l'écran
<i>Colonnes</i>	Après la sélection de cette option dans le menu contextuel, le logiciel ouvre la boîte de dialogue Paramètres pour les fenêtres de présentation
Dans l'onglet <i>Contraintes</i> , désactiver l'option <i>Normales</i> Dans l'onglet <i>Dimensionnement</i> , activer l'option <i>Taux de travail</i>	Sélection des grandeurs pour lesquelles l'analyse globale sera affichée
ClicBG sur le bouton OK	Validation de la sélection effectuée
ClicBG dans le tableau, dans le champ <i>Limite supérieure</i> Saisir la valeur 1.0	Définition de la limite supérieure pour le coefficient de taux de travail
ClicBD sur l'écran graphique supplémentaire	Un menu contextuel est affiché à l'écran
Sélectionner l'option <i>Afficher toujours les limites</i>	Présentation des valeurs limites dans la partie graphique de l'écran prévu pour l'analyse globale (lignes horizontales). La fenêtre de l'analyse globale prendra la forme représentée sur la figure ci-dessous.

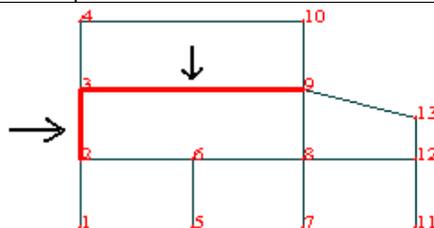
**Fermer**

Fermeture de l'écran graphique dans lequel l'analyse globale de la structure a été présentée.

10.5.8. Dimensionnement des assemblages acier

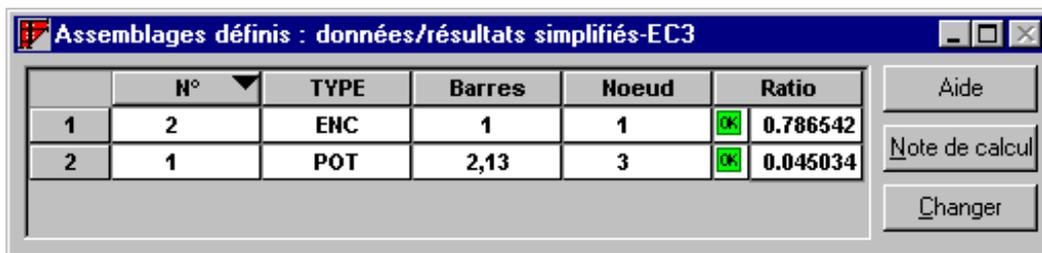
Norme Eurocode 3

<p>ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium DIMENSIONNEMENT/ ASSEMBLAGES ACIER</p>	<p>Début du dimensionnement des assemblages acier des barres de la structure. L'écran est divisé en quatre parties :</p> <ul style="list-style-type: none"> • zone graphique contenant le modèle de la structure • zone graphique présentant l'assemblage défini, • boîte de dialogue <i>Définition de l'assemblage</i> • tableau <i>Assemblages définis</i>.
<p>Sélectionner la barre du deuxième niveau et la partie centrale du poteau gauche - maintenir enfoncé le bouton CTRL et cliquez du bouton gauche de la souris sur les barres mentionnées</p>	<p>Sélection des barres pour lesquelles l'assemblage sera vérifié. Les barres sélectionnées sont représentées sur la figure ci-dessous, elles sont indiquées avec les flèches noires.</p>



ClicBG sur le bouton Créer disponible dans la fenêtre Définition de l'assemblage Appliquer	Définition de l'assemblage entre les barres sélectionnées ; plusieurs onglets sont affichés dans la boîte de dialogue.
Activation de l'option Assemblage soudé disponible dans l'onglet Profilés de la boîte de dialogue Définition de l'assemblage	Sélection du type d'assemblage.
ClicBG sur le champ Vue de l'assemblage contenant le dessin de l'assemblage défini	Modification du menu.
<i>Analyse/Calculer</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Calcul des assemblages .
ClicBG sur le champ Liste dans le champ Cas de charge Saisissez (1A3)	Sélection de cas de charge.
ClicBG sur le bouton Calculs	Début de la vérification de l'assemblage.
Sélection du nœud inférieur gauche avec le poteau	Sélection de la barre pour laquelle l'assemblage sera vérifié (pied du poteau encasté).
ClicBG sur le bouton Créer disponible dans la fenêtre Définition de l'assemblage	Définition de l'assemblage, Plusieurs onglets sont affichés dans la boîte de dialogue.
ClicBG sur le champ Vue de l'assemblage contenant le dessin de l'assemblage défini	Modification du menu.
<i>Analyse/Calculer</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Calculs de l'assemblage .
ClicBG sur le champ Liste dans la zone Cas de charge . Saisissez (1A3)	Sélection de cas de charge.

ClicBG sur le bouton Calculer	Début de la vérification de l'assemblage. Le tableau de résultats réduits prend l'aspect présenté sur la figure ci-dessous.
Sélectionner les deux assemblages dans la boîte de dialogue <i>Assemblages définis - données/résultats simplifiés</i> (les lignes sont mises en surbrillance)	
ClicBG sur le bouton Note de calcul <i>Type d'impression</i> : Complète OK	Ouverture de la note de calcul pour l'assemblage sélectionné.
Fermer l'éditeur avec la note de calcul	



	N°	TYPE	Barres	Noeud	Ratio
1	2	ENC	1	1	0.786542
2	1	POT	2,13	3	0.045034

10.5.9. Composition de l'impression

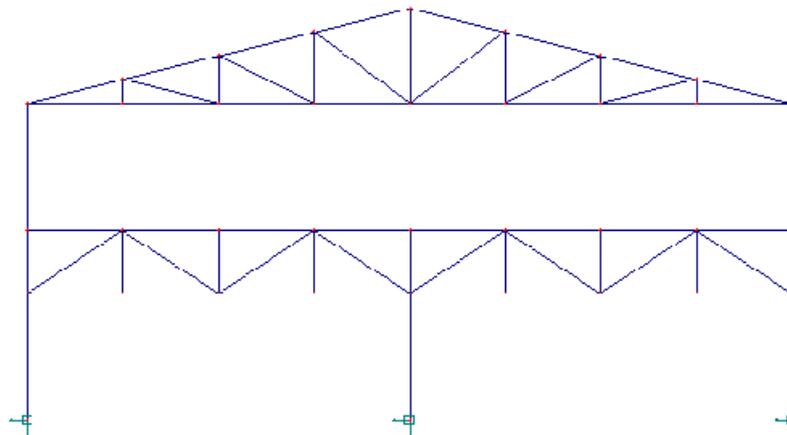
ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION/ DEMARRAGE	Sélection du bureau du logiciel <i>Robot Millennium</i> .
<i>Fichier/Composer impression</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Composition de l'impression – assistant</i> dans laquelle vous pouvez définir la forme de l'impression pour la structure étudiée.
ClicBG sur l'onglet <i>Edition simplifiée</i>	Passage à l'onglet <i>Edition simplifiée</i> .
Décocher les cases : <i>Métré</i> et <i>Combinaisons</i>	Les informations sur le métré et sur les combinaisons ne seront pas présentées sur les impressions.

<p>Dans les listes disponibles, sélectionner les informations suivantes :</p> <p>Réactions – extrêmes globaux Déplacements – enveloppe Efforts – valeurs Contraintes – enveloppe</p>	<p>Sélection des informations à présenter pour les résultats des calculs de la structure.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Enregistrer modèle</p>	<p>Un clic sur ce bouton entraîne le passage à l'onglet <i>Modèles</i> de la boîte de dialogue Composition de l'impression - assistant et transfère vers le panneau gauche les éléments sélectionnés de l'édition simplifiée.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Nouveau dans l'onglet <i>Modèles</i></p>	<p>Définition d'un nouveau modèle utilisateur.</p>
<p>Dans le panneau gauche, une nouvelle ligne apparaît, dans cette ligne vous devez saisir le nom du nouveau modèle, par exemple <i>Mon modèle</i> et cliquer sur le bouton ENTREE</p>	<p>Enregistrement du modèle utilisateur.</p>
<p>ClicBG sur l'onglet <i>Standard</i></p>	<p>Passage à l'onglet <i>Standard</i></p>
<p>Mettre en surbrillance les options dans le panneau gauche : <i>Dimensionnement des familles des barres acier</i></p>	<p>Sélection des éléments pour la composition de l'impression</p>
<p>ClicBG sur le bouton Ajouter</p>	<p>Transfert de l'option sélectionnée vers le panneau droit</p>
<p>ClicBG sur le bouton Aperçu avant impression</p>	<p>Affichage de l'aperçu de l'impression définie pour la structure étudiée</p>
<p>Fermer</p>	<p>Fermeture de la fenêtre de l'aperçu avant impression</p>
<p>Fermer</p>	<p>Fermeture de la boîte de dialogue Composition de l'impression - assistant</p>

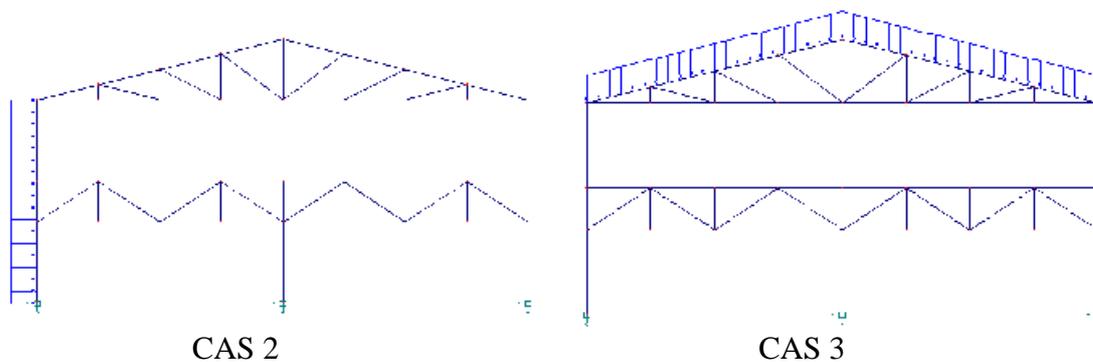
10.6. Exemple de définition des charges roulantes pour une structure plane (portique 2D)

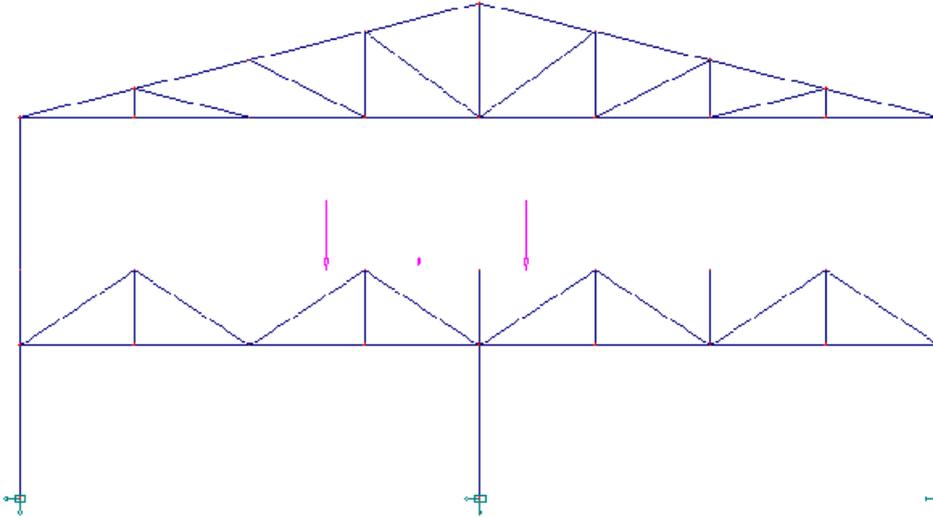
Cet exemple présente la définition, analyse et dimensionnement d'un portique plan simple représenté sur la figure ci-dessous, pour la structure en question un cas de charge roulante a été défini.

Unités de données : (m) et (kN).



La structure sera chargée par trois cas de charges à savoir poids propre et deux cas de charge (neige et vent) représentés sur les figures ci-dessous), de plus un cas de charge roulante sera appliqué.





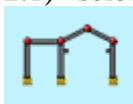
CAS DE CHARGE ROULANTE

Dans la description de la définition de la structure les conventions suivantes seront observées :

- une icône quelconque signifie un clic sur cette icône effectué avec le bouton gauche de la souris,
- { x } signifie la sélection (saisie) de l'option « x » dans la boîte de dialogue ,
- ClicBG et ClicBD - ces abréviations sont utilisées respectivement pour le clic sur le bouton gauche et sur le bouton droit de la souris.

Afin de commencer la définition de la structure, lancez le système **Robot Millennium** (cliquez sur l'icône correspondant ou sélectionnez la commande dans le menu affiché dans la barre des tâches).

Dans la fenêtre de l'assistant affichée par **Robot Millennium** (elle est décrite dans le chapitre 2.1) sélectionnez l'avant-dernier icône au premier rang (**Etude d'un portique plan**)

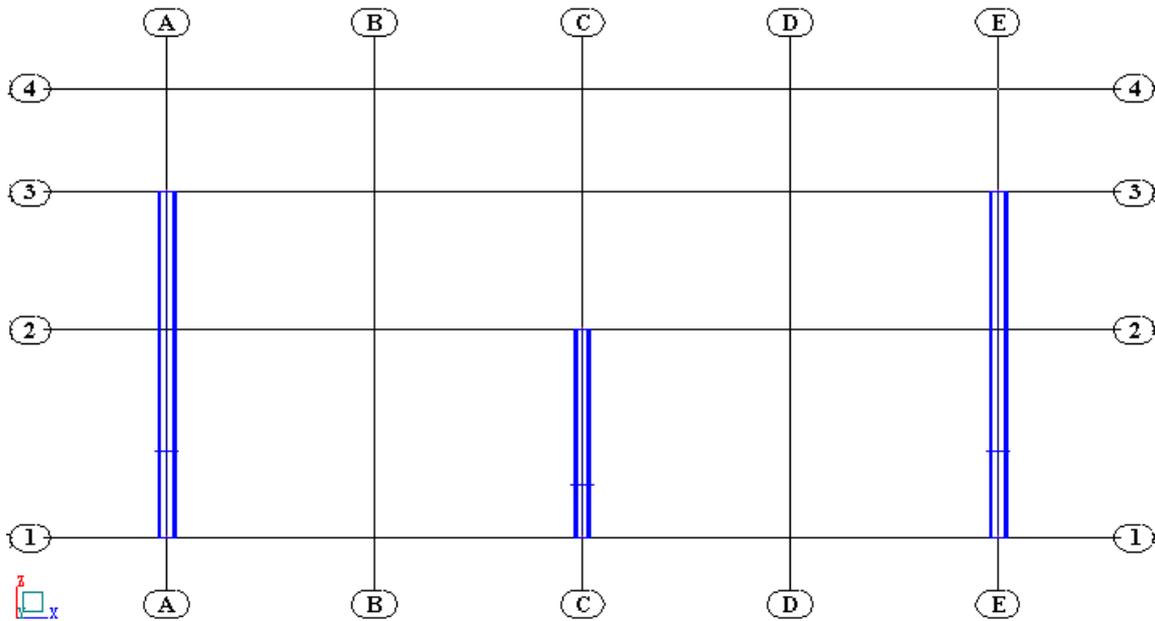


10.6.1. Définition du modèle de la structure

ACTION EFFECTUEE	<u>DESCRIPTION</u>
	Début de la définition des lignes de construction. Le logiciel affiche la boîte de dialogue <i>Lignes de construction</i> .
Dans l'onglet X : <i>Position</i> : {0} <i>Répéter</i> : {4} <i>Espacement</i> : {3} <i>Libellé</i> : A, B, C ...	Définition des paramètres des lignes de construction verticales.
ClicBG sur le bouton Insérer	Les lignes verticales ont été définies, elles sont affichées dans le champ <i>Jeu de lignes créées</i> .
ClicBG w l'onglet Z	Début de la définition des paramètres des lignes de construction horizontales.
Dans l'onglet Z : Saisissez les coordonnées suivantes pour les positions des lignes successives : {0}, Insérer {3}, Insérer {5}, Insérer {6.5}, Insérer <i>Libellé</i> : 1, 2, 3 ...	Définition des paramètres des lignes de construction horizontales.
ClicBG sur les boutons : Appliquer, Fermer	Création des lignes de construction définies et fermeture de la boîte de dialogue <i>Lignes de construction</i> .

Définition des barres de la structure

	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Profilés</i> .
	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Nouvelle section</i> .
Sélection de la famille des profilés en I (cliquez sur l'icône), Dans le champ <i>Section</i> , sélectionnez les profilés : HEA 200, HEA 260 et IPE200 Ajouter, Fermer	Définition d'une nouvelle section et fermeture de la boîte de dialogue <i>Nouvelle section</i> .
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Profilés</i> .
	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Barres</i> .
ClicBG sur le champ TYPE DE BARRE et sélection du type : <i>Poteau</i> ClicBG sur le champ SECTION et sélection du type <i>HEA 260</i>	Sélection des caractéristiques de la barre.
ClicBG sur le champ <i>Origine</i> (la couleur du fond du champ change en vert)	Début de la définition des barres dans la structure (poteaux de la structure).
Poteau 1 entre les points A1-A3 à coordonnées : (0 ;0) (0 ;5) Poteau 2 entre les points E1-E3 à coordonnées : (12 ;0) (12 ;5) Poteau 3 entre les points C1-C2 à coordonnées : (6 ;0) (6 ;3)	Définition des poteaux de la structure. La structure définie jusqu'à ce moment est représentée sur la figure ci-dessous.
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Barres</i>

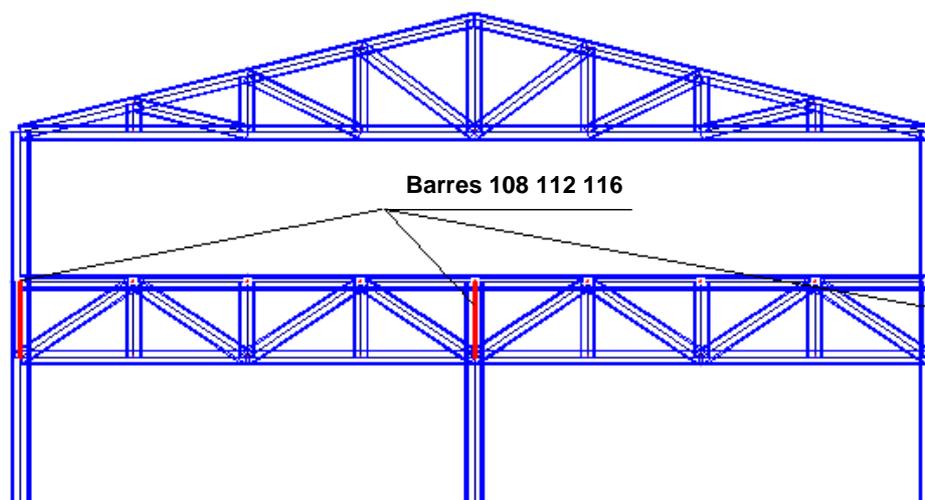


Définition des structures types (couverture et poutre de chemin de roulement)

	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Structures types</i> et début de définition de la structure type (couverture).
ClicBG (2 fois) sur l'icône  (1 ^{ère} icône du dernier rang)	Sélection du treillis triangulaire de type 1. Le logiciel affiche la boîte de dialogue <i>Insertion d'une structure</i> , dans laquelle vous pouvez définir les paramètres du treillis.
Dans l'onglet <i>Dimensions</i> ClicBG sur le champ <i>Longueur L</i> {12}	Définition de la longueur du treillis (vous pouvez également la définir en mode graphique dans le champ graphique).
ClicBG sur le champ <i>Hauteur H</i> {1.5}	Définition de la hauteur du treillis (vous pouvez également la définir en mode graphique dans le champ graphique).
ClicBG sur le champ <i>Nombre de panneaux</i> {8}	Définition du nombre de panneaux (divisions) du treillis.
ClicBG w l'onglet <i>Insérer</i>	

<p>ClicBG sur le champ <i>Point d'insertion</i> sélectionnez le point A3 à coordonnées (0,0,5)</p>	<p>Définition du nœud initial du treillis.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Appliquer, OK</p>	<p>Création du treillis défini dans un emplacement approprié dans la structure et fermeture de la boîte de dialogue <i>Insertion d'une structure</i>.</p>
	<p>Réouverture de la boîte de dialogue <i>Structures types</i> et début de définition de la structure type (poutre de chemin de roulement).</p>
<p>ClicBG (2 fois) sur l'icône</p> 	<p>Sélection du treillis rectangulaire de type 3. Le logiciel affiche la boîte de dialogue <i>Insertion d'une structure</i>, dans laquelle vous pouvez définir les paramètres du treillis.</p>
<p>Dans l'onglet <i>Dimensions</i> ClicBG sur le champ <i>Longueur L</i> {12}</p>	<p>Définition de la longueur du treillis (vous pouvez également la définir en mode graphique dans le champ graphique).</p>
<p>ClicBG sur le champ <i>Hauteur H</i> {1.0}</p>	<p>Définition de la hauteur du treillis (vous pouvez également la définir en mode graphique dans le champ graphique).</p>
<p>ClicBG sur le champ <i>Nombre de panneaux</i> {8}</p>	<p>Définition du nombre de panneaux (divisions) du treillis.</p>
<p>ClicBG w l'onglet <i>Insérer</i></p>	
<p>ClicBG sur le champ <i>Point d'insertion</i> sélectionnez le point à coordonnées (0,0,2)</p>	<p>Définition du nœud initial du treillis.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Appliquer, OK</p>	<p>Création du treillis défini dans un emplacement approprié dans la structure et fermeture de la boîte de dialogue <i>Insertion d'une structure</i>.</p>
	<p>Ouverture de la boîte de dialogue <i>Profils</i>.</p>

ClicBG sur le champ <i>Lignes/barres</i> , sélection par fenêtre de toutes les barres de deux treillis	Sélection des barres des treillis.
ClicBG w profil IPE 200	Sélection du profilé à affecter aux barres sélectionnées.
ClicBG sur le bouton Appliquer	Affectation du profilé IPE 200 à toutes les barres du treillis.
ClicBG sur le champ <i>Lignes/barres</i> , sélection de la membrure supérieure du treillis de chemin de roulement	Sélection des barres (barre n° 8).
ClicBG w profil HEA 200	Sélection du profilé à affecter aux barres sélectionnées.
ClicBG sur le bouton Appliquer, Fermer	Affectation du profilé HEA 200 aux barres du treillis et fermeture de la boîte de dialogue Profilés .
Sélection des montants aux extrémités du treillis de chemin du roulement et du montant central (conf. Le dessin) – les barres sont mises en surbrillance (barres 108, 112 et 116)	
Appuyer sur la touche Suppr du clavier	Suppression des barres sélectionnées.



10.6.2. Définition des appuis

	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Appuis</i> .
ClicBG sur le champ <i>Sélection actuelle</i> (l'option <i>Point / nœud</i> est active)	Sélection des nœuds de la structure dans lesquels les appuis de la structure seront définis.
Passez vers le champ graphique ; maintenez le bouton gauche de la souris enfoncé et sélectionnez par fenêtre tous les nœuds inférieurs des poteaux (points situés au niveau de la ligne de construction 1)	Dans le champ <i>Sélection actuelle</i> , les nœuds sélectionnés seront saisis : 1 3 5.
Dans la boîte de dialogue <i>Appuis</i> sélectionnez l'icône symbolisant l'appui encastré (elle sera alors mise en surbrillance)	Sélection du type d'appui.
ClicBG sur le bouton Appliquer	Le type d'appui sélectionné sera affecté aux nœuds sélectionnés.
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Appuis</i> .

10.6.3. Définition des charges sur la structure

ClicBG sur le champ de sélection du bureau du système Robot Millennium MODELISATION/ CHARGEMENTS	Sélection du bureau système Robot Millennium permettant la définition des charges sur la structure.
ClicBG sur le bouton Nouveau disponible dans la boîte de dialogue <i>Cas de charge</i>	Définition du cas de charge à nature permanente et à nom standard PERM1.
ClicBG sur le champ <i>Nature Vent</i>	Sélection de la nature pour le cas de charge : vent

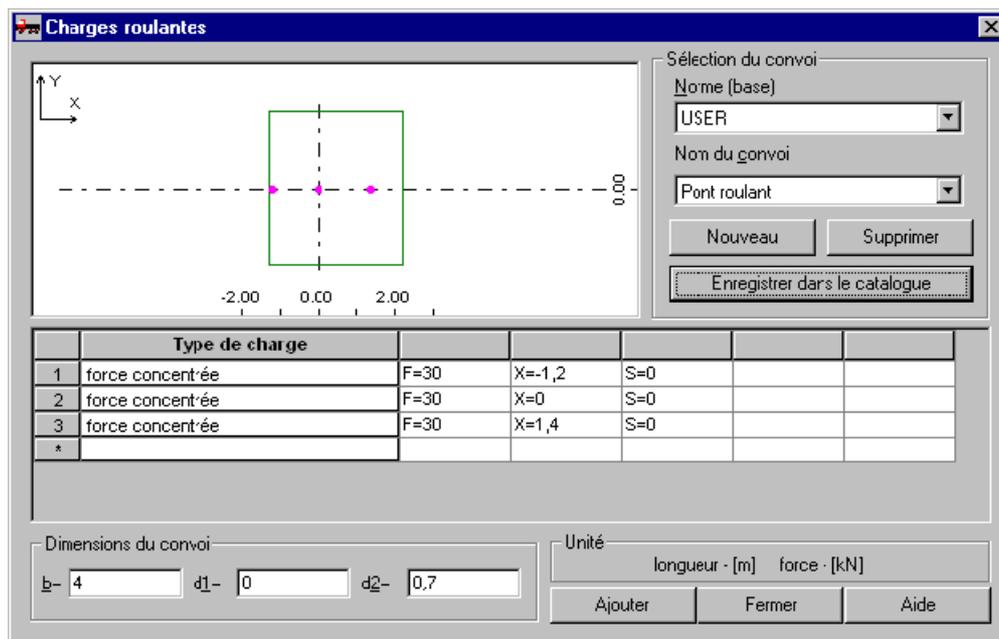
ClicBG sur le bouton Nouveau	Définition du cas de charge à nature : vent et à nom standard VENT1.
ClicBG sur le champ <i>Nature Neige</i>	Sélection de la nature pour le cas de charge : neige
ClicBG sur le bouton Nouveau	Définition du cas de charge à nature : neige et à nom standard NEI1.
	Dans la première ligne, le poids propre a été affecté automatiquement à toutes les barres de la structure (direction -Z).
ClicBG dans le deuxième champ dans la colonne CAS, sélection du 2 ^{ème} cas de charge VENT1	Définition des charges agissant pour le deuxième cas de charge.
ClicBG sur le champ dans la colonne TYPE DE CHARGE, sélection de la charge uniforme	Sélection du type de charge.
ClicBG sur le champ dans la colonne LISTE, sélection graphique du poteau gauche de la structure (sélection effectuée dans le champ graphique)	Sélection de la barre à laquelle la charge uniforme sera appliquée (barre n° 1).
ClicBG sur le champ dans la colonne "px=" et saisie de la valeur 5.0	sélection de la direction et de la valeur de la charge uniforme.
ClicBG dans le troisième champ dans la colonne CAS, sélection du 3 ^{ème} cas de charge NEI1	Définition des charges agissant pour le troisième cas de charge.
ClicBG sur le champ dans la colonne TYPE DE CHARGE, sélection de la charge uniforme	Sélection du type de charge.

ClicBG sur le champ dans la colonne LISTE, sélection graphique des membrures supérieures du treillis de la couverture (sélection effectuée dans le champ graphique)	Sélection des barres auxquelles la charge uniforme sera appliquée (barres 5 et 6).
ClicBG sur le champ dans la colonne "pz=" saisie de la valeur -3.0	sélection de la direction et de la valeur de la charge uniforme.
ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION/ DEMARRAGE	Sélection du bureau initial du système Robot Millennium .

10.6.4. Définition de la charge roulante sollicitant la structure

<i>Outils / Préférences de l'affaire</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Préférences de l'affaire .
ClicBG dans l'option <i>Catalogue / Catalogue de convois</i>	Sélection de l'option dans l'arborescence située dans la partie gauche de la boîte de dialogue.
	Un clic sur l'icône <i>Créer une nouvelle base utilisateur</i> ouvre la boîte de dialogue Nouvelle charge roulante .
Saisissez : dans le champ <i>Catalogue - USER</i> dans le champ <i>Nom du catalogue</i> – Catalogue utilisateur <i>Unité de longueur - (m)</i> <i>force - (kN)</i>	Définition de la base utilisateur.
Créer	Fermeture de la boîte de dialogue Nouvelle charge roulante .
OK	Fermeture de la boîte de dialogue Préférences de l'affaire .
<i>Chargements / Autres charges / Roulantes</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Charges roulantes .
	Ouverture de la boîte de dialogue Charges roulantes et début de la définition d'un nouveau convoi.

ClicBG sur le bouton Nouveau	Définition d'un nouveau convoi.
Saisissez le nom du convoi : <i>Pont roulant</i> <i>OK</i>	Affectation du nom au nouveau convoi et fermeture de la boîte de dialogue.
ClicBG sur la première ligne dans le tableau dans la partie inférieure de la boîte de dialogue	Définition des forces agissantes.
Sélection du type de charge : force concentrée	Sélection du type de charge.
F = 30, X = -1.2, S = 0	Définition de la valeur et de la position de la force concentrée.
ClicBG sur la ligne suivante dans le tableau dans la partie inférieure de la boîte de dialogue	Définition des forces agissantes.
Sélection du type de charge : force concentrée	Sélection du type de charge.
F = 30, X = 0.0, S = 0	Définition de la valeur et de la position de la force concentrée.
ClicBG dans la ligne suivante dans le tableau dans la partie inférieure de la boîte de dialogue	Définition des forces agissantes.
Sélection du type de charge : force concentrée	Sélection du type de charge.
F = 30, X = 1.4, S = 0	Définition de la valeur et de la position de la force concentrée. La boîte de dialogue Charges roulantes est représentée sur la figure ci-dessous.

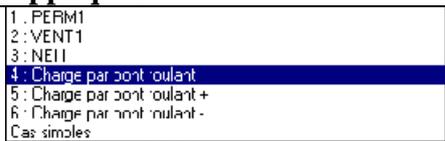


ClicBG sur le bouton Enregistrer dans le catalogue	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Catalogues de charges roulantes</i> .
OK dans la boîte de dialogue <i>Catalogues de charges roulantes</i>	Enregistrement du convoi défini dans le catalogue utilisateur.
Ajouter, Fermer	Ajout du convoi défini à la liste de convois actifs et fermeture de la boîte de dialogue <i>Charges roulantes</i> .
Dans le champ nom, saisissez le nom de la charge roulante (cas 4) : <i>charge par pont roulant</i>	Définition du nom de la charge roulante.
ClicBG sur le bouton Définir	Début de la définition de la route du convoi Pont roulant ; le logiciel ouvre la boîte de dialogue <i>Polyligne – contour</i> avec l'option <i>Polyligne</i> activée.
A l'écran graphique, définissez deux points déterminant la route du convoi : Début (0,3) / Fin (12,3)	Définition de la route du convoi.
Appliquer, Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Polyligne – contour</i> .
ClicBG sur le champ <i>Pas {1}</i> Conservez la valeur par défaut pour la direction (0,0,-1) c'est-à-dire que la charge agira dans la direction de l'axe Z, son sens sera inverse à celui de l'axe Z	Définition du pas du changement de la position de la charge roulante et de la direction de l'action de la charge.
Activation de l'option : <i>Limitation de la position du convoi – début</i> <i>Limitation de la position du convoi – fin</i>	Après l'activation de ces options, les charges définissant la charge par pont roulant ne seront pas appliquées en dehors du modèle de structure défini.
ClicBG dans l'option <i>Sélectionner</i> dans le champ <i>Sélection du plan</i>	Sélection du plan de l'application de la charge.
{8}	Sélection de la membrure supérieure du treillis de chemin du pont roulant (barre n° 8).
ClicBG sur le bouton Coefficients	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Paramètres de la route</i> .
ClicBG sur le champ pour les coefficients LD et LG Saisissez la valeur 0.1	Définition des coefficients pour les forces agissant le long de la route du convoi. Les forces dues au freinage du convoi seront générées, leur valeur sera égale à 0.1*F.
OK	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Paramètres de la route</i> .
Appliquer, Fermer	Génération du cas de charge roulante conformément aux paramètres adoptés et fermeture de la boîte de dialogue <i>Charges roulantes</i> .

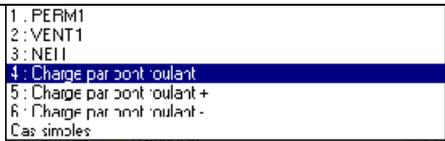
10.6.5. Analyse de la structure

<i>Outils / Préférences de l'affaire</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Préférences de l'affaire</i>
<i>Analyse de la structure</i>	Sélection de l'option <i>Analyse de la structure</i> à partir de la boîte de dialogue.
<i>Méthode de résolution : itérative</i>	Sélection de la méthode résolution pour la structure étudiée.
OK	Validation des paramètres définis et fermeture de la boîte de dialogue <i>Préférences de l'affaire</i>
	Début des calculs de la structure définie. Après la fin des calculs, la barre de titre de Robot affichera l'information suivante : <i>Résultats MEF - actuels</i> .

10.6.6. Présentation du convoi et du cas de charge roulante

<i>Affichage/Attributs</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Affichage des attributs</i> .
Onglet <i>Charges</i> activez l'option <i>Charges roulantes – convoi</i> Appliquer	Présentation du convoi défini sur la structure.
 Sélectionnez : 4 : charge par pont roulant	Sélection du 4 ^{ème} cas de charge (charge par pont roulant).
<i>Charges/Sélectionnez composante du cas</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Composante du cas</i> .
Sélection : <i>Composante actuelle</i> : 4	Sélectionnez la 4 ^{ème} composante du cas de charge roulante.
ClicBG sur le bouton Animation	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Animation</i> .
ClicBG sur le bouton Démarrer	Début de l'animation de la charge roulante sur la structure ; le convoi sera déplacé sur la route définie.
Stop (ClicBG sur le bouton ) et fermeture de la barre d'outils <i>Animation</i>	Arrêt de l'animation du convoi.
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Composante du cas</i> .

10.6.7. Analyse des résultats

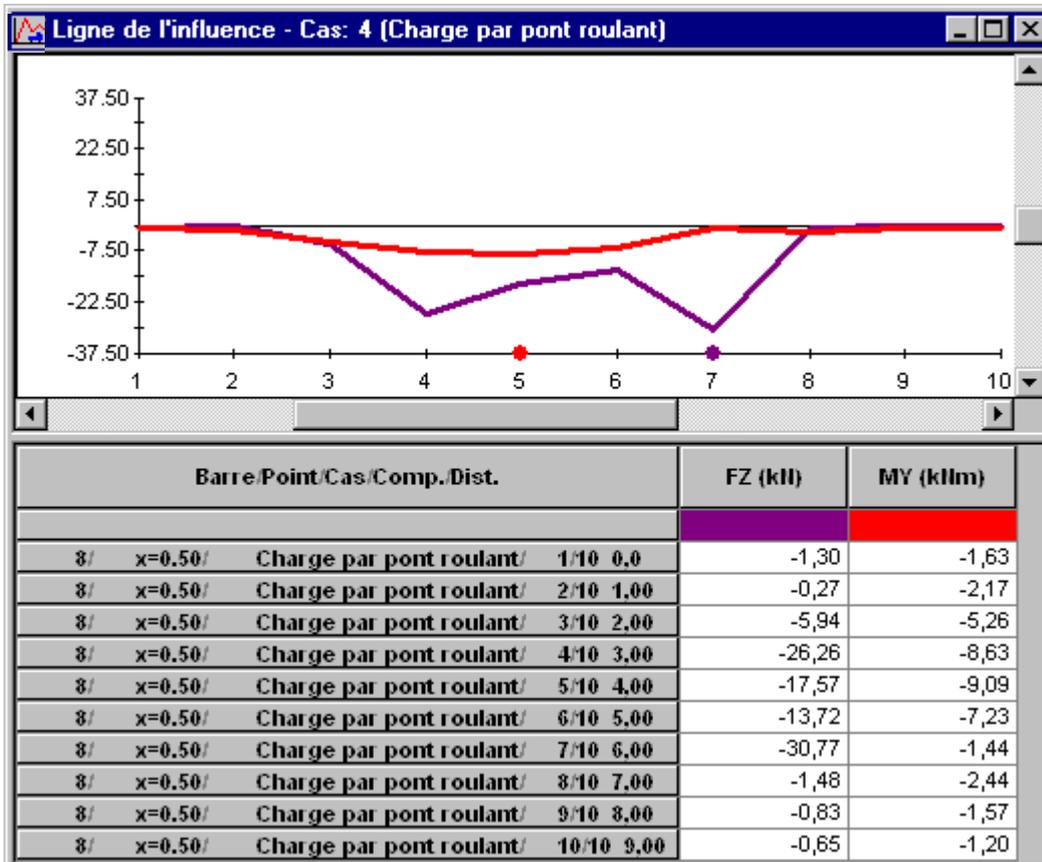
ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système <i>Robot Millennium</i> RESULTATS / RESULTATS	Passez au bureau RESULTATS du système <i>Robot Millennium</i> . L'écran du moniteur sera divisé en trois parties : zone graphique contenant le modèle de la structure, la boîte de dialogue <i>Diagrammes</i> et le tableau présentant les valeurs des réactions. ATTENTION : le tableau affiche les cas de charge roulante supplémentaires (désigné par les symboles "+" et "-") définissant les valeurs pour, respectivement, l'enveloppe supérieure et inférieure.
 Sélection : 4 charge roulante	Sélection du 4 ^{ème} cas de charge (charge par pont roulant).
activation de l'option <i>Moment My</i> dans la boîte de dialogue <i>Diagrammes</i>	Sélection de la présentation du moment fléchissant dans la structure pour le cas de charge roulante sélectionné.

l'onglet <i>Déformée</i> dans la fenêtre Diagrammes activation de l'option <i>Déformée</i>	Sélection de la présentation de la déformation de la structure pour le cas de charge roulante sélectionné.
ClicBG sur le bouton Appliquer	Présentation du diagramme de moment fléchissant et de la déformée de la structure. Les diagrammes des autres grandeurs disponibles dans la boîte de dialogue Diagrammes peuvent être présentés d'une manière semblable.
<i>Chargements/Sélectionnez composante du cas</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Composante du cas .
ClicBG sur le bouton Animation	Ouverture de la boîte de dialogue Composante du cas .
ClicBG sur le bouton Démarrage	Début de l'animation du moment fléchissant et de la déformée de la structure.
Stop (ClicBG sur le bouton ) et fermeture de la barre d'outils prévue pour l'animation	Arrêt de l'animation.
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue Composante du cas .
désactivation de l'option <i>Moment My</i> dans la boîte de dialogue Diagrammes	
de l'onglet <i>Déformée</i> dans la fenêtre Diagrammes désactivation de l'option <i>Déformée</i> Appliquer	

10.6.8. Lignes de l'influence

ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION/ DEMARRAGE	Passez au bureau Démarrage du système Robot Millennium .
<i>Résultats / Avancé / Lignes de l'influence</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Lignes de l'influence .
Dans l'onglet <i>NTM</i> de la boîte de dialogue Lignes de l'influence activez deux options : My et Fz	Sélection de la présentation du moment fléchissant et de l'effort tranchant pour le cas de charge roulante.

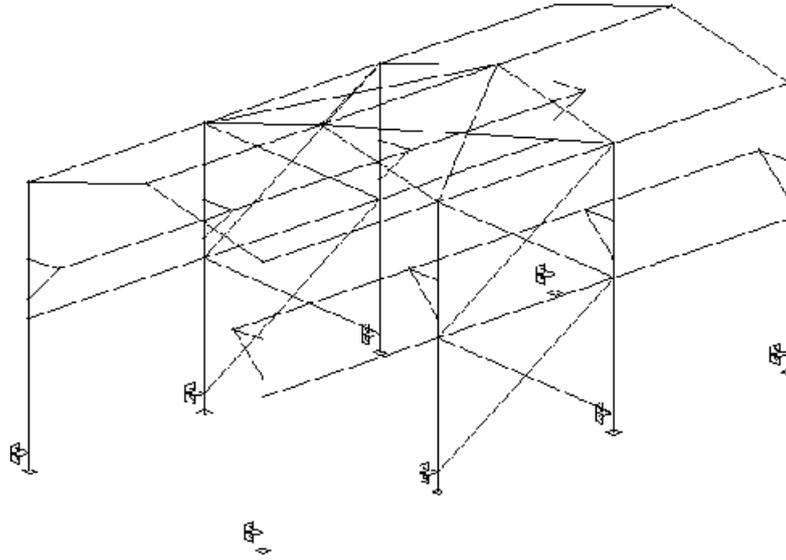
ClicBG dans la champ <i>Elément</i> Saisissez {8}	Sélection de la barre pour laquelle les lignes de l'influence seront présentées. La position du point (égale à 0.5) signifie que la ligne de l'influence sera créée pour le point situé dans le moitié de la longueur de la barres.
Appliquer	Le logiciel ouvre une nouvelle fenêtre dans laquelle les lignes de l'influence pour les grandeurs sélectionnées sont présentées (conf. la figure ci-dessous).
Dans l'onglet <i>Nœuds</i> de la boîte de dialogue <i>Lignes de l'influence</i> activez deux options : Ux et Uz	Sélection de la présentation des déplacements des nœuds pour le cas de charge roulante.
ClicBG sur le champ <i>Nœud</i> Saisissez {2}	Sélection du nœud pour lequel les lignes de l'influence seront présentées.
Activation de l'option <i>Ouvrir nouvelle fenêtre</i>	Les diagrammes de la ligne de l'influence pour le nœud n° 2 seront affichés dans une nouvelle fenêtre.
Appliquer	Le logiciel ouvre une nouvelle fenêtre dans laquelle les lignes de l'influence pour les grandeurs sélectionnées sont présentées.
ClicBD sur la fenêtre <i>Lignes de l'influence</i> dans laquelle les lignes de l'influence pour le nœud 2 sont présentées	Ouverture du menu contextuel.
<i>Ajouter coordonnées</i>	Si vous sélectionnez cette option, dans le tableau situé au-dessous des diagrammes des lignes de l'influence, le logiciel affichera les colonnes supplémentaires contenant les coordonnées des points successifs de la structure.



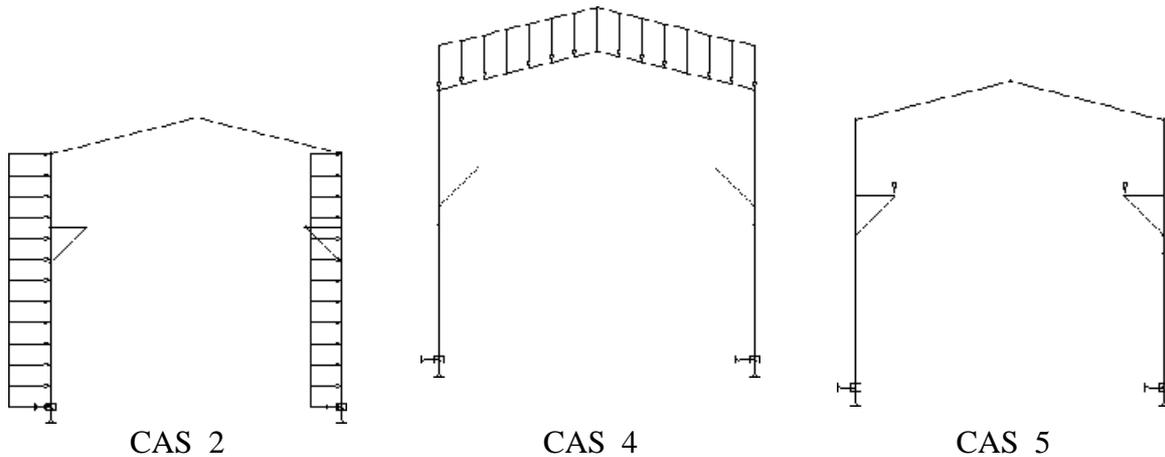
10.7.Halle industrielle (pont roulant – charge roulante)

L'exemple ci-dessous présente la définition, analyse et dimensionnement d'une halle 3D simple représentée sur la figure ci-dessous.

Unités utilisées dans l'affaire : (m) et (kN).



Le portique est sollicité par cinq cas de charge, trois d'entre eux sont représentés sur les figures ci-dessous.



Dans la description de la définition de la structure les conventions suivantes seront observées :

- une icône quelconque signifie un clic sur cette icône effectué avec le bouton gauche de la souris,
- { x } signifie la sélection (saisie) de l'option « x » dans la boîte de dialogue ,
- ClicBG et ClicBD - ces abréviations sont utilisées respectivement pour le clic sur le bouton gauche et sur le bouton droit de la souris.

Afin de commencer la définition de la structure, lancez le système **Robot Millennium** (cliquez sur l'icône correspondant ou sélectionnez la commande dans le menu affiché dans la barre des tâches).

Dans la fenêtre de l'assistant affichée par **Robot Millennium** (elle est décrite dans le chapitre 2.1) sélectionnez l'avant-dernier icône au premier rang (*Etude d'un portique spatial*).



10.7.1. Définition du modèle de la structure

Définition des barres de la structure

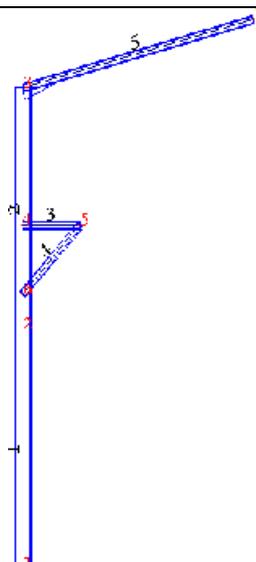
ACTION EFFECTUEE	DESCRIPTION
 MODELISATION / BARRES	Dans la liste de bureaux disponibles dans le système Robot Millennium , sélectionnez le bureau BARRES
ClicBG sur le champ <i>Type</i> et sélection du type de barre : <i>Poteau</i> ClicBG sur le champ <i>Section</i> , sélectionnez la section : IPE 600	Sélection des caractéristiques de la barre. Attention : si le profilé IPE 600 n'est pas disponible dans la liste, cliquez sur le bouton  affiché à côté du champ <i>Section</i> . Le logiciel affichera alors la boîte de dialogue Nouvelle section . Dans l'onglet <i>Standard</i> , dans la zone <i>Sélection de section</i> , sélectionnez les données suivantes : <i>Base de profilés – Catpro</i> <i>Famille – IPE</i> <i>Section – IPE 600</i> Cliquez sur le bouton Ajouter et, ensuite, Fermer . Ces actions entraîneront l'ajout de la section IPE 600 à la liste de sections disponibles et la fermeture de la boîte de dialogue Nouvelle section .

<p>ClicBG sur le champ <i>Origine</i> (la couleur du fond change en vert)</p>	<p>Début de la définition des barres de la structure (poteaux de la structure).</p>
<p>Dans les champs <i>Origine et Extrémité</i> saisissez les coordonnées de l'origine et de l'extrémité de la barre :</p> <p>(-8 ;0 ;0) (-8 ;0 ;7) (-8 ;0 ;7) (-8 ;0 ;14)</p>	<p>Définition des poteaux dans la structure.</p>
<p>ClicBG sur le champ <i>Type</i> dans la boîte de dialogue Barre, sélection du type de barre <i>Poutre</i> ClicBG sur le champ <i>Section</i>, sélectionnez la section IPE 240</p>	<p>Début de la définition de la poutre et sélection des caractéristiques de la poutre. Attention : si le profilé IPE 240 n'est pas affiché dans la liste de sections disponibles, cliquez sur le bouton  et, ensuite, effectuez les actions décrites à l'occasion du profilé IPE 600.</p>
<p>ClicBG sur le champ <i>Origine</i> (la couleur du fond change en vert)</p>	<p>Début de la définition des coordonnées des poutres de la structure.</p>
<p>Saisissez les coordonnées de la poutre dans les champs <i>Origine et Extrémité</i> :</p> <p>(-8 ;0 ;10) (-6 ;0 ;10)</p>	<p>Définition de la poutre formant le support du pont roulant.</p>
<p>ClicBG sur le champ <i>Type</i> dans la boîte de dialogue Barre, sélectionnez <i>Barre</i> ClicBG sur le champ <i>Section</i>, sélectionnez UPN 240</p>	<p>Début de la définition de la barre, affectation des caractéristiques de la barre. Attention : si le profilé UPN 240 n'est pas affiché dans la liste de sections disponibles, cliquez sur le bouton  et, ensuite, effectuez les actions décrites ci-dessus.</p>
<p>ClicBG sur le champ <i>Origine</i> (la couleur du fond change en vert)</p>	<p>Début de la définition des coordonnées de la barre dans la structure.</p>
<p>Saisissez les coordonnées de la barre dans les champs d'édition <i>Origine et Extrémité</i> :</p> <p>(-8 ;0 ;8) (-6 ;0 ;10)</p>	<p>Définition de la barre.</p>

<p>ClicBG sur le champ <i>Type</i> dans la boîte de dialogue Barre, sélection du type de barre <i>Barre</i> ClicBG sur le champ <i>Section</i>, sélectionnez la section HEA 240</p>	<p>Début de la définition de la barre, affectation des caractéristiques de la barre. Attention : si le profilé HEA 240 n'est pas affiché dans la liste de sections disponibles, cliquez sur le bouton  et, ensuite, effectuez les actions décrites ci-dessus..</p>
<p>ClicBG sur le champ <i>Origine</i> (la couleur du fond change en vert)</p>	<p>Début de la définition des coordonnées de la barre dans la structure.</p>
<p>Saisissez les coordonnées de la barre dans les champs d'édition <i>Origine et Extrémité</i> : (-8 ;0 ;14) (0 ;0 ;16)</p>	<p>Définition de la barre.</p>
<p></p>	<p>Rétablissement de la vue initiale de la structure.</p>

Définition des jarrets

ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium . MODELISATION / DEMARRAGE	Sélection du bureau initial du système Robot Millennium .
<i>Structure / Autres attributs / Jarrets</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Jarrets permettant la définition des jarrets pour les barres de la structure.
	Ouverture de la boîte de dialogue Nouveau jarret .
Dans le champ <i>Longueur (L)</i> , saisissez la valeur 0,15 ; les autres paramètres ne changent pas	Définition de la longueur du jarret.
Ajouter, Fermer	Définition d'un nouveau jarret, fermeture de la boîte de dialogue Nouveau jarret .
ClicBG dans le champ <i>Barres</i> , passez à l'écran graphique et sélectionnez la barre dernièrement définie (le champ <i>Barres</i> affiche la barre n° 5)	Sélection de la barre à laquelle le jarret sera affecté.
Ajouter, Fermer	Affectation du jarret à la barre sélectionnée ; fermeture de la boîte de dialogue Jarrets . La structure défini est affichée sur la figure ci-dessous.

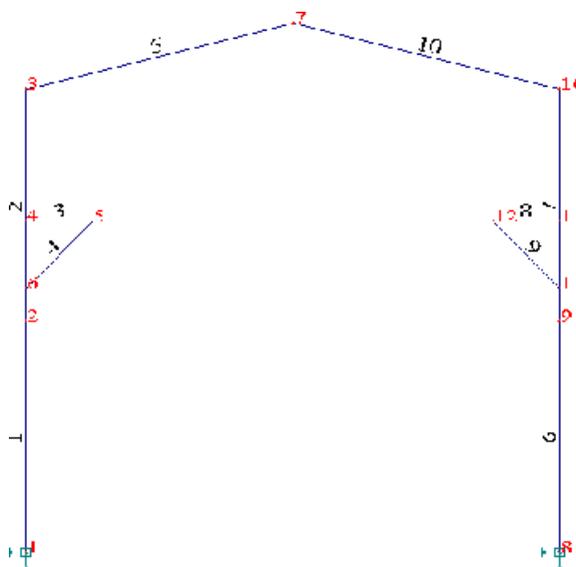


<i>Affichage / Attributs</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Affichage des attributs</i> .
Désactivez l'option <i>Croquis</i> sur l'onglet <i>Profilés</i> Appliquer, OK	Désactivation de la présentation des profilés des barres, fermeture de la boîte de dialogue <i>Affichage des attributs</i> .

Définition des appuis dans la structure

ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système <i>Robot Millennium</i> . MODELISATION / APPUIS	Sélection du bureau du système <i>Robot Millennium</i> prévu pour la définition des appuis.
Dans la boîte de dialogue <i>Appuis</i> , ClicBG sur le champ <i>Sélection actuelle</i>	Sélection des nœuds dans la structure dans lesquels les appuis seront définis.
Passez à l'écran graphique, maintenez enfoncé le bouton gauche de la souris et sélectionnez par fenêtre le nœud inférieur du poteau	Le nœud n° 1 sélectionné sera entré dans le champ <i>Sélection actuelle</i> .
Dans la boîte de dialogue <i>Appuis</i> , sélectionnez l'icône représentant l'appui encastré (il sera mis en surbrillance de même que sa description)	Sélection du type d'appui.
ClicBG sur le bouton Appliquer	Le type d'appui sélectionné sera affecté aux nœuds sélectionnés dans la structure.
ClicBG dans le champ de sélection de bureaux du système <i>Robot Millennium</i> MODELISATION / DEMARRAGE	Sélection d'un des bureaux du système <i>Robot Millennium</i> .
CTRL+A	Sélection de tous les nœuds et de toutes les barres de la structure.
<i>Edition / Transformer / Miroir vertical</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Miroir vertical</i> permettant d'effectuer la symétrie verticale des nœuds ou des éléments sélectionnés dans la structure étudiée.

Sélectionnez en mode graphique la position de l'axe de la symétrie verticale ($x = 0$), ClicBG sur le bouton Appliquer et puis, Fermer	Miroir vertical des barres et nœuds sélectionnés et fermeture de la boîte de dialogue Miroir vertical .
<i>Affichage / Attributs</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Affichage des attributs .
Dans l'onglet <i>Structure</i> cochez la case <i>Appuis - symboles</i> ClicBG sur le bouton OK	Après l'activation de cette option, le logiciel affichera les symboles des appuis définis dans la structure. Fermeture de la boîte de dialogue Affichage des attributs .
	Rétablissement de la vue initiale de sorte que la structure entière soit affichée à l'écran. La structure définie est représentée sur la figure ci-dessous.



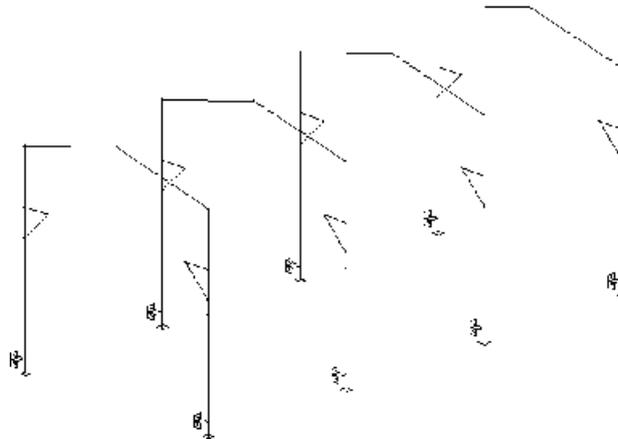
Définition des charges sollicitant la structure

ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION / CHARGEMENTS	Début de la définition de la charge sollicitant la structure. L'écran sera divisé en trois parties : écran graphique présentant le modèle de la structure, la boîte de dialogue Cas de charge et le tableau contenant la description des cas de charge.
---	--

ClicBG sur le bouton Nouveau dans la boîte de dialogue Cas de charge	Définition de la charge par <i>poids propre</i> et affectation du nom standard <i>PERM1</i> .
ClicBG sur le champ <i>Nature (Vent)</i>	Sélection du cas de charge : <i>vent</i> . ATTENTION : si le numéro de cas de charge ne change pas de façon automatique, il faut saisir manuellement (2)
ClicBG sur le bouton Nouveau	Création de deux cas de charge nature <i>vent</i> . Affectation des noms standard : <i>VENT1 et VENT2</i> .
ClicBG sur le champ <i>Nature (Neige)</i>	Sélection du cas de charge : <i>neige</i> .
ClicBG sur le bouton Nouveau	Définition du cas de charge nature <i>neige</i> . Affectation du nom standard : <i>NEII</i> .
	Dans la première ligne du tableau, le poids propre a été affecté automatiquement à toutes les barres de la structure (direction „-Z”).
ClicBG dans le deuxième champ de la colonne Cas dans le tableau <i>Chargements</i> , sélectionnez le deuxième cas de charge <i>VENT1</i> dans la liste de cas de charge disponibles	Définition de la nature de la charge pour le deuxième cas de charge.
ClicBG dans le deuxième champ de la colonne Type de charge , sélectionnez le type de charge (<i>charge uniforme</i>)	Sélection du type de charge.
ClicBG dans le deuxième champ de la colonne Liste , sélectionnez en mode graphique le poteau gauche	Sélection du poteau auquel la <i>charge uniforme</i> sera appliquée. Poteau en 2 parties, indiquer l'utilisation de la touche Ctrl
ClicBG sur le champ dans la colonne " PX= ", saisissez la valeur : (2.0)	Sélection de la direction et de la valeur de la charge uniforme.
ClicBG dans le troisième champ de la colonne Cas , sélectionnez le deuxième cas de charge <i>VENT1</i> dans la liste de cas de charge disponibles	Définition de la charge pour le troisième cas de charge.

ClicBG sur le champ dans la colonne Type de charge , sélectionnez le type de charge (<i>charge uniforme</i>)	Sélection du type de charge.
ClicBG sur le champ dans la colonne Liste , Sélectionnez en mode graphique le poteau droit de la structure	Sélection des barres auxquelles la charge uniforme sera appliquée. Poteau en 2 parties, indiquer l'utilisation de la touche Ctrl
ClicBG sur le champ dans la colonne " PX ", saisissez la valeur : (1.5)	Sélection de la direction et de la valeur de la charge uniforme.
ClicBG dans le quatrième champ dans la colonne Cas , sélectionnez le quatrième cas de charge NEII dans la liste de cas de charge disponibles	Définition de la charge pour le quatrième cas de charge.
ClicBG sur le champ dans la colonne Type de charge , sélectionnez le type de charge (<i>charge uniforme</i>)	Sélection du cas de charge.
ClicBG sur le champ dans la colonne Liste , sélectionnez en mode graphique la poutre portante	Sélection des barres auxquelles la charge uniforme sera appliquée.
ClicBG sur le champ dans la colonne " PZ ", saisissez la valeur de la charge : (-0,75)	Sélection de la direction et de la valeur de la force nodale.
ClicBG dans la fenêtre Vue	
CTRL + A	Sélection de tous les éléments de la structure.
Quand la fenêtre active est l'écran graphique présentant le modèle de la structure, sélectionnez l'option <i>Edition / Transformer / Translation</i> dans le menu principal	Ouverture de la boîte de dialogue Translation .

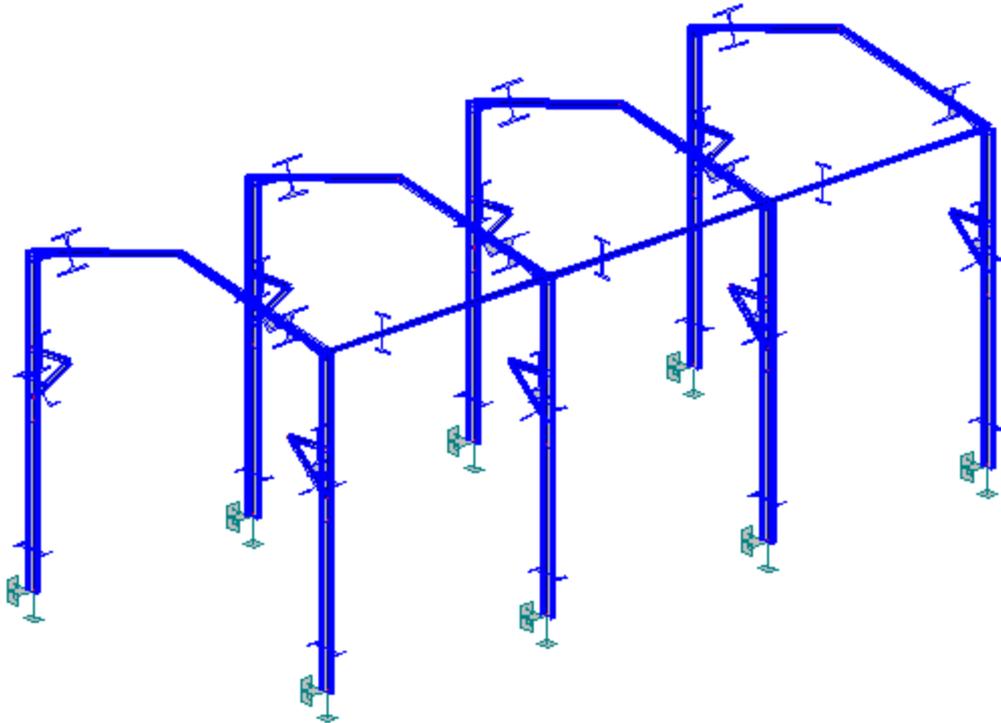
ClicBG sur le champ (dX, dY, dZ), saisissez les coordonnées de la translation : (0 ;12 ;0)	Définition du vecteur de translation.
ClicBG sur le champ <i>Nombre de répétitions</i> : (3)	Définition du nombre de répétitions de l'opération de translation effectuée.
Appliquer, Fermer	Translation de la structure et fermeture de la boîte de dialogue <i>Translation</i> .
ClicBG dans le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION / DEMARRAGE	Sélection du bureau initial du système Robot Millennium .
<i>Affichage / Projection / 3D xyz</i>	Sélection de la vue axonométrique de la structure.
	Rétablissement de la vue initiale de la structure.



10.7.2. Définition des éléments supplémentaires formant la structure (poutres longitudinales, contreventements, chemin de roulement)

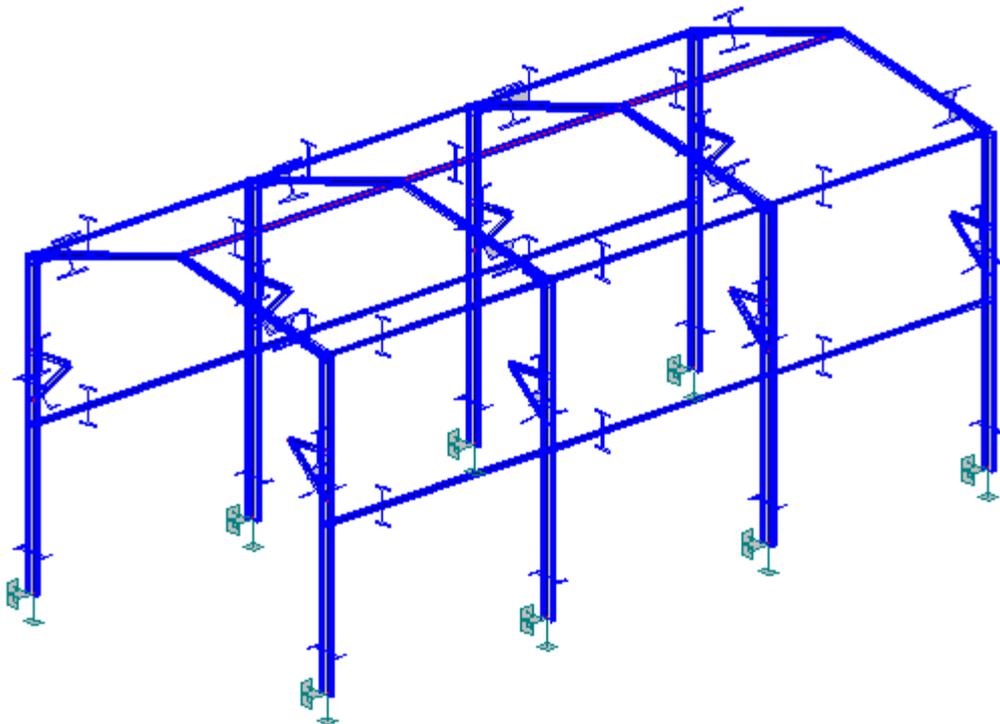
Poutres longitudinales - définition

ClicBG dans le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION / BARRES	Sélection du bureau du système Robot Millennium prévu pour la définition des barres.
<i>Affichage / Attributs</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Affichage des attributs .
Dans l'onglet <i>Structure</i> , désactivez les options : <i>Numéros de nœuds</i> et <i>Numéros de barres</i> Appliquer, OK	Désactivation de la présentation des numéros de nœuds et de barres ; fermeture de la boîte de dialogue Affichage des attributs .
Dans la boîte de dialogue Barre ClicBG sur le champ <i>Type de la barre</i> , sélectionnez : <i>Poutre</i> ClicBG dans le champ <i>Section</i> , sélectionnez : (IPE 200)	Sélection des caractéristiques de la barre. Attention : si le profilé IPE 200 n'est pas affiché dans la liste de sections disponibles, cliquez sur le bouton  et, ensuite, ajoutez-le à la liste.
ClicBG sur le champ <i>Origine</i> (la couleur du fond change en vert)	Début de la définition des barres de la structure.
Saisissez les coordonnées suivantes dans les champs <i>Origine</i> et <i>Extrémité</i> : (8 ;0 ;14) (8 ;12 ;14) (8 ;12 ;14) (8 ;24 ;14) (8 ;24 ;14) (8 ;36 ;14)	Définition de la poutre longitudinale (voir la figure ci-dessous).



<p>Passez à l'écran graphique présentant la vue sur la structure, cliquez du bouton droit de la souris, ce qui entraînera l'ouverture du menu contextuel. Sélectionnez la commande <i>Sélectionner</i> (le menu contextuel sera alors fermé) ; sélectionnez les dernières barres définies en maintenant enfoncée la touche CTRL cf 10.7.2.1)</p>	<p>Sélection des barres composant la poutre longitudinale que vous venez de définir.</p>
<p>Toujours dans l'éditeur graphique, sélectionnez dans le menu principal la commande : <i>Edition / Transformer / Translation</i></p>	<p>Ouverture de la boîte de dialogue <i>Translation</i>.</p>
<p>ClicBG sur le champ (dX, dY, dZ), (0 ;0 ;-7)</p>	<p>Définition du vecteur de translation.</p>
<p>Appliquer</p>	<p>Translation de la structure (les éléments de la structure qui ont été soumis à la translation seront mis en surbrillance).</p>

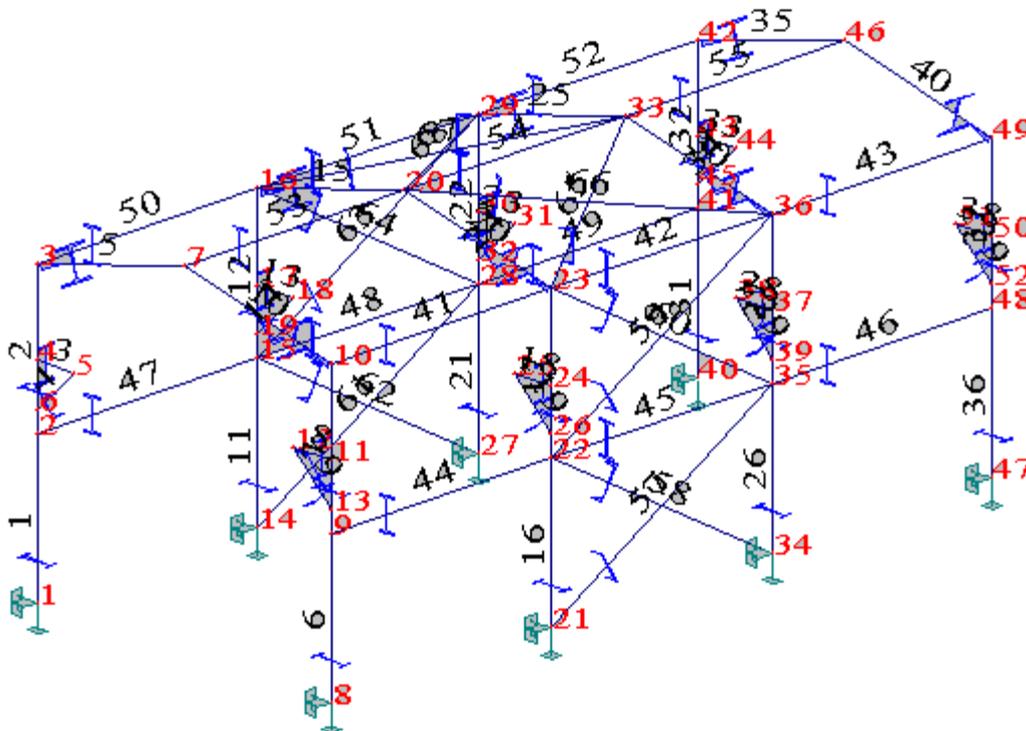
ClicBG sur le champ (dX, dY, dZ), (-16 ;0 ;0)	Définition du nouveau vecteur de translation.
Appliquer	Translation des éléments sélectionnés dans la structure.
ClicBG sur le champ (dX, dY, dZ), (0 ;0 ;7)	Définition du nouveau vecteur de translation.
Appliquer	Translation des éléments sélectionnés dans la structure.
ClicBG sur le champ (dX, dY, dZ), (8 ;0 ;2)	Définition du nouveau vecteur de translation.
Appliquer, Fermer	Translation de la structure et fermeture de la boîte de dialogue <i>Translation</i> . La structure définie est présentée sur la figure ci-dessous..



Contreventements – définition

ClicBG sur le champ <i>Type</i> , sélectionnez <i>Barre</i> ClicBG sur le champ <i>Section</i> et sélectionnez : UPN 240	Sélection des caractéristiques de la barre.
ClicBG sur le champ <i>Origine</i> (la couleur change en vert) (8 ;12 ;0) (8 ;24 ;7) (8 ;12 ;7) (8 ;24 ;0)	Définition des contreventements.
ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION / DEMARRAGE	Sélection du bureau initial du système Robot Millennium .
Sélectionnez les barres définies en tant que contreventements en maintenant enfoncé la touche CTRL	
<i>Edition / Transformer / Translation</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Translation .
ClicBG sur le champ (dX, dY, dZ), (0 ;0 ;7)	Définition du vecteur de translation.
Appliquer	Translation des barres sélectionnées.
Passez à la fenêtre graphique présentant la vue sur la structure. ClicBD pour ouvrir le menu contextuel. Sélectionnez la commande <i>Sélectionner</i> (le menu contextuel sera alors fermé) ; sélectionnez les dernières barres définies en maintenant enfoncé la touche CTRL.	Sélection des quatre barres que vous venez de définir.

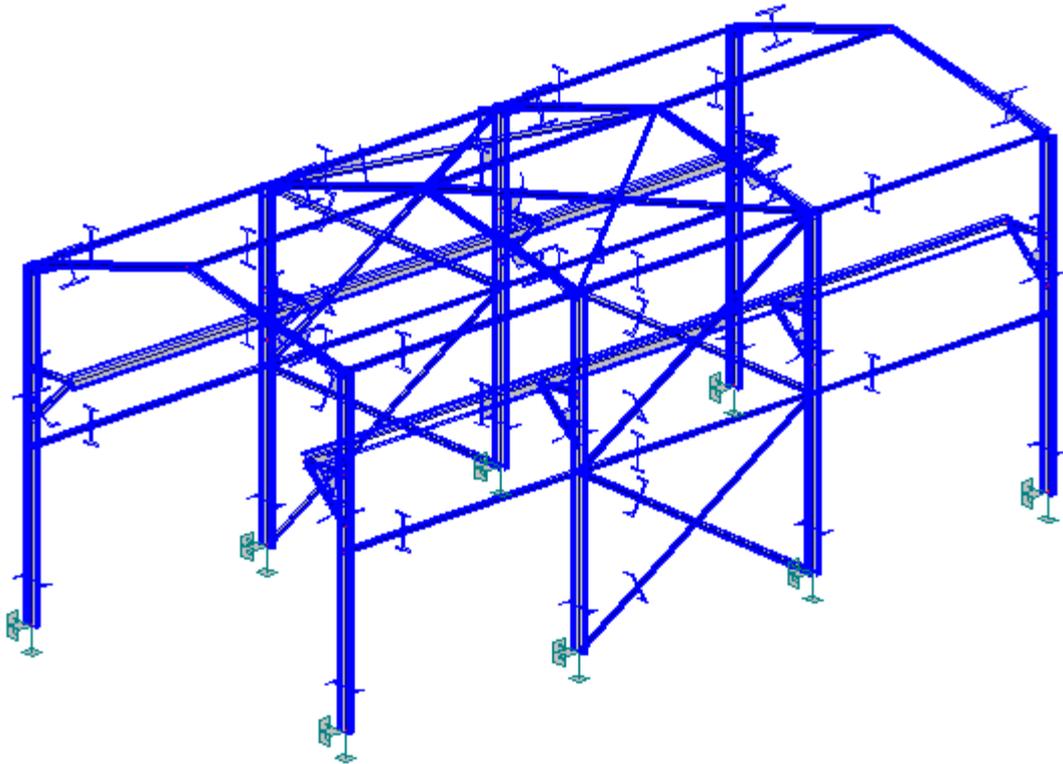
ClicBG sur le champ (dX, dY, dZ), (-16 ;0 ;0)	Définition du vecteur de translation.
Appliquer, Fermer	Translation des barres et fermeture de la boîte de dialogue <i>Translation</i> .
ClicBG dans le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION / BARRES	Sélection du bureau du système Robot Millennium prévu pour la définition des barres.
Dans la boîte de dialogue Barre ClicBG sur le champ <i>Type de la barre</i> , sélectionnez <i>Barre</i> ClicBG sur le champ <i>Section</i> et sélectionnez : UPN 240	Sélection des caractéristiques de la barre.
ClicBG sur le champ <i>Origine</i> (la couleur du fond change en vert) (8 ;12 ;14) (0 ;24 ;16) (0 ;12 ;16) (8 ;24 ;14) (-8 ;12 ;14) (0 ;24 ;16) (-8 ;24 ;14) (0 ;12 ;16)	Définition des contreventements sur les versants de la toiture.



Chemin de roulement – définition

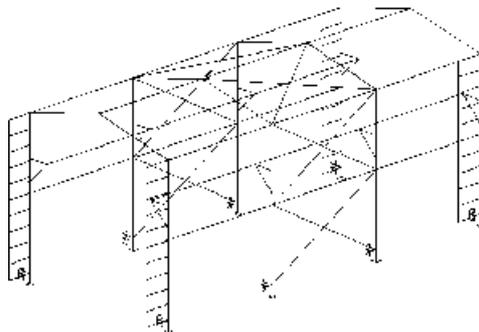
ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION / DEMARRAGE	Sélection du bureau initial du système Robot Millennium .
	Ouverture de la boîte de dialogue Profilés .
	Ouverture de la boîte de dialogue Nouvelle section .
Sélectionnez l'icône  affichée dans l'onglet Reconstitués	Définition de la section utilisateur portant le nom standard I-ASYM_1 .
Dans le champ Dimensions saisissez : b1 = 40, h = 55, b2 = 25, tw = 1.5, tf1 = 1.5, tf2 = 1.5 Ajouter, Fermer	Définition des dimensions de la section utilisateur. Fermeture de la boîte de dialogue Nouvelle section . La section utilisateur sera affichée dans la liste de profilés actifs disponible dans la boîte de dialogue Profilés .
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue Profilés .
	Ouverture de la boîte de dialogue Barre .
ClicBG sur le champ Type , sélectionnez : Poutre ClicBG sur le champ Section , sélectionnez : (IASYM_1)	Sélection des caractéristiques de la barre.
ClicBG sur le champ Origine (la couleur du fond change en vert) (6 ;0 ;10) (6 ;36 ;10)	Définition du chemin de roulement.
Ajouter, Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue Barre .
Sélectionnez la dernière barre définie (chemin de roulement)	
Edition / Transformer / Translation	Ouverture de la boîte de dialogue Translation .

ClicBG sur le champ (dX, dY, dZ), (-12 ;0 ;0)	Définition du vecteur de translation.
Appliquer, Fermer	Translation de la barre, fermeture de la boîte de dialogue <i>Translation</i> .



Définition des charges supplémentaires

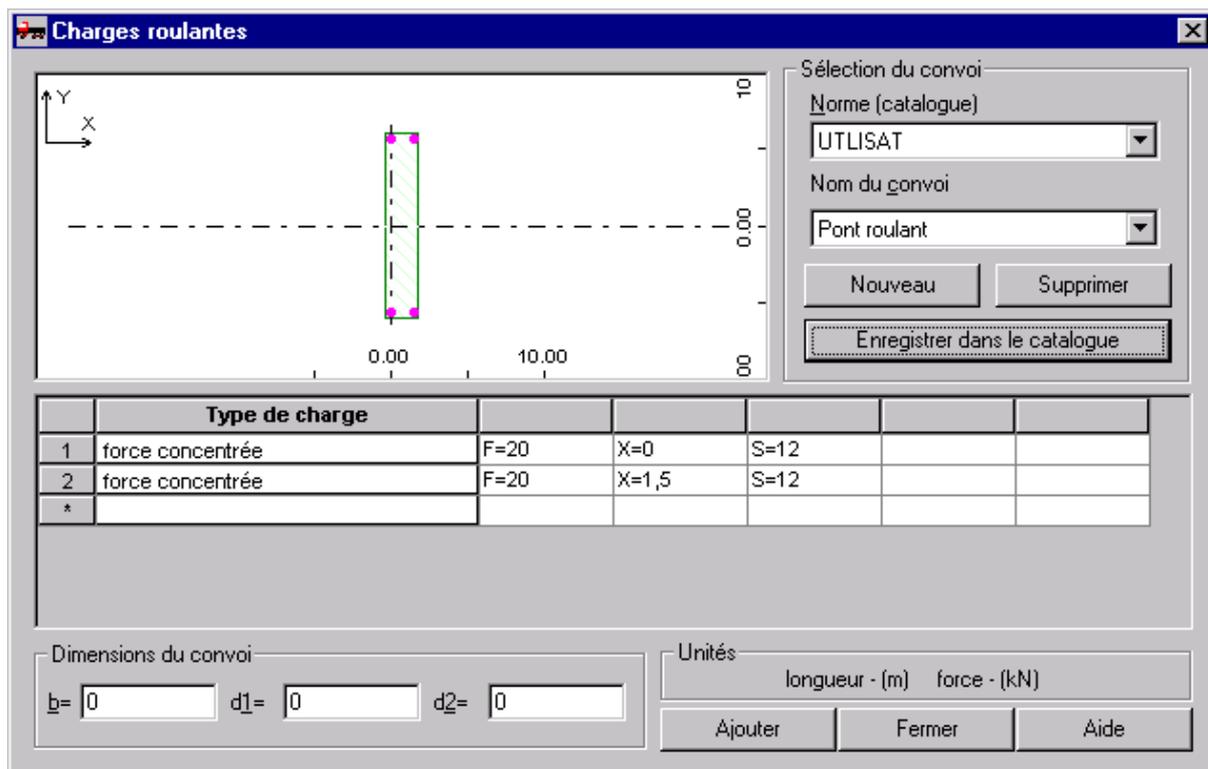
ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION / CHARGEMENTS .	Sélection du bureau du système Robot Millennium prévu pour la définition des charges sollicitant la structure.
ClicBG dans la cinquième cellule dans la colonne Cas dans le tableau Chargements , sélectionnez le troisième cas de charge VENT2 dans la liste de cas de charge disponibles	Définition de la nature de la charge pour le cinquième cas de charge.
ClicBG dans la cinquième cellule dans la colonne Type de charge , sélectionnez le type de charge (<i>charge uniforme</i>)	Sélection du type de charge.
ClicBG sur le champ dans la colonne Liste , sélectionnez les poteaux d'angle de la structure	Sélection des poteaux auxquels la charge uniforme sera appliquée.
ClicBG sur le champ dans la colonne " PY ", saisissez la valeur : (3.0)	Sélection de la direction et de la valeur de la charge uniforme.
ClicBG sur la fenêtre Vue	La charge définie est présentée sur la figure ci-dessous.



Définition de la charge roulante

ClicBG dans la fenêtre de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION / DEMARRAGE	Retour au bureau initial du système Robot Millennium .
<i>Outils / Préférence de l'affaire / Catalogues / Catalogue de convois</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Préférences de l'affaire .
	Après un clic sur l'icône <i>Créer une nouvelle base utilisateur</i> affichée dans la partie supérieure de la boîte de dialogue Préférences de l'affaire , le logiciel ouvre la boîte de dialogue Nouvelle charge roulante .
Saisissez : dans le champ <i>Catalogue</i> – le nom du catalogue voulu (max. 10 caractères) dans le champ <i>Nom du catalogue</i> – Catalogue utilisateur dans le champ <i>Description du catalogue</i> – Convois utilisateur dans le champ <i>Unités internes du catalogue</i> , sélectionnez (kN) en tant qu'Unité de force et (m) en tant qu'Unité de longueur	
Créer	Fermeture de la boîte de dialogue Nouvelle charge roulante .
OK	Fermeture de la boîte de dialogue Préférences de l'affaire .
<i>Chargements /Autres charges / Roulantes</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Charges roulantes .
	Ouverture de la boîte de dialogue Charges roulantes . Cette boîte de dialogue sert à définir les nouvelles charges roulantes.
ClicBG sur le bouton Nouveau	Ouverture de la boîte de dialogue Nouveau convoi .

Saisissez le nom du convoi : <i>Pont roulant</i> OK	Définition du nom du nouveau convoi.
ClicBG dans la première ligne du tableau affiché dans la partie inférieure de la boîte de dialogue <i>Charge roulante</i>	Définition des forces.
Sélection du type de charge : <i>force concentrée</i>	Sélection du type de charge.
F = 20; X = 0; S = 12	Définition de la valeur et de la position de la force concentrée.
ClicBG dans la deuxième ligne du tableau affiché dans la partie inférieure de la boîte de dialogue <i>Charge roulante</i>	Définition des forces.
Sélection du type de charge : force concentrée	Sélection du type de charge.
F = 20; X = 1.5; S = 12	Définition de la valeur et de la position de la force concentrée.



ClicBG sur le bouton Enregistrer dans le catalogue	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Catalogues de charges roulantes</i> .
Sélectionnez le catalogue <i>Utilisateur</i> ClicBG sur le bouton OK	Enregistrement du convoi défini dans le catalogue de convois utilisateur.
Ajouter, Fermer	Ajout du convoi défini à la liste de convois actifs. Fermeture de la boîte de dialogue <i>Charges roulantes</i> .
Dans le champ <i>Nom</i> , saisissez le nom de la charge roulante (cas de charge n° 5) : <i>Charge par pont roulant</i>	Définition du nom de la charge roulante.
ClicBG sur le bouton Définir	Début de la définition de la route de la charge roulante. Le logiciel ouvre la boîte de dialogue <i>Polyligne - contour</i> . Sélectionnez l'option <i>Ligne</i> .
Dans la zone <i>Géométrie</i> définissez avec deux points définissant la route de la charge roulante : Point P1 (0,0,10) Point P2 (0,36,10)	Définition de la route du convoi.
Appliquer, Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Polyligne - contour</i> .
ClicBG dans le champ d'édition <i>Pas</i> : { 1 } Gardez les valeurs par défaut définissant la direction de la charge (0,0,-1). Par conséquent, la direction de l'action de la charge sera parallèle à l'axe Z et son orientation sera contraire à l'orientation de cet axe.	Définition du pas du convoi et de la direction de l'action de la charge roulante.
Cochez les cases : <i>Limitation de la position du convoi – début</i> <i>Limitation de la position du convoi – fin</i>	Si ces options sont actives, les forces définissant la charge roulante ne seront pas appliquées en dehors de la route du convoi.
ClicBG sur l'option <i>Automatique</i> dans la zone <i>Plan de l'application</i>	Sélection du plan de l'application de la charge roulante.

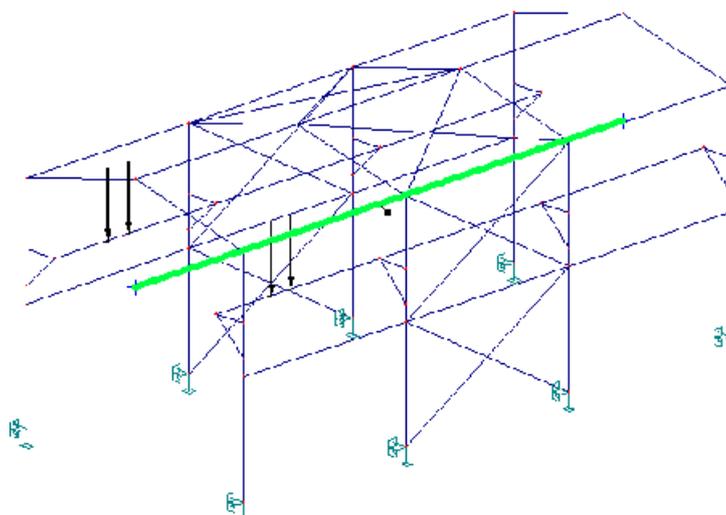
ClicBG sur le bouton Coefficients	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Paramètres de la route</i> .
ClicBG sur le champ dans les colonnes : coeff. LD et coeff. LG saisissez la valeur 0.1	Définition des coefficients de majoration/réduction de la force longitudinale horizontale L du côté droit LD et du côté gauche LG. Les coefficients en question permettent de multiplier la valeur de la charge (force concentrée) de sorte qu'il soit possible de modéliser les forces de calcul résultant du freinage du pont roulant.
OK	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Paramètres de la route</i> .
Appliquer, Fermer	Ajout du nouveau cas de charge : <i>Charge par pont roulant</i> . Fermeture de la boîte de dialogue <i>Charge roulante</i> .

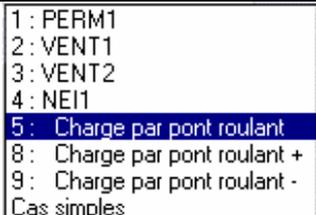
10.7.3. Analyse de la structure

<i>Outils / Préférences de l'affaire</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Préférences de l'affaire</i>
<i>Analyse de la structure</i>	Sélection de l'option <i>Analyse de la structure</i> à partir de la boîte de dialogue.
<i>Méthode de résolution : itérative</i>	Sélection de la méthode résolution pour la structure étudiée.
Désactivez l'option <i>Figer automatiquement les résultats de calcul de la structure</i>	Désactivation du verrouillage global des résultats de calcul.
OK	Validation des paramètres définis et fermeture de la boîte de dialogue <i>Préférences de l'affaire</i>
	Début des calculs de la structure définie. Quand les calculs auront été terminés, Robot Millennium affichera dans la barre de titre l'information suivante : <i>Résultats MEF : actuels</i> .

Présentation du cas de charge roulante

<i>Affichage / Attributs</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Affichage des attributs</i> .
Dans l'onglet <i>Charges</i> activez l'option : <i>Charges roulantes – convois</i> OK	Présentation de la charge roulante définie pour la structure. Fermeture de la boîte de dialogue <i>Affichage des attributs</i> .
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> 1 : PERM1 2 : VENT1 3 : VENT2 4 : NEI1 5 : Charge par pont roulant 8 : Charge par pont roulant + 9 : Charge par pont roulant - Cas simples </div>	Sélection du cinquième cas de charge (Charge par pont roulant).
Menu <i>Chargements / Sélectionner composante du cas</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Composante du cas</i> .
Dans le champ <i>Composante actuelle</i> , sélectionnez la composante n° 1	Sélection de la première composante de la charge roulante.
ClicBG sur le bouton Animation	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Animation</i> .
ClicBG sur le bouton Démarrer	Lancement de l'animation de la charge roulante sollicitant la structure. Le convoi se déplacera suivant la route définie préalablement. Lors de la présentation de l'animation, le logiciel affiche une barre d'outils permettant d'arrêter et de reprendre l'animation et de la rembobiner etc.
Arrêtez l'animation (ClicBG sur le bouton Arrêter) Fermez la barre d'outils	Arrêt de l'animation.
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Composante du cas</i> .



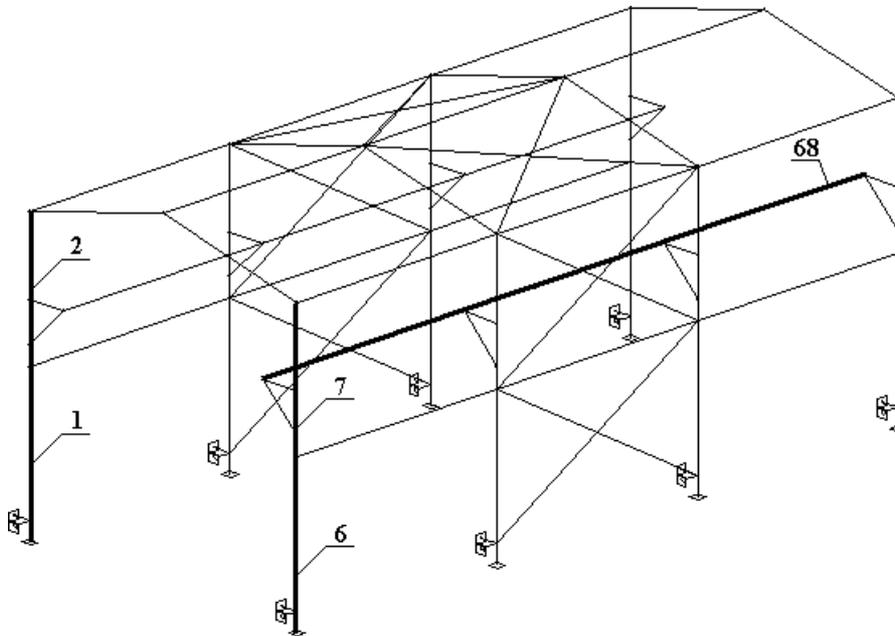
<p>ClicBG dans la zone de sélection de bureaux dy système Robot Millennium RESULTATS / RESULTATS</p>	<p>Ouverture du bureau Résultats du système Robot Millennium. L'écran sera divisé en trois parties : écran graphique présentant le modèle de la structure, la boîte de dialogue Diagrammes et le tableau contenant les valeurs des réactions.</p>
	<p>Sélectionnez le cinquième cas de charge (<i>charge par pont roulant</i>).</p>
<p>Dans l'onglet <i>Déformée</i> de la boîte de dialogue Diagrammes, cochez l'option <i>Déformée</i></p>	<p>Sélection de la déformée du modèle de la structure (pour le cas de charge spécifique), le diagramme de cette déformée sera affiché à l'écran.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Appliquer</p>	<p>Présentation de la déformée de la structure. Vous pouvez également visualiser les autres valeurs disponibles dans la boîte de dialogue Diagrammes.</p>
<p><i>Chargements / Sélectionner composante du cas</i></p>	<p>Ouverture de la boîte de dialogue Composante du cas.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Animation</p>	<p>Ouverture de la boîte de dialogue Animation.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Démarrer</p>	<p>Préparation de l'animation de la grandeur sélectionnée à base des paramètres donnés ; lancement de l'exécution de l'animation.</p>

<p>Arrêtez l'animation, pour cela cliquez sur le bouton  ; fermez la barre d'outils relative à la présentation de l'animation</p>	<p>Arrêt de la présentation de l'animation.</p>
<p>Fermer</p>	<p>Fermeture de la boîte de dialogue <i>Composante du cas</i>.</p>
<p>Passez à l'onglet <i>Déformée</i> dans la boîte de dialogue <i>Diagrammes</i> Désactivez l'option <i>Déformée</i> Appliquer</p>	<p>Désactivation de la présentation de la déformée du modèle de la structure.</p>

10.7.4. Dimensionnement de la structure

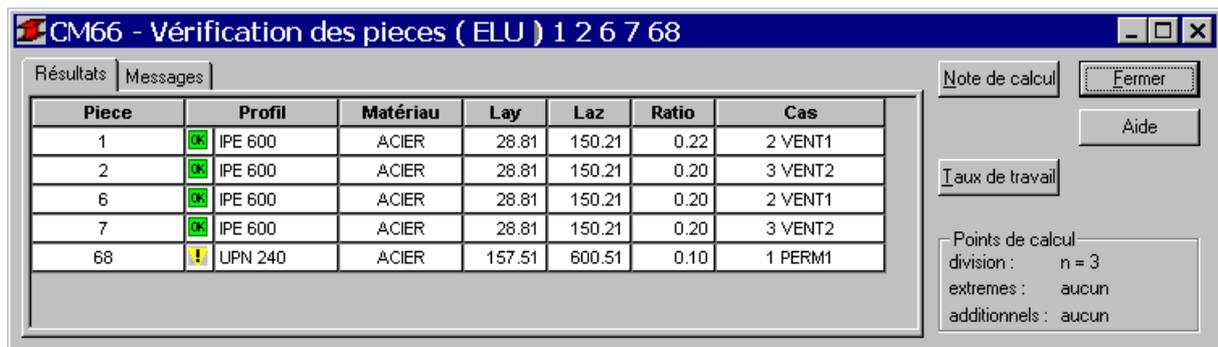
Norme française : CM66

<p>ClicBG sur le champ de sélection des bureaux du système <i>Robot Millennium</i> DIMENSIONNEMENT / DIMENSIONNEMENT ACIER/ALUMINIUM</p>	<p>Début du dimensionnement éléments acier de la structure. L'écran sera divisé en trois parties : écran graphique présentant le modèle de la structure et les boîtes de dialogue <i>Définitions</i> et <i>Calculs</i>.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Liste disponible à côté du champ <i>Vérification des pièces</i> dans la boîte de dialogue <i>Calculs</i>.</p>	<p>Ouverture de la boîte de dialogue <i>Sélection des barres</i>.</p>
<p>Saisissez les numéros des barres : 1, 2, 6, 7 (poteaux), 68 (chemin de roulement) dans le champ affiché au dessus du bouton Précédent, Fermer (voir la figure ci-dessous)</p>	<p>Sélection des barres à vérifier.</p>
<p>ClicBG sur le champ Sélectionner cas de charge disponible dans la boîte de dialogue <i>Calculs</i></p>	<p>Ouverture de la boîte de dialogue <i>Sélection de cas</i>.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Tout, Fermer</p>	<p>Sélection de tous les cas de charge.</p>
<p>Dans le champ <i>Etat limite</i>, activez l'option <i>Ultime</i>, désactivez l'option <i>Service</i></p>	<p>Après la sélection de cette option, les calculs des barres seront effectués pour l'état limite ultime.</p>



ClicBG sur le bouton **Calculer**

Lancement de la vérification des barres sélectionnées dans la structure;
Le logiciel affiche la boîte de dialogue représentée sur la figure ci-dessous.



ClicBG sur le champ contenant les résultats des calculs disponibles pour la barre n° 2

Ouverture de la boîte de dialogue *Résultats* pour la barre sélectionnée.

ClicBG sur le champ *Résultats simplifiés*

Présentation des résultats des calculs pour la barre n° 2 (cf. la figure ci-dessous).

OK	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Résultats</i>
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Vérification des pièces</i>
ClicBG sur le champ de sélection de bureaux du système <i>Robot Millennium</i> DIMENSIONNEMENT / DIMENSIONNEMENT ACIER/ALUMINIUM	Sélection du bureau du système <i>Robot Millennium</i> prévu pour le dimensionnement des barres acier. L'écran sera divisé en trois parties : écran graphique et deux boîtes de dialogue <i>Définitions</i> et <i>Calculs</i> .
ClicBG sur le bouton Nouveau dans l'onglet <i>Familles</i> de la boîte de dialogue <i>Définitions</i>	Passage à l'onglet permettant la définition des familles de barres.
Définissez la première famille avec les paramètres suivants : Numéro : 1 Nom : Poteaux Liste de pièces : ClicBG sur l'écran graphique; sélectionnez tous les poteaux en maintenant enfoncé la touche CTRL Matériau : Acier défaut	Définition de la première famille de barres comprenant tous les poteaux de la structure.
Enregistrer	Enregistrement des paramètres de la première famille de barres.

Passez à l'écran graphique et, ensuite, dans le menu principal, sélectionnez la commande <i>Affichage / Projection / Zx 3d/1</i>	Après la sélection de cette option, la structure sera affichée en mode 3D mais elle sera visible dans le plan ZX.
<i>Affichage / Attributs</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Affichage des attributs</i> .
Dans l'onglet <i>Structure</i> désactivez l'option <i>Numéros de barres</i> ClicBG sur le bouton OK	Désactivation de l'affichage des numéros des barres. Fermeture de la boîte de dialogue <i>Affichage des attributs</i> .
ClicBG sur le bouton Nouveau dans l'onglet <i>Familles</i> de la boîte de dialogue <i>Définitions</i>	La sélection de cette option permet de définir la famille de barres suivante.
Définissez les paramètres de la deuxième famille de barres : Numéro : 2 Nom : Arbalétrier Matériau : Acier défaut	Définition des paramètres de la deuxième famille de barres.
ClicBG sur l'option <i>Liste de pièces</i> . Passez à l'écran graphique et sélectionnez par fenêtre tous les arbalétriers.	Sélection des barres de l'arbalétrier.
<i>Affichage / Projection / 3D xyz</i>	Sélection de la vue axonométrique de la structure ATTENTION : en addition aux arbalétriers, d'autres barres sont sélectionnées (barres des contreventements et des poutres longitudinales). Pour que la sélection contienne seulement les barres de l'arbalétrier, en maintenant enfoncée la touche CTRL, cliquez sur les éléments qui ne font pas partie de l'arbalétrier, par conséquent ces barres seront supprimées de la sélection.
Enregistrer	Enregistrement des paramètres de la deuxième famille de barres.
ClicBG sur le bouton Liste affiché à côté de l'option <i>Dimensionnement des familles</i> dans la boîte de dialogue <i>Calculs</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Sélection de familles</i> .

<p>ClicBG sur le bouton Tout (ce bouton est affiché au dessus du bouton Précédente), La liste 1 2 sera affichée, Fermer</p>	<p>Sélection des familles à étudier.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Sélectionner cas de charges disponible dans la boîte de dialogue <i>Calculs</i></p>	<p>Ouverture de la boîte de dialogue <i>Sélection des cas</i>.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Tout (ce bouton est affiché au dessus du bouton Précédente), La lista 1A5 7 8 sera affichée dans le champ d'édition, Fermer</p>	<p>Sélection de tous les cas de charge.</p>
<p>Activez les options : <i>Optimisation</i> dans la zone <i>Options de vérification</i> et l'option <i>Ultime</i> dans la zone <i>Etat limite</i></p>	
<p>Cliquez sur le bouton Options et, ensuite, activez l'option <i>Poids</i></p>	<p>Ouverture de la boîte de dialogue <i>Options d'optimisation</i>. Après la sélection de l'option d'optimisation <i>Poids</i>, l'optimisation prendra en compte le poids du profilé, par conséquent, parmi les profilés satisfaisant les dispositions réglementaires, les profilés les plus légers seront recherchés dans la famille donnée.</p>
<p>OK</p>	<p>Fermeture de la boîte de dialogue <i>Options d'optimisation</i>.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Calculer</p>	<p>Début du dimensionnement des familles sélectionnées. Le logiciel affiche la fenêtre Résultats simplifiés représentée sur la figure ci-dessous.</p>

Piece	Profil	Matériau	Lay	Laz	Ratio	Cas
Famille : 1 Poteaux						
1	 IPE 300	ACIER	56.17	208.98	1.22	2 VENT1
	 IPE 330		51.06	197.29	0.95	
	 IPE 360		46.81	184.81	0.75	
Famille : 2 Arbalétrier						
19	 IPE 140	ACIER	49.27	171.04	1.06	5 Charge par pont rulant /9/
	 IPE 160		43.00	153.39	0.58	
	 IPE 180		38.14	137.83	0.38	

<p>ClicBG sur le bouton Changer tout disponible dans la fenêtre représentée sur la figure ci-dessus</p>	<p>Remplacement des profils actuels pour les deux familles par les profils calculés (pour les poteaux, les profils IPE 600 sont remplacés par IPE 330 ; pour les arbalétriers, les profils HEA 240 sont remplacés par HEA 160).</p> <p>Après le changement des profils, la barre de titre de Robot affichera l'information : <i>Résultats MEF - non actuels</i></p>
<p>Fermer</p>	<p>Fermeture de la boîte de dialogue <i>Dimensionnement des familles</i>.</p>
	<p>Recalcul de la structure pour les nouveaux profilés. Une fois les calculs terminés, la barre de titre de Robot affichera l'information : <i>Résultats MEF – actuels</i></p>
<p>ClicBG sur le bouton Calculer disponible dans la boîte de dialogue <i>Calculs</i></p>	<p>Redimensionnement des familles sélectionnées (familles 1,2) avec la prise en compte des options d'optimisation ;</p> <p>Le logiciel affiche la fenêtre Résultats simplifiés représentée ci-dessous.</p> <p>Les profils calculés sont les profils optimaux pour les familles sélectionnées.</p> <p>Attention : Les calculs des profils optimaux doivent être répétées, parfois plus d'une fois, jusqu'à obtenir le jeu de profils optimal.</p>

CM66 - Dimensionnement des familles (ELU) 1 2

Résultats Messages

Piece	Profil	Matériau	Lay	Laz	Ratio	Cas
Famille : 1 Poteaux						
1	<input type="checkbox"/> IPE 300	ACIER	56.17	208.98	1.02	2 VENT1
	<input checked="" type="checkbox"/> IPE 330		51.06	197.29	0.80	
	<input type="checkbox"/> IPE 360		46.81	184.81	0.63	
Famille : 2 Arbaletrier						
19	<input type="checkbox"/> IPE 120	ACIER	57.67	195.44	3.82	5 Charge par pont rulant /11/
	<input checked="" type="checkbox"/> IPE 140		49.27	171.04	0.84	
	<input type="checkbox"/> IPE 160		43.00	153.39	0.47	

Note de calcul

Fermer

Aide

Changer tout

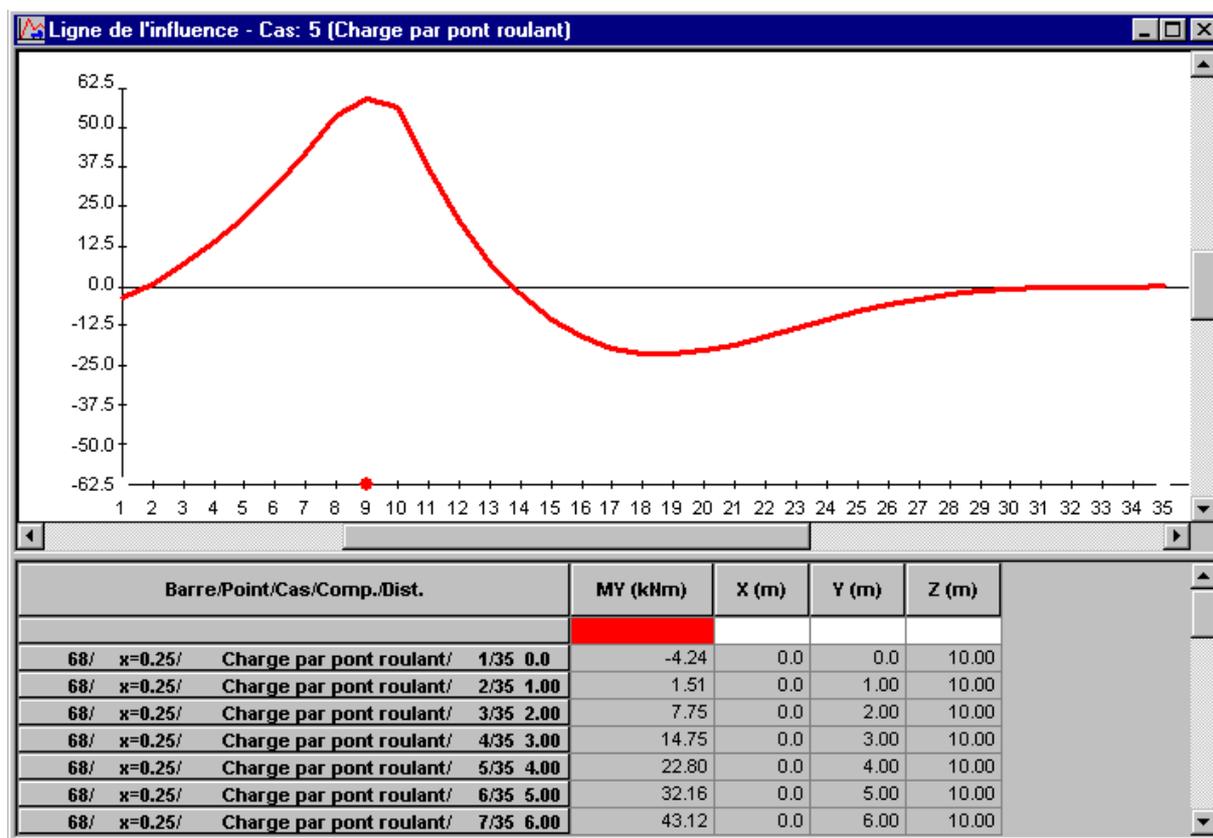
Points de calcul
 division : n = 3
 extremes : aucun
 additionnels : aucun

Fermer

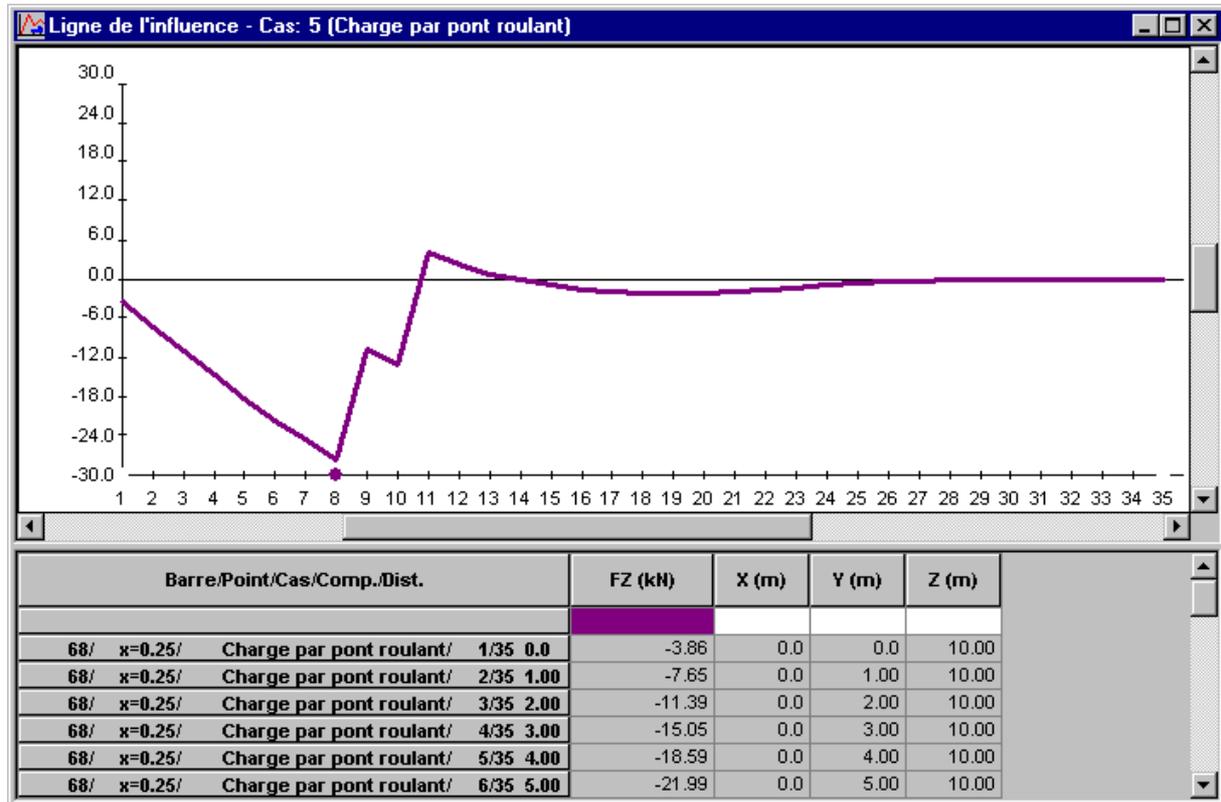
Fermeture de la boîte de dialogue *Dimensionnement des familles*.

Ligne d'influence

ClicBG dans la fenêtre de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION / DEMARRAGE	Retour au bureau initial du système Robot Millennium .
<i>Résultats / Avancé/ Ligne d'influence</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Lignes d'influence .
Dans la boîte de dialogue Lignes d'influence , dans l'onglet NTM activez l'option <i>My</i> Dans la liste de cas de charges, sélectionnez <i>Charge par pont roulant</i>	Sélection du moment fléchissant My et du cas de charge roulante. ATTENTION : la ligne d'influence ne peut être créée que pour le cas de charge roulante.
ClicBG sur le champ <i>Elément</i> , en mode graphique le chemin de roulement (poutre n° 68)	Sélection de la barre (poutre de roulement) pour laquelle le logiciel affichera la ligne de l'influence.
ClicBG sur le champ <i>Position</i> Saisissez la valeur 0.25	Sélection de la coordonnée relative du point situé sur l'élément pour lequel la ligne de l'influence de la grandeur sélectionnée sera créée.
Activez l'option <i>ouvrir nouvelle fenêtre</i>	Après l'activation de cette fenêtre, le logiciel affichera une nouvelle fenêtre dans laquelle les lignes de l'influence des grandeurs sélectionnées seront affichées.
Appliquer	Ouverture de la fenêtre supplémentaire dans laquelle le logiciel générera la ligne de l'influence de la grandeur sélectionnée.
ClicBD dans la fenêtre dans laquelle la ligne de l'influence de la grandeur sélectionnée est affichée.	Ouverture du menu contextuel.
<i>Ajouter coordonnées</i>	Affichage des colonnes supplémentaires présentant les coordonnées des points successifs (voir la figure ci-dessous).



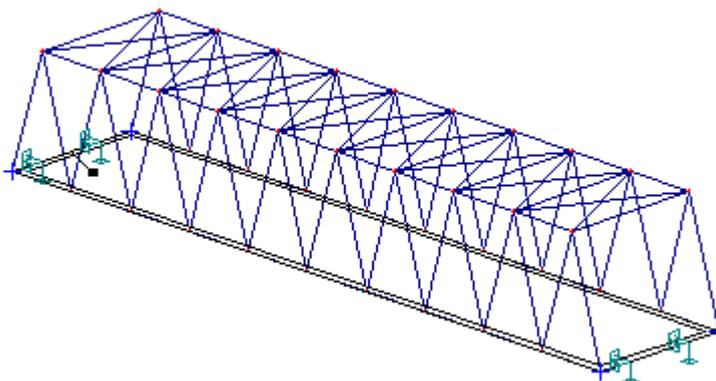
Dans l'onglet <i>NTM</i> désactivez l'option <i>My</i> , et activez l'option : Fz	Sélection de la grandeur pour laquelle le logiciel créera le ligne de l'influence.
Activez l'option : <i>ouvrir nouvelle fenêtre</i> Appliquer	Ouverture de la nouvelle fenêtre dans laquelle le logiciel affichera la ligne de l'influence pour la force FZ .
ClicBD dans la fenêtre dans laquelle la ligne de l'influence de la grandeur sélectionnée est affichée.	Ouverture du menu contextuel.
<i>Ajouter coordonnées</i>	Affichage des colonnes supplémentaires contenant les coordonnées des points successifs (voir la figure ci-dessous).



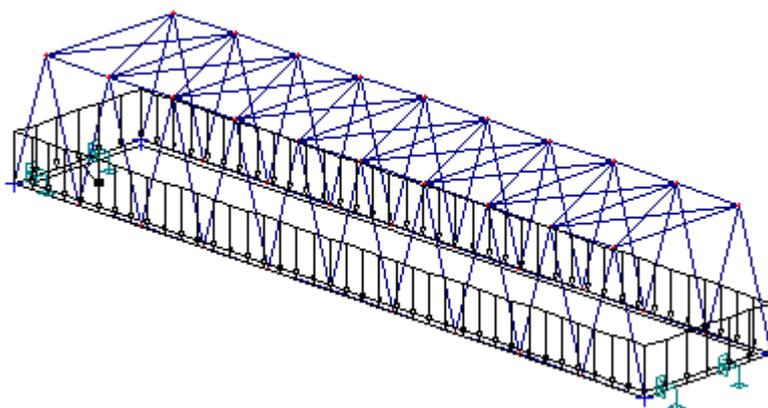
10.8.Pont (charge roulante et analyse temporelle)

L'exemple présente la définition, l'analyse et le dimensionnement d'un pont treillis avec le tablier situé dans la membrure inférieure (voir la figure ci-dessous).

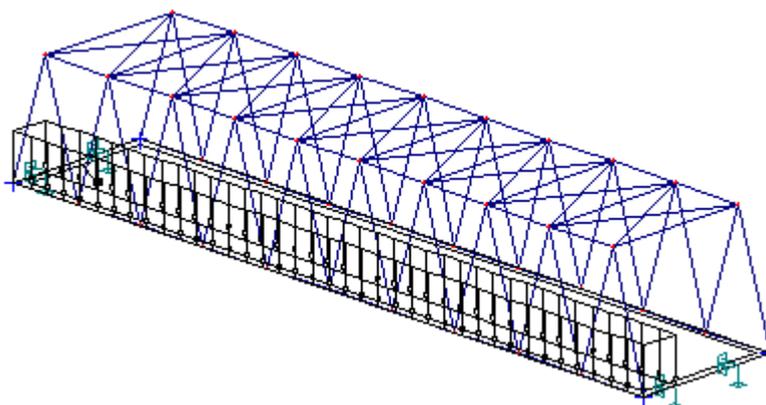
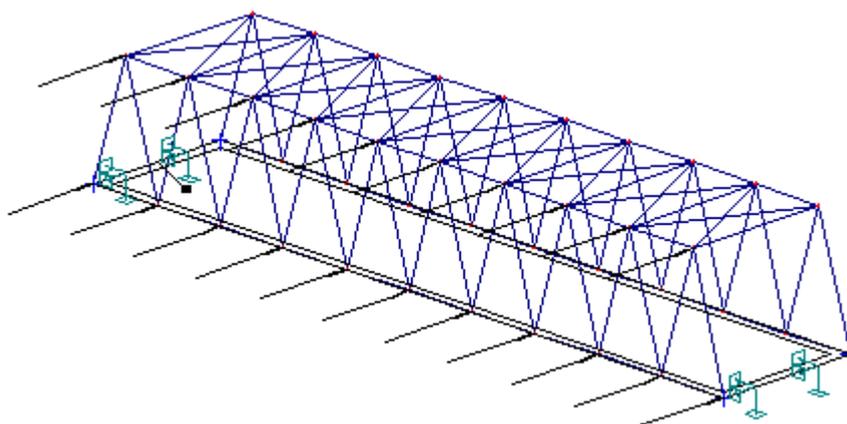
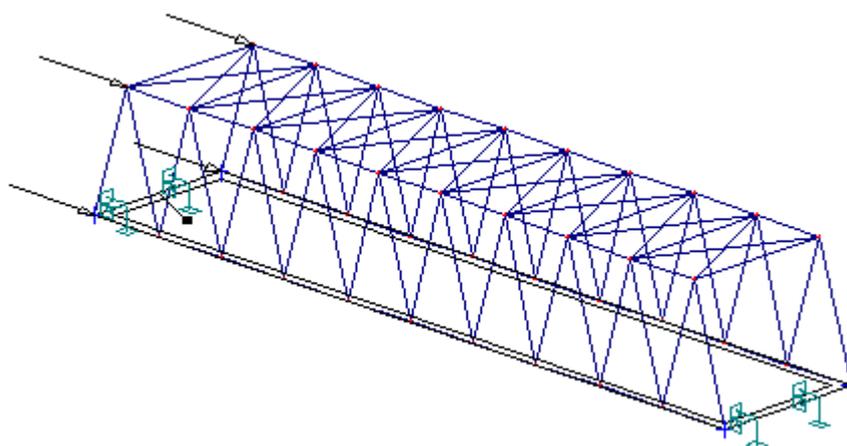
Unités utilisées dans l'affaire : (m) et (kN).

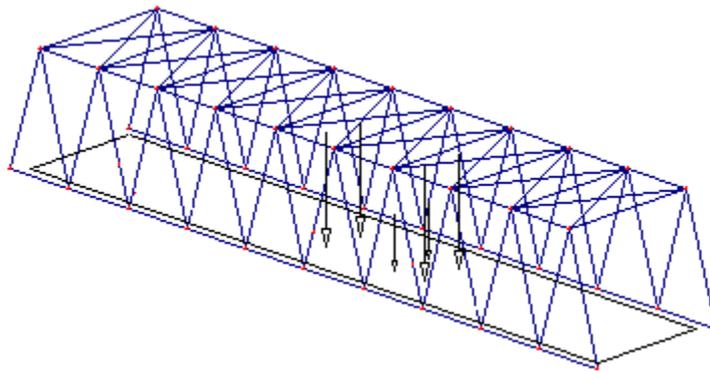


La structure est sollicitée par huit cas de charge dont six sont représentés sur les figures ci-dessous.

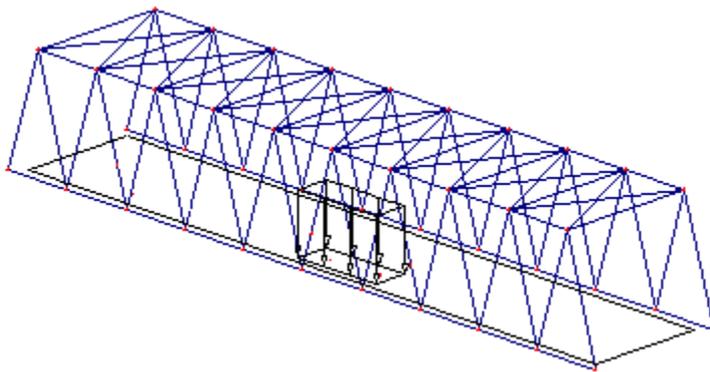


Cas 2 – EXPL1

Cas 3 – *EXPL2*Cas 4 – *EXPL 3* symétrique du cas 3Cas 5 – *VENT1*Cas 6 – *VENT2*



Cas 7 – *PASSAGE D'UNE VOITURE*



Cas 8 – *PASSAGE D'UN GROUPE DE PERSONNES*

Dans la description de la définition de la structure les conventions suivantes seront observées :

- une icône quelconque signifie un clic sur cette icône effectué avec le bouton gauche de la souris,
- { x } signifie la sélection (saisie) de l'option « x » dans la boîte de dialogue ,
- ClicBG et ClicBD - ces abréviations sont utilisées respectivement pour le clic sur le bouton gauche et sur le bouton droit de la souris.

Afin de commencer la définition de la structure, lancez le système **Robot Millennium** (cliquez sur l'icône correspondant ou sélectionnez la commande dans le menu affiché dans la barre des tâches).

Dans la fenêtre de l'assistant affiché par **Robot Millennium** (elle est décrite dans le chapitre

2.1) sélectionnez le deuxième icône au deuxième rang (*Etude d'une coque*)



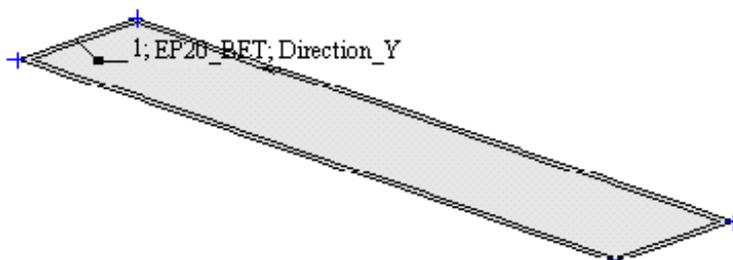
10.8.1. Définition du modèle de la structure

Définition de la structure

Tablier – définition

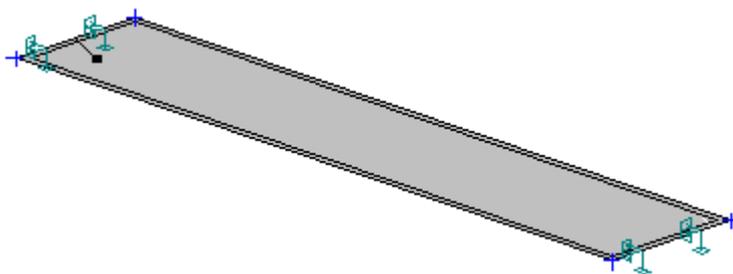
ACTION	DESCRIPTION
<i>Affichage / Projection / Xy</i>	Sélection de la projection XY
Dans le menu, sélectionnez la commande : <i>Structure / Objets / Polyligne – contour (selon votre choix)</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Polyligne - contour permettant la définition de différents types de lignes (lignes, polylignes, contours).
ClicBG sur le bouton Géométrie	Affichage de la zone permettant la définition du contour.
Saisissez les coordonnées suivantes dans le champ mis en surbrillance en vert : (0 ;0 ;0) Ajouter , (30 ;0 ;0) Ajouter , (30 ;6 ;0) Ajouter , (0 ;6 ;0) Ajouter , Appliquer, Fermer	Définition du contour
	Rétablissement de la vue initiale du modèle de la structure de sorte que la structure entière soit affichée à l'écran
<i>Structure / Panneaux</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Panneau permettant la définition des panneaux dans la structure.
ClicBG sur le bouton  affiché à droite du champ <i>Epaisseur</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Nouvelle épaisseur .

<p>Dans l'onglet <i>Uniforme</i>, saisissez la nouvelle épaisseur 20 cm, saisissez le nouveau nom EP20_BET. Ajouter, Fermer.</p>	<p>Définition du nouveau panneau et fermeture de la boîte de dialogue.</p>
<p>ClicBG sur le bouton [...] affiché à droite du champ <i>Ferrailage</i></p>	<p>Ouverture de la boîte de dialogue Paramètres du ferrailage.</p>
<p>Sur l'onglet <i>Général</i>, champ <i>Direction</i>, sélectionnez l'option <i>Suivant l'axe Y</i></p>	<p>Sélection de la direction du ferrailage principal.</p>
<p>Dans le champ <i>Nom</i>, saisissez <i>Direction_Y</i> Ajouter, Fermer</p>	<p>Affectation du nom pour un nouveau type de ferrailage, fermeture de la boîte de dialogue Paramètres du ferrailage</p>
<p>ClicBG dans le champ <i>Ferrailage</i> Sélectionnez l'option <i>Direction_Y</i></p>	<p>Définition du type de ferrailage qui sera utilisé pour le panneau.</p>
<p>ClicBG sur l'option <i>point interne</i> disponible dans la zone <i>Mode de création</i>; passez à l'écran graphique et sélectionnez un point situé à l'intérieur du panneau</p>	<p>Affectation des valeurs sélectionnées au panneau sélectionné.</p>
<p>Fermer</p>	<p>Fermeture de la boîte de dialogue Panneau.</p>
<p><i>Affichage / Projection / 3D xyz</i></p>	<p>Sélection de la vue axonométrique de la structure La structure définie est représentée sur la figure ci-dessous.</p>



10.8.2. Définition des appuis

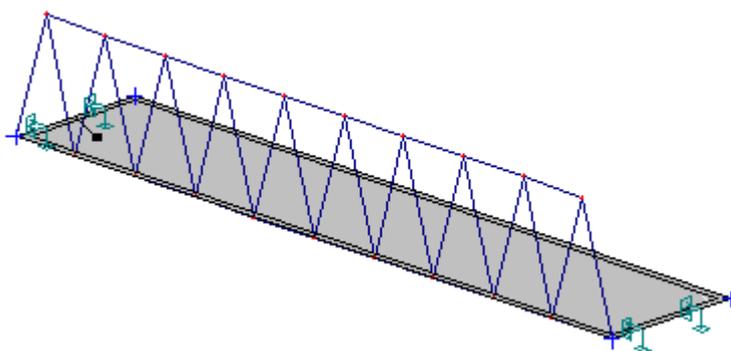
<i>Affichage / Attributs</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Affichage des attributs</i> permettant de sélectionner les attributs de la structure à afficher à l'écran
Dans l'onglet EF désactivez l'option <i>Numéros et descriptions des panneaux</i> OK	Désactivation de l'affichage des numéros et des descriptions des panneaux.
ClicBG dans le champ de sélection de bureaux du système <i>Robot Millennium</i> MODELISATION / APPUIS	Sélection du bureau du système <i>Robot Millennium</i> permettant la définition des appuis.
Sélectionnez le type d'appui encastré.	Sélection du type d'appui
ClicBG sur l'option <i>Ligne</i> , ClicBG dans le champ <i>Sélection actuelle</i>	
Passez à l'écran graphique ; cliquez du bouton gauche de la souris pour sélectionner les deux petits côtés du tablier Appliquer	Affectation des appuis encastrés aux deux petits côtés du tablier.
ClicBG dans le champ de sélection de bureaux du système <i>Robot Millennium</i> MODELISATION / GEOMETRIE	Sélection du bureau initial du système <i>Robot Millennium</i> .
<i>Affichage / Attributs</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Affichage des attributs</i> , permettant de sélectionner les attributs de la structure à afficher à l'écran
Dans l'onglet <i>Structure</i> sélectionnez l'option <i>Appuis - symboles</i> . OK	Le logiciel affiche les symboles des appuis définis dans la structure. Fermeture de la boîte de dialogue <i>Affichage des attributs</i> . La structure définie est présentée sur la figure ci-dessous.



10.8.3. Définition des treillis du pont (structures types)

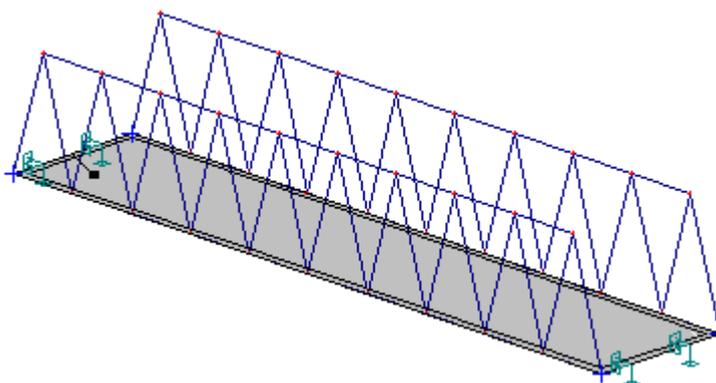
Sélectionnez l'icône <i>Structures types</i> :  dans la barre d'outils verticale	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Structures types</i> permettant de définir des structures types (ou éléments typiques de la structure).
Dans le champ <i>Sélection de la base de structures types</i> , sélectionnez l'option <i>Structures à barres – géométries types</i> (dans la boîte de dialogue <i>Structures types</i> , un nouveau jeu de structures sera affiché). ClicBG  (double) sur l'icône (dernière icône dans la troisième rangée)	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Treillis trapézoïdal de type 3</i> .
Dans l'onglet <i>Dimensions</i> ClicBG dans le champ <i>Longueur L1</i> {30}	Définition de la longueur de la membrure inférieure du treillis (vous pouvez également le faire en mode graphique, pour cela, à l'écran graphique, cliquez sur les deux nœuds définissant la longueur de la membrure du treillis).
ClicBG dans le champ <i>Longueur L2</i> {27}	Définition de la longueur de la membrure supérieure du treillis.
ClicBG dans le champ <i>Hauteur H</i> {5}	Définition de la hauteur du treillis.
ClicBG dans le champ <i>Nombre de panneaux</i> {10}	Définition du nombre de panneaux pour la membrure inférieure du treillis.

Activez l'option <i>Non</i> pour les <i>Membrures continues</i>	La membrure inférieure et supérieure du treillis seront divisées en segments.
Dans l'onglet <i>Insérer</i> , ClicBG dans le champ <i>Point d'insertion</i> ; saisissez les coordonnées : (0,0,0)	Définition des coordonnées du point de l'insertion du treillis.
ClicBG sur le bouton : Appliquer et OK	Insertion de la structure définie dans le point d'insertion donné. Fermeture de la boîte de dialogue <i>Insertion d'une structure</i> .



I	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Profilés</i> .
ClicBG sur le champ <i>Lignes / Barres</i> , passez à l'écran graphique et sélectionnez par fenêtre toutes les barres du treillis	Sélection des barres du treillis.
ClicBG sur le profilé HEA 300	Sélection du profilé à affecter aux barres sélectionnées faisant partie du treillis. Attention : si le profilé HEA 300 n'est pas disponible dans la liste, cliquez sur le bouton affiché à côté du champ <i>Section</i> . Le logiciel affichera alors la boîte de dialogue <i>Nouvelle section</i> . Dans l'onglet <i>Standard</i> , dans la zone <i>Sélection de section</i> , sélectionnez les données suivantes : <i>Base do profilés – Catpro</i> <i>Famille – HEA</i> <i>Section – HEA 300</i> Cliquez sur le bouton Ajouter et, ensuite, Fermer . Ces actions entraîneront l'ajout de la section HEA 300 à la liste de sections disponibles et la fermeture de la boîte de dialogue <i>Nouvelle section</i> .

ClicBG sur le bouton Appliquer, Fermer	Affectation du profilé HEA 300 à toutes les barres du treillis, fermeture de la boîte de dialogue.
<i>Affichage / Attributs</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Affichage des attributs .
Dans l'onglet <i>Profilés</i> désactivez l'option <i>Croquis</i> OK	Désactivation de l'affichage des profilés des barres.
Passez à l'écran graphique. Maintenez enfoncée la touche CTRL et sélectionnez toutes les barres du treillis inséré.	
<i>Edition / Transformer / Translation</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Translation .
ClicBG dans le champ (dX, dY, dZ) saisissez les coordonnées : (0 ;6 ;0)	Définition du vecteur de translation.
Appliquer / Fermer	Translation des barres, mise en surbrillance des barres soumises à la translation, fermeture de la boîte de dialogue Translation . La structure définie est représentée sur la figure ci-dessous..



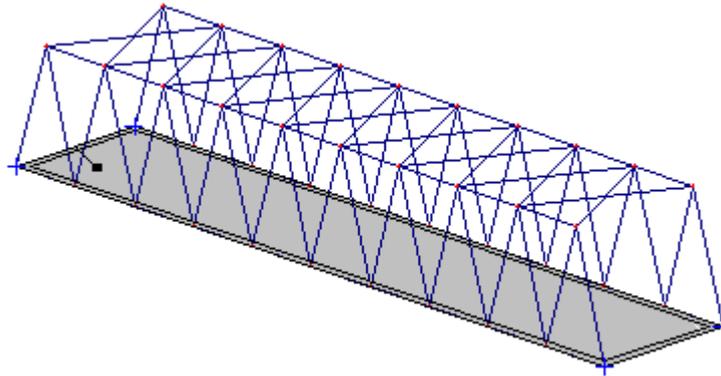
10.8.4. Définition des contreventements

ClicBG dans le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION / BARRES	Sélection du bureau Barres dans la liste de bureaux disponibles dans le système Robot Millennium . Ce bureau est prévu pour la définition des barres.
---	--

<p>ClicBG dans le champ <i>Type</i> sélectionnez : <i>Barre</i> ClicBG dans le champ <i>Section</i> sélectionnez : IPE 100</p>	<p>Définition des caractéristiques de la barre. Attention : si le profilé IPE 100 n'est pas disponible dans la liste, cliquez sur le bouton  affiché à côté du champ <i>Section</i>. Le logiciel affichera alors la boîte de dialogue Nouvelle section. Dans l'onglet <i>Standard</i>, dans la zone <i>Sélection de section</i>, sélectionnez les données suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Base de profilés – Catpro</i> - <i>Famille – IPE</i> - <i>Section – IPE 100</i> <p>Cliquez sur le bouton Ajouter et, ensuite, Fermer. Ces actions entraîneront l'ajout de la section IPE 100 à la liste de sections disponibles et la fermeture de la boîte de dialogue Nouvelle section.</p>
<p>ClicBG dans le champ <i>origine</i> et <i>extrémité</i> (la couleur du fond change en vert) (1,5 ;0 ;5) (4,5 ; 6 ;5) (1,5 ;6 ;5) (4,5,0 ;5)</p>	<p>Définition des contreventements.</p>
<p>Passez à l'écran graphique. ClicBD dans un point quelconque de la fenêtre. Dans le menu contextuel qui s'ouvre, sélectionnez l'option <i>Sélectionner</i>, sélectionnez les barres de contreventement définies en maintenant enfoncé le bouton CTRL. Dans le menu sélectionnez l'option : <i>Edition / Transformer / Translation</i></p>	<p>Ouverture de la boîte de dialogue Translation.</p>
<p>ClicBG dans le champ (dX, dY, dZ) (3 ;0 ;0), dans le champ <i>Nombre de répétitions</i> {8}</p>	<p>Définition du vecteur de translation et du nombre de répétitions.</p>
<p>Appliquer, Fermer</p>	<p>Translation des barres.</p>

ClicBG dans le champ de sélection de bureaux du système **Robot Millennium**
MODELISATION
/ GEOMETRIE

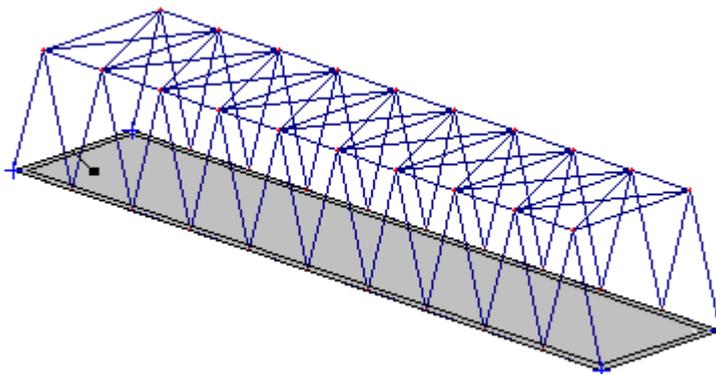
Sélection du bureau initial du système **Robot Millennium**, La structure définie est présentée sur la figure ci-dessous.



10.8.5. Définition des poutres transversales

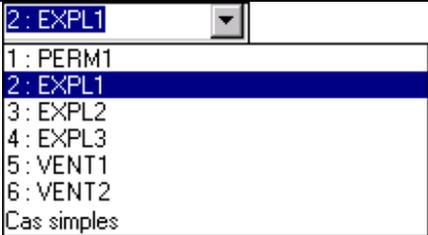
ClicBG dans le champ de sélection de bureaux du système <i>Robot Millennium</i> MODELISATION / BARRES	Sélection du bureau BARRES dans la liste de bureaux disponibles dans le système <i>Robot Millennium</i> . Ce bureau est prévu pour la définition des barres.
ClicBG dans le champ <i>Type</i> , sélectionnez l'option <i>Barre</i> ClicBG dans le champ <i>Section</i> , sélectionnez : (IPE 300).	Définition des caractéristiques de la barre. Attention : si la section IPE 300 n'est pas disponible dans la liste, effectuez les actions décrites à l'occasion de l'affectation de la section IPE 100.
ClicBG dans le champ <i>origine</i> et <i>extrémité</i> (la couleur du fond change en vert) (1,5 ;0 ;5) (1,5 ;6 ;5) Ajouter	Définition de la poutre transversale.
Passez à l'écran graphique, ClicBD dans un point quelconque de la fenêtre. Dans le menu contextuel qui s'ouvre, sélectionnez l'option <i>Sélectionner</i> et sélectionnez la poutre transversale définie.	
Dans le menu, sélectionnez l'option : <i>Edition / Transformer / Translation</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Translation</i> .
ClicBG dans le champ (dX, dY, dZ) : saisissez (3 ;0 ;0) dans le champ <i>Nombre de répétitions</i> saisissez {9}	Définition du vecteur de translation et du nombre de répétitions.
Appliquer, Fermer	Translation de la barre sélectionnée.

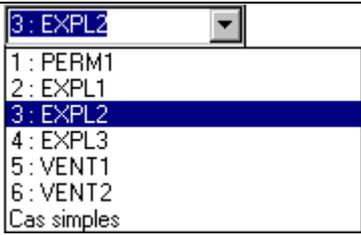
ClicBG dans le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION / GEOMETRIE	Sélection du bureau initial du système Robot Millennium , La structure définie est présentée sur la figure ci-dessous.
--	---

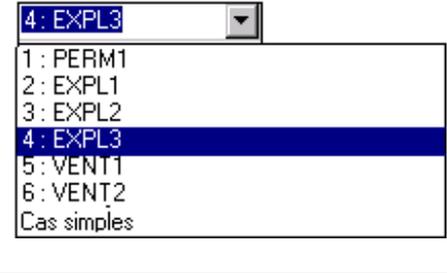


10.8.6. Définition des charges

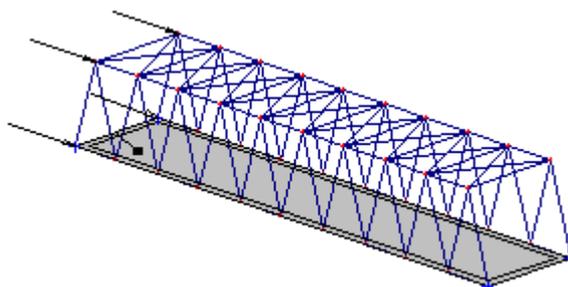
ClicBG dans le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION / CHARGEMENTS	Sélection du bureau du système Robot Millennium prévu pour la définition des charges sollicitant la structure. L'écran est divisé en trois parties : fenêtre graphique, tableau Chargements et la boîte de dialogue Cas de charge .
ClicBG sur le bouton Nouveau dans la boîte de dialogue Cas de charge .	Définition du cas de charge permanent (poids propre) portant le nom standard PERM1 .
ClicBG sur l'option Nature : Sélectionnez exploitation	Sélection du cas de charge – exploitation .
ClicBG sur le bouton Nouveau ClicBG sur le bouton Nouveau ClicBG sur le bouton Nouveau	Définition de trois cas de charge d' exploitation portant les noms standard : EXPL1 , EXPL2 et EXPL3 .
ClicBG dans le champ de sélection de nature de la charge (Nature) : Sélectionnez vent	Sélection du cas de charge – vent .

<p>ClicBG sur le bouton Nouveau ClicBG sur le bouton Nouveau</p>	<p>Définition de deux cas de charge de <i>vent</i> portant les noms standard : <i>VENT1</i> et <i>VENT2</i>.</p> <p>.</p>
	<p>Attention : la charge par poids propre dans la direction -Z sera affectée automatiquement à tous les éléments de la structure.</p>
<p>ClicBG sur l'icône  affichée dans la barre d'outils verticale</p>	<p>Ouverture de la boîte de dialogue Définir <i>Charges</i>.</p>
<p>Dans l'onglet <i>Surface</i> disponible dans la boîte de dialogue <i>Charge</i>, sélectionnez l'icône </p>	<p>Ouverture de la boîte de dialogue <i>Charge uniforme</i>.</p>
	<p>Sélection du cas de charge : <i>EXPL1</i>.</p>
<p>Dans le champ <i>Valeur Z</i> saisissez la valeur : -2.5 Ajouter</p>	<p>Définition de la charge uniforme sollicitant les éléments finis surfaciques dans la direction de l'axe Z du repère global.</p> <p>Fermeture de la boîte de dialogue <i>Charge uniforme</i>.</p>
<p>Dans le champ <i>Appliquer à</i>, disponible dans la boîte de dialogue <i>Charge</i>, saisissez le numéro du panneau : 1</p>	<p>Affichage de la sélection actuelle de panneaux définis dans la structure auxquels la charge sera appliquée.</p>
<p>Appliquer</p>	<p>Affectation de la charge définie au panneau sélectionné.</p>
<p>Dans l'onglet <i>Surface</i> de la boîte de dialogue <i>Charge</i>, cliquez sur le bouton </p>	<p>Ouverture de la boîte de dialogue <i>Charge uniforme (contour)</i>.</p>

	Sélection du cas de charge : <i>EXPL2</i> .
Dans le champ <i>Valeur Z</i> saisissez la valeur : -2.0	Définition de la valeur et de la direction de la charge uniforme sur contour.
ClicBG sur le bouton Définition du contour	Ouverture de la boîte de dialogue prévue pour la définition du contour auquel la charge uniforme sera appliquée. Le contour peut être défini par la saisie des coordonnées du contour dans la boîte de dialogue ou, à l'écran graphique, par la sélection des points définissant le contour.
Dans le champ mis en vert, saisissez les coordonnées définissant le contour : (0 ;0 ;0); Ajouter (30 ;0 ;0); Ajouter (30 ;1,5 ;0); Ajouter (0 ;1,5 ;0); Ajouter	Définition du contour auquel la charge sera appliquée.
ClicBG sur le bouton Ajouter disponible dans la partie inférieure de la boîte de dialogue <i>Charge uniforme (contour)</i> .	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Charge uniforme (contour)</i> .
Dans le champ <i>Appliquer à</i> , saisissez le numéro du panneau 1	Affichage de la sélection des panneaux de la structure auxquels la charge sera appliquée.
Appliquer	Affectation de la charge définie au panneau sélectionné.
Dans la boîte de dialogue <i>Charges</i> sélectionnez l'onglet Surface. Cliquez sur l'icône 	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Charge uniforme (contour)</i> .

	Sélection du cas de charge : <i>EXPL3</i> .
Dans le champ <i>Valeur Z</i> saisissez la valeur : -2.0	Définition de la valeur et de la direction de la charge uniforme sur contour.
ClicBG sur le bouton Définition du contour	Ouverture de la boîte de dialogue prévue pour la définition du contour.
Dans le champ mis en vert, saisissez les coordonnées définissant le contour : (0 ;4,5 ;0); Ajouter (30 ;4,5 ;0); Ajouter (30 ;6 ;0); Ajouter (0 ;6 ;0); Ajouter	Définition du contour auquel la charge sera appliquée.
ClicBG sur le bouton Ajouter disponible dans la partie inférieure de la boîte de dialogue <i>Charge uniforme (contour)</i>	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Charge uniforme (contour)</i> .
Dans le champ <i>Appliquer à</i> , saisissez le numéro du panneau : 1	Affichage de la sélection des panneaux de la structure auxquels la charge sera appliquée.
Appliquer	Affectation de la charge définie au panneau sélectionné.
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Charges</i> .
Dans le menu principal, sélectionnez <i>Affichage / Projection / Zx</i>	Affichage de la structure dans le plan XY
Passez au tableau <i>Chargements</i> . ClicBG dans la cinquième cellule de la colonne <i>Cas</i> , sélectionnez dans la liste le cinquième cas de charge <i>VENT1</i> .	Définition de la charge pour le cinquième cas de charge.

ClicBG dans le champ dans la colonne <i>Type de charge</i> , sélectionnez le type de charge (<i>force nodale</i>) dans la liste de types de charge disponibles	Sélection du type de charge.
ClicBG dans le champ dans la colonne <i>Liste</i> , Sélectionnez en mode graphique tous les nœuds du treillis le plus proche.	Sélection des nœuds auxquels la <i>force nodale</i> sera appliquée.
ClicBG dans le champ dans la colonne "FY=" , (1,25)	Sélection de la direction et de la valeur de la force nodale.
Dans le menu principal, sélectionnez <i>Affichage / Projection / 3d xyz</i>	Sélection de la vue axonométrique de la structure.
ClicBG dans la sixième cellule dans la colonne <i>Cas</i> dans le tableau Chargements. Sélectionnez dans la liste le sixième cas de charge <i>VENT2</i> .	Définition de la charge pour le sixième cas de charge.
ClicBG dans le champ dans la colonne <i>Type de charge</i> , sélectionnez (<i>force nodale</i>) dans la liste de types de charge disponibles	Sélection du type de charge.
ClicBG dans le champ dans la colonne <i>Liste</i> , sélectionnez les quatre nœuds du treillis représentés sur la figure ci-dessous.	Sélection des nœuds auxquels la force nodale sera appliquée.



ClicBG dans le champ dans la colonne "FX=" , saisissez la valeur : (0.60)	Sélection de la direction et de la valeur de la force nodale.
ClicBG dans le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION / GEOMETRIE	Sélection du bureau initial du système Robot Millennium ,

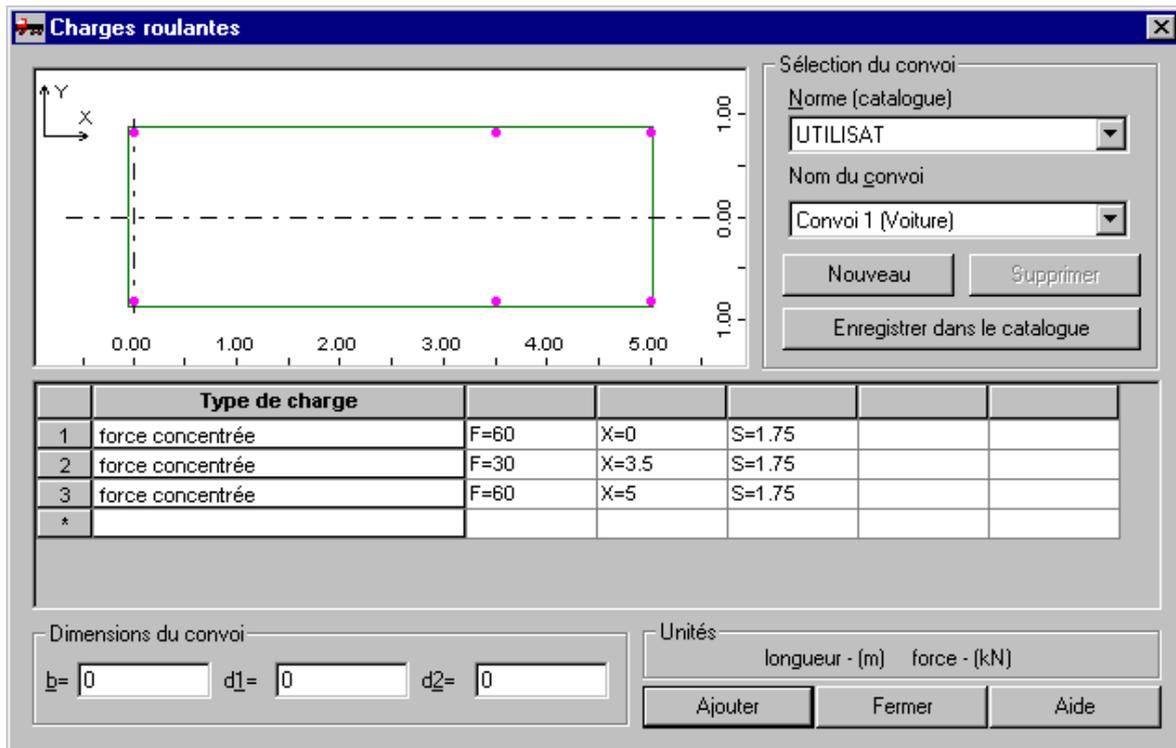
Définition de la charge roulante appliquée au tablier du pont

<i>Outils / Préférence de l'affaire / Catalogues / Catalogue de convois</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Préférences de l'affaire .
	Un clic sur l'icône « <i>Créer une nouvelle base utilisateur</i> » affichée dans la partie supérieure de la boîte de dialogue Préférences de l'affaire , entraîne l'ouverture de la boîte de dialogue Nouvelle charge roulante .
Saisissez : dans le champ <i>Catalogue – Utilisateur</i> dans le champ <i>Nom du catalogue – Catalogue utilisateur</i> dans le champ <i>Description du catalogue – Convois utilisateur</i> dans le champ <i>Unités internes</i> du catalogue, sélectionnez (kN) en tant qu'Unité de force et (m) en tant qu'Unité de longueur	
Créer	Création d'un nouveau catalogue utilisateur, Fermeture de la boîte de dialogue Nouvelle charge roulante .
OK	Fermeture de la boîte de dialogue Préférences de l'affaire .
<i>Chargements / Autres charges / Roulantes</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Charges roulantes .

	Ouverture de la boîte de dialogue Charges roulantes prévue pour la définition d'un nouveau convoi.
ClicBG sur le bouton Nouveau	Définition d'un nouveau convoi.
Saisissez le nom du convoi : <i>Convoi 1 (Voiture)</i> OK	Définition du nom du nouveau convoi.
ClicBG dans la première ligne du tableau affiché dans la partie inférieure de la boîte de dialogue Charge roulante	Définition des forces.
Sélectionnez le type de charge : <i>force concentrée</i>	Sélection du type de charge.
F = 60, X = 0.0, S = 1.75	Définition de la valeur et de la position de la force concentrée.
ClicBG dans la deuxième ligne du tableau affiché dans la partie inférieure de la boîte de dialogue Charge roulante	Définition des forces.
Sélectionnez le type de charge : <i>force concentrée</i>	Définition du type de charge.
F = 30, X = 3.5, S = 1.75	Définition de la valeur et de la position de la force concentrée.
ClicBG dans la troisième ligne du tableau affiché dans la partie inférieure de la boîte de dialogue Charge roulante	Définition des forces.
Sélectionnez le type de charge : <i>force concentrée</i>	Sélection du type de charge.
F = 60, X = 5.0, S = 1.75	Définition de la valeur et de la position de la force concentrée.
ClicBG sur le bouton Enregistrer dans le catalogue	Ouverture de la boîte de dialogue Catalogues de convois .
Dans la boîte de dialogue Catalogues de charges roulantes , sélectionnez le catalogue Utilisateur , cliquez sur le bouton OK	Enregistrement du convoi défini dans le catalogue Utilisateur .

Ajouter , Fermer

Ajout du nouveau convoi à la liste de convois actifs.
Fermeture de la boîte de dialogue *Charges roulantes*.



Dans le champ *Nom*, saisissez le nom de la charge roulante (cas de charge n°7) Convoi 1 (voiture)

Définition du nom de la charge roulante.

ClicBG sur le bouton **Définir**

Ouverture de la boîte de dialogue *Polyligne - contour*, dans cette boîte de dialogue vous pouvez définir la route du convoi.

Dans la boîte de dialogue *Polyligne - contour*, dans l'onglet *Méthode de définition* sélectionnez l'option *Ligne*. Cliquez sur le bouton *Géométrie* et ensuite définissez deux points définissant la route du convoi :
Point P1 (0 ;3 ;0)
Point P2 (30 ;3 ;0)

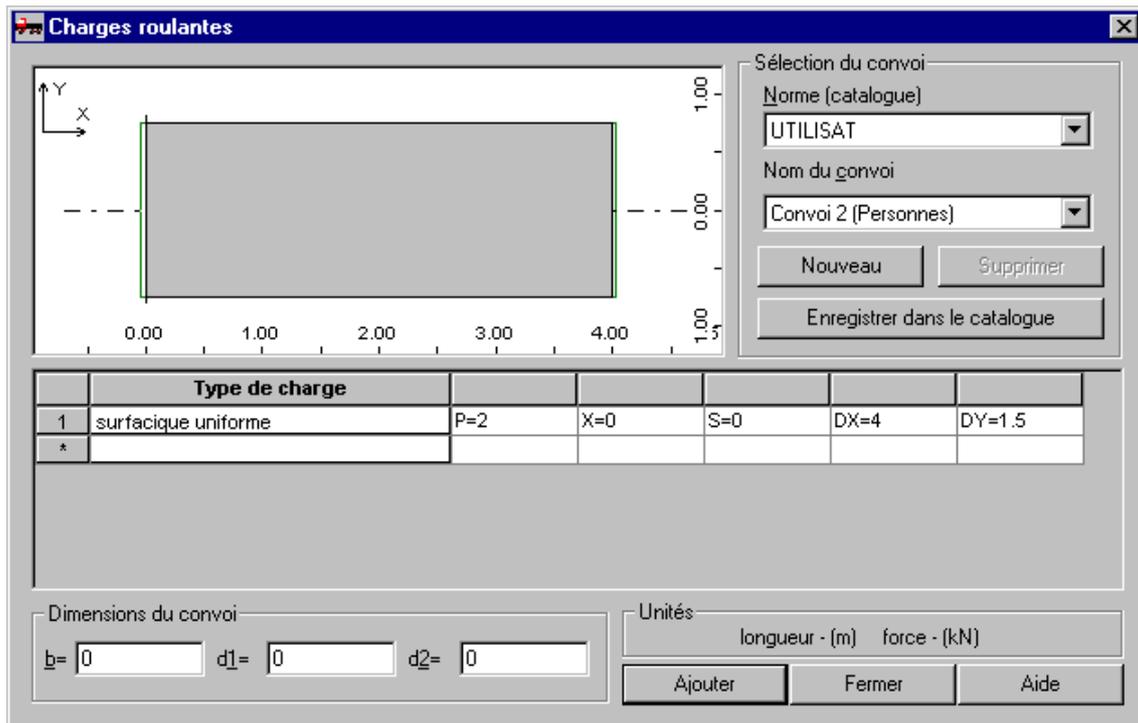
Définition de la route de la charge roulante.

Appliquer , Fermer

Fermeture de la boîte de dialogue *Polyligne - contour*.

<p>ClicBG dans le champ <i>Pas</i> {1}</p> <p>Gardez les valeurs par défaut (0,0,-1), par conséquent la charge roulante sollicitera la structure dans la direction de l'axe Z, son orientation sera contraire à l'orientation de cet axe</p>	<p>Définition de pas du changement de la position de la charge roulante.</p> <p>Définition de la direction de l'action de la charge.</p>
<p>ClicBG sur l'option <i>Automatique</i> dans la zone <i>Plan de l'application</i></p>	<p>Sélection du plan de redistribution des forces définissant le convoi.</p> <p>Après la sélection de l'option <i>Automatique</i>, les forces seront positionnées automatiquement sur les éléments les plus proches pris entre tous les éléments de la structure</p>
<p>Appliquer</p>	<p>Création du cas de charge roulante portant le nom <i>Convoi 1 (voiture)</i>.</p>
	<p>Ouverture de la boîte de dialogue <i>Charges roulantes</i> permettant la définition des nouveaux cas de charge roulante.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Nouveau</p>	<p>Définition d'une nouvelle charge roulante.</p>
<p>Saisissez le nom de la charge roulante : <i>Convoi 2 (Personnes)</i> OK</p>	<p>Définition du nom pour le nouveau cas de charge roulante.</p>
<p>ClicBG dans la première ligne du tableau affiché dans la partie inférieure de la boîte de dialogue <i>Charge roulante</i></p>	<p>Définition des forces.</p>
<p>Sélectionnez le type de charge : <i>surfaccique uniforme</i></p>	<p>Sélection du type de charge.</p>
<p>P = 2,0 ; X = 0.0 ; S = 0.0 ; DX = 4.0 ; DY = 1.5</p>	<p>Définition de la valeur et de la position de la charge roulante surfaccique.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Enregistrer dans le catalogue</p>	<p>Ouverture de la boîte de dialogue <i>Catalogue de charges roulantes</i>.</p> <p>Prendre <i>Utilisateur</i> si autre type de catalogue existe</p>
<p>OK dans la boîte de dialogue <i>Catalogue de charges roulantes</i></p>	<p>Enregistrement du convoi défini dans le catalogue utilisateur.</p> <p>Fermeture de la boîte de dialogue <i>Catalogue de charges roulantes</i>.</p>

Ajouter, Fermer	Ajout du convoi défini à la liste de convois actifs. Fermeture de la boîte de dialogue <i>Charge roulante</i> .
------------------------	--



Dans le champ <i>Nom</i> , saisissez le nom de la charge roulante (cas de charge n° 8) Convoi 2 (Personnes)	Définition du nom de la charge roulante.
ClicBG sur le bouton Définir	Début de la définition de la route de la charge roulante, ouverture de la boîte de dialogue <i>Polyligne - contour</i> .
Dans la boîte de dialogue <i>Polyligne - contour</i> , dans la zone <i>Méthode de définition</i> , sélectionnez l'option <i>Ligne</i> . Cliquez sur le bouton <i>Géométrie</i> et définissez deux points définissant la route du convoi : Point P1 (0 ;3 ; 0) Point P2 (30 ;3 ; 0)	Définition de la route de la charge roulante.
Appliquer , Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Polyligne - contour</i> .

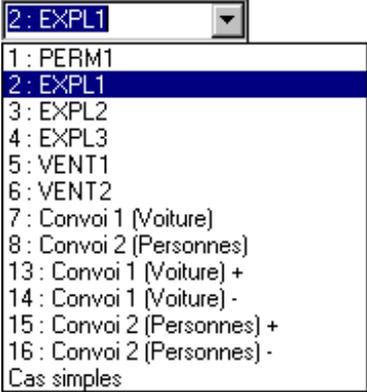
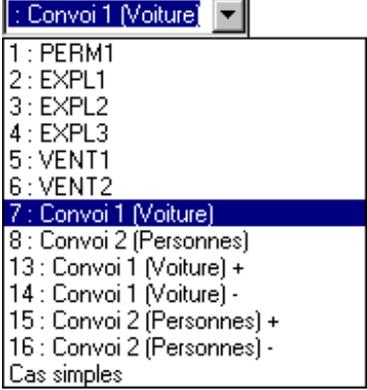
<p>ClicBG dans le champ <i>Pas</i> {1} Gardez les valeurs par défaut (0,0,-1), par conséquent la charge roulante sollicitera la structure dans la direction de l'axe Z, son orientation sera contraire à l'orientation de cet axe</p>	<p>Définition de pas du changement de la position de la charge roulante. Définition de la direction de l'action de la charge.</p>
<p>ClicBG sur l'option <i>Automatique</i> dans la zone <i>Plan de l'application</i></p>	<p>Sélection du plan de redistribution des forces définissant le convoi. Après la sélection de l'option <i>Automatique</i>, les forces seront positionnées automatiquement sur les éléments les plus proches pris entre tous les éléments de la structure</p>
<p>Appliquer , Fermer</p>	<p>Création du cas de charge roulante portant le nom <i>Charge roulante surfacique</i>, Fermeture de la boîte de dialogue <i>Polyligne - contour</i>.</p>

10.8.7. Analyse de la structure

<p><i>Outils / Préférences de l'affaire / Analyse de la structure</i></p>	<p>Ouverture de la boîte de dialogue <i>Préférences de l'affaire</i></p>
<p>Désactivez l'option <i>Figer automatiquement les résultats de calcul de la structure</i> OK, Fermer</p>	<p>Désactivation du verrouillage des résultats de calcul de la structure, fermeture de la boîte de dialogue <i>Préférences de l'affaire..</i></p>

	<p>Lancement des calculs de la structure définie. Quand les calculs auront été terminés, la barre de titre du système <i>Robot Millennium</i> affichera l'information <i>Résultats MEF : actuels</i>.</p>
---	--

10.8.8. Exploitation des résultats

<p>ClicBG dans le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium</p> <p>RESULTATS / RESULTATS - CARTOGRAPHIES</p>	<p>Sélection du bureau du système Robot Millennium prévu pour la présentation des résultats des calculs. L'écran sera divisé en deux parties : éditeur graphique dans lequel le modèle de la structure est affiché et la boîte de dialogue Cartographies.</p>
	<p>Sélection du deuxième cas de charge EXPL1.</p>
<p>Dans l'onglet <i>Détaillés</i>, activez l'option <i>z</i> (déplacement dans la direction de l'axe <i>z</i>) disponible à côté de l'option <i>Déplacements - u,w</i></p>	<p>Activation de l'affichage du déplacement normal au plan de l'élément fini.</p>
<p>Activez l'option <i>cartographies</i></p>	<p>Les résultats obtenus pour les éléments finis surfaciques seront présentés sous forme de cartographies.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Appliquer</p>	<p>Présentation des déplacements de la structure.</p>
	<p>Sélection du septième cas de charge Convoi 1 (Voiture).</p>

Dans l'onglet <i>Déformation</i> activez l'option <i>activée</i>	Après la sélection de cette option, la déformée de la structure sera affichée
ClicBG sur le bouton Appliquer	Présentation des déplacements de la structure.
<i>Chargements / Sélectionner composante du cas</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Composante du cas .
ClicBG sur le bouton Animation	Ouverture de la boîte de dialogue Animation .
ClicBG sur le bouton Démarrer	Après un clic sur le bouton Démarrer , le logiciel prépare l'animation de la grandeur sélectionnée suivant les paramètres donnés et lance l'exécution de l'animation.
Arrêter (ClicBG sur le bouton ) , fermer la barre d'outils.	Arrêt de l'animation du convoi.
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue Composante du cas .
Désactivez les options <i>Déplacements - u,w</i> et activez dans la boîte de dialogue Cartographies Appliquer	

10.8.9. Dimensionnement des barres de la structure

ClicBG dans le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION / BARRES	Sélection du bureau du système Robot Millennium prévu pour la définition des barres de la structure. L'écran sera divisé en trois parties : éditeur graphique dans lequel la vue de la structure est affichée, la boîte de dialogue Barres et le tableau Barres .
Passez à l'écran graphique, dans le menu principal, sélectionnez la commande : <i>Structure / Paramètres réglementaires / Type de barre acier/ aluminium</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Type de barre .

	<p>Ouverture de la boîte de dialogue <i>Définition des pièces – paramètres</i>. Dans cette boîte de dialogue vous pouvez modifier les paramètres du type de barre pour la norme acier française CM66.</p>
<p>Dans le champ <i>Coeff. de longueur de flamb.</i> y cliquez sur le bouton</p> 	<p>Ouverture de la boîte de dialogue <i>Modèles de flambement</i>, cette boîte de dialogue permet de modifier la longueur de flambement des barres.</p>
<p>Sélectionnez le dernier bouton au deuxième rang</p>  <p>OK</p>	<p>Affectation du modèle de flambement sélectionné et du coefficient de longueur de flambement correspondant, fermeture de la boîte de dialogue <i>Modèles de flambement</i>.</p>
<p>Dans le champ <i>Coeff. de longueur de flamb.</i> z cliquez sur le bouton</p> 	<p>Ouverture de la boîte de dialogue <i>Modèles de flambement</i>, cette boîte de dialogue permet de modifier la longueur de flambement des barres.</p>
<p>Sélectionnez le dernier bouton au deuxième rang</p>  <p>OK</p>	<p>Affectation du modèle de flambement sélectionné et du coefficient de longueur de flambement correspondant, fermeture de la boîte de dialogue <i>Modèles de flambement</i>.</p>
<p>Dans le champ <i>Type de barre</i> saisissez : <i>Membrure</i></p>	<p>Affectation du nom au nouveau type de barre.</p>
<p>Enregistrer, Fermer</p>	<p>Enregistrement des paramètres actuels de la barre <i>Membrure</i>, Fermeture de la boîte de dialogue <i>Définition des pièces – paramètres</i>.</p>
<p>ClicBG sur l'option <i>Lignes / Barres</i> dans la boîte de dialogue <i>Type de la barre</i>, passez à l'écran graphique et, en maintenant enfoncée la touche CTRL, sélectionnez toutes les barres de la membrure inférieure et supérieure.</p>	<p>Sélection des barres formant les membrures des treillis</p>
<p>Appliquer</p>	<p>Affectation du type de barre actuel (<i>Membrure</i>) aux éléments du treillis sélectionnés.</p>

	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Définition des pièces – paramètres</i> qui permet de modifier les paramètres de type de barre pour la norme française CM66.
Dans le champ <i>Coeff. de longueur de flamb.</i> y cliquez sur le bouton 	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Modèles de flambement</i> , cette boîte de dialogue permet de modifier la longueur de flambement des barres.
Sélectionnez le premier bouton dans la troisième rangée  OK	Affectation du modèle de flambement sélectionné et du coefficient de longueur de flambement correspondant, fermeture de la boîte de dialogue <i>Modèles de flambement</i> .
Dans le champ <i>Coeff. de longueur de flamb.</i> z cliquez sur le bouton 	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Modèles de flambement</i> , cette boîte de dialogue permet de modifier la longueur de flambement des barres.
Sélectionnez le premier bouton dans la troisième rangée  OK	Affectation du modèle de flambement sélectionné et du coefficient de longueur de flambement correspondant, fermeture de la boîte de dialogue <i>Modèles de flambement</i> .
Dans le champ <i>Type de la barre</i> saisissez : Diagonales	Affectation du nom pour le nouveau type de barre.
Enregistrer, Fermer	Enregistrement des paramètres actuels pour le type de barre Diagonales. Fermeture de la boîte de dialogue <i>Définition des pièces – paramètres</i> .
ClicBG sur l'option <i>Lignes / Barres</i> dans la boîte de dialogue <i>Type de barre</i> , passez à l'écran graphique et sélectionnez toutes les diagonales des treillis en maintenant enfoncée la touche CTRL.	Sélection des barres constituant les membrures des treillis.
Appliquer , Fermer	Affectation du type de barre actuel (Diagonales) aux éléments du treillis sélectionnés. Fermeture de la boîte de dialogue <i>Type de barre</i> .

Dimensionnement de la structure

Norme acier française : CM66

<p>ClicBG dans le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium DIMENSIONNEMENT / DIMENSIONNEMENT ACIER / ALUMINIUM</p>	<p>Sélection du bureau du système Robot Millennium prévu pour le dimensionnement des structures acier ou aluminium. L'écran sera divisé en trois parties : l'éditeur graphique présentant la vue sur la structure et les boîtes de dialogue : Définitions et Calculs.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Nouveau dans l'onglet <i>Familles</i> qui se trouve dans la boîte de dialogue Définitions</p>	<p>Début de la définition de la première famille de barres.</p>
<p>Définissez la première famille de barres à paramètres suivants : Numéro : <i>1</i> Nom : <i>Membrures supérieures</i> Liste de barres : ClicBG dans la fenêtre graphique présentant le modèle de la structure. Maintenez enfoncée la touche CTRL et sélectionnez les barres des membrures supérieures des treillis. Matériau : <i>Acier défau</i></p>	<p>Définition de la première famille de barres regroupant les éléments constituant les membrures supérieures des treillis.</p>
<p>Enregistrer</p>	<p>Enregistrement des paramètres de la première famille de barres.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Nouveau dans l'onglet <i>Familles</i> qui se trouve dans la boîte de dialogue Définitions</p>	<p>Début de la définition de la deuxième famille de barres.</p>

<p>Définissez la deuxième famille de barres à paramètres suivants :</p> <p>Numéro : 2</p> <p>Nom : <i>Membrures inférieures</i></p> <p>Liste de barres : ClicBG dans la fenêtre graphique présentant le modèle de la structure.</p> <p>Maintenez enfoncée la touche CTRL et sélectionnez les barres des membrures inférieures des treillis.</p> <p>Matériau : <i>Acier défau</i></p>	<p>Définition de la première famille de barres regroupant les éléments constituant les membrures inférieures des treillis.</p>
<p>Enregistrer</p>	<p>Enregistrement des paramètres de la deuxième famille de barres.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Nouveau dans l'onglet <i>Familles</i> de la boîte de dialogue <i>Définitions</i></p>	<p>Début de la définition de la troisième famille de barres.</p>
<p>Définissez la troisième famille de barres à paramètres suivants :</p> <p>Numéro : 3</p> <p>Nom : <i>Diagonales</i></p> <p>Liste de barres : ClicBG dans la fenêtre graphique présentant le modèle de la structure.</p> <p>Maintenez enfoncée la touche CTRL et sélectionnez les diagonales des deux treillis.</p> <p>Matériau : <i>Acier défau</i></p>	<p>Définition de la troisième famille de barres regroupant les diagonales des treillis.</p>
<p>Enregistrer</p>	<p>Enregistrement des paramètres de la troisième famille de barres.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Nouveau dans l'onglet <i>Familles</i> de la boîte de dialogue <i>Définitions</i></p>	<p>Début de la définition de la quatrième famille de barres.</p>

<p>Définissez la quatrième famille de barres à paramètres suivants :</p> <p>Numéro : 4</p> <p>Nom : <i>Contreventements</i></p> <p>Liste de barres : ClicBG dans la fenêtre graphique présentant le modèle de la structure.</p> <p>Maintenez enfoncée la touche CTRL et sélectionnez les barres de contreventement entre les treillis.</p> <p>Matériau : <i>Acier défaut</i></p>	<p>Définition de la quatrième famille de barres regroupant les barres formant les contreventements des treillis.</p>
<p>Enregistrer</p>	<p>Enregistrement des paramètres de la quatrième famille de barres.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Nouveau dans l'onglet <i>Familles</i> de la boîte de dialogue <i>Définitions</i></p>	<p>Début de la définition de la cinquième famille de barres.</p>
<p>Définissez la cinquième famille de barres à paramètres suivants :</p> <p>Numéro : 5</p> <p>Nom : <i>Poutres transversales</i></p> <p>Liste de barres : ClicBG dans la fenêtre graphique présentant le modèle de la structure.</p> <p>Maintenez enfoncée la touche CTRL et sélectionnez les barres transversales entre les deux treillis.</p> <p>Matériau : <i>Acier</i></p>	<p>Définition de la cinquième famille de barres regroupant les poutres transversales entre les membrures supérieures des treillis.</p>
<p>Enregistrer</p>	<p>Enregistrement des paramètres de la cinquième famille de barres.</p>
<p>Dans la boîte de dialogue <i>Calculs</i> activez l'option <i>Dimensionnement des familles</i></p>	<p>Après l'activation de cette option, le dimensionnement des familles sera effectué.</p> <p>Attention : pour lancer les calculs en mode de dimensionnement, au moins une famille de barres doit être définie</p>
<p>ClicBG sur le bouton Liste disponible dans la boîte de dialogue <i>Calculs</i>, à côté de l'option <i>Dimensionnement des familles</i></p>	<p>Ouverture de la boîte de dialogue <i>Sélection de familles</i>.</p>

<p>Cliquez sur le bouton Tout disponible dans la partie supérieure de la boîte de dialogue <i>Sélection de familles</i></p> <p>Fermer</p>	<p>Sélection de toutes les familles,</p> <p>Fermeture de la boîte de dialogue <i>Sélection de familles</i>.</p>
<p>Activer l'option : <i>Optimisation</i> dans le champ <i>Options de vérification</i> et l'option : <i>Ultime</i> dans le champ <i>Etat limite</i></p> <p>Désactivez l'option <i>Service</i> dans le champ <i>Etat limite</i></p>	
<p>Cliquez sur le bouton Options</p> <p>Activez l'option <i>Poids</i></p>	<p>Ouverture de la boîte de dialogue <i>Options d'optimisation</i>. Après la sélection de l'option d'optimisation <i>Poids</i>, l'optimisation prendra en compte le poids du profilé, par conséquent, parmi les profilés satisfaisant les dispositions réglementaires, les profilés les plus légers seront recherchés dans la famille donnée.</p>
<p>OK</p>	<p>Fermeture de la boîte de dialogue <i>Options d'optimisation</i>.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Sélectionner cas de charge disponible dans la boîte de dialogue <i>Calculs</i></p>	<p>Ouverture de la boîte de dialogue <i>Sélection des cas</i>.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Tout situé au dessus du bouton Précédente, Dans le champ d'édition, la liste 1A8 13A16 sera affichée.</p> <p>Fermer</p>	<p>Sélection de tous les cas de charge,</p> <p>Fermeture de la boîte de dialogue <i>Sélection des cas</i>.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Calculer</p>	<p>Début du dimensionnement des familles sélectionnées. Le logiciel affiche la boîte de dialogue <i>Résultats détaillés</i> représentée sur la figure ci-dessous.</p>

CM66 - Dimensionnement des familles [ELU] 1A5

Résultats Messages

Pièce	Profil	Matériau	Lay	Laz	Ratio	Cas
Famille : 1 Membres supérieures						
16	HEA 120	ACIER	55.20	89.44	1.82	1 PERM1
	HEA 140		47.08	76.70	0.76	
	HEA 160		41.10	67.76	0.55	
Famille : 2 Membres inférieures						
41	HEA 100	ACIER	66.58	107.56	0.13	1 PERM1
	HEA 120		55.20	89.44	0.10	
Famille : 3 Diagonales						
72	HEA 140	ACIER	72.82	118.63	1.31	1 PERM1
	HEA 160		63.57	104.81	0.76	
	HEA 180		56.07	92.39	0.53	
Famille : 4 Contreventements						
88	IPE 270	ACIER	59.76	221.91	0.01	1 PERM1
	IPE 300		53.83	200.27	0.01	
	IPE 330		48.93	189.07	0.01	
Famille : 5 Poutres transversales						
103	IPE 240	ACIER	60.15	222.82	0.05	1 PERM1
	IPE 270		53.45	198.48	0.04	
	IPE 300		48.15	179.12	0.03	

Note de calcul

Fermer

Aide

Changer tout

Points de calcul
 division : n = 3
 extrêmes : aucun
 additionnels : aucun

ClicBG sur le bouton **Changer tout** affiché dans la boîte de dialogue représentée ci-dessus

Remplacement des profilés actuels par les profilés calculés pour toutes les familles des barres :

- pour la membrure supérieure, remplacement de HEA 300 par HEA 140,
- pour la membrure inférieure, remplacement de HEA 300 par HEA 100,
- pour les diagonales, remplacement de HEA 300 par HEA 160
- pour les contreventements, remplacement de IPE 100 par IPE 300
- pour les poutres transversales, remplacement de IPE 300 par IPE 270

Après le remplacement des profilés, la barre de titre de **Robot Millennium** affiche l'information *Résultats MEF - non actuels*.

Fermer

Fermeture de la fenêtre des résultats simplifiés *Dimensionnement familles*.



Lancement des calculs de la structure définie. Une fois les calculs terminés, la barre de titre de **Robot Millennium** affichera l'information *Résultats MEF : actuels*.

ClicBG sur le bouton **Calculer** dans la boîte de dialogue *Calculs*

Début du dimensionnement des familles sélectionnées. Le logiciel affiche la fenêtre *Résultats simplifiés* représentée sur la figure ci-dessous.

Pièce	Profil	Matériau	Lay	Laz	Ratio	Cas
Famille : 1 Membres supérieures						
16	HEA 100	ACIER	66.58	107.56	67.69	1 PERM1
	HEA 120		55.20	89.44	0.86	
	HEA 140		47.08	76.70	0.54	
Famille : 2 Membres inférieures						
2	HEA 100	ACIER	66.58	107.56	0.02	1 PERM1
	HEA 120		55.20	89.44	0.02	
Famille : 3 Diagonales						
71	HEA 120	ACIER	85.38	138.34	2.10	1 PERM1
	HEA 140		72.82	118.63	0.40	
	HEA 160		63.57	104.81	0.27	
Famille : 4 Contreventements						
88	IPE 270	ACIER	59.76	221.91	0.08	1 PERM1
	IPE 300		53.83	200.27	0.06	
	IPE 330		48.93	189.07	0.05	
Famille : 5 Poutres transversales						
102	IPE 240	ACIER	60.15	222.82	0.10	1 PERM1
	IPE 270		53.45	198.48	0.08	
	IPE 300		48.15	179.12	0.07	

ClicBG sur le bouton **Changer tout** disponible dans la fenêtre représentée sur la figure ci-dessus

Remplacement des profilés actuels par les profilés calculés pour toutes les familles des barres

- pour la membrure supérieure . remplacement de HEA 140 par HEA 120,
- pour la membrure inférieure – aucun changement,
- pour les diagonales, remplacement de HEA 160 par HEA 140
- pour les contreventements – aucun changement,
- pour les poutres transversales – aucun changement

Après le remplacement des profilés, la barre de titre de *Robot Millennium* affiche l'information *Résultats MEF - non actuels*.

Fermer

Fermeture de la fenêtre de résultats simplifiés *Dimensionnement familles*.



Lancement des calculs de la structure définie. Une fois les calculs terminés, la barre de titre de *Robot Millennium* affichera l'information *Résultats MEF : actuels*.

ClicBG sur le bouton **Calculer**

Début du dimensionnement des familles sélectionnées.
Le logiciel affiche la fenêtre **Résultats simplifiés** représentée sur la figure ci-dessous.

Pièce	Profil	Matériau	Lay	Laz	Ratio	Cas
Famille : 1 Membrures supérieures						
16	HEA 100	ACIER	66.58	107.56	64.98	1 PERM1
	HEA 120		55.20	89.44	0.80	
	HEA 140		47.08	76.70	0.51	
Famille : 2 Membrures inférieures						
2	HEA 100	ACIER	66.58	107.56	0.02	1 PERM1
	HEA 120		55.20	89.44	0.02	
Famille : 3 Diagonales						
71	HEA 120	ACIER	85.38	138.34	1.52	1 PERM1
	HEA 140		72.82	118.63	0.37	
	HEA 160		63.57	104.81	0.26	
Famille : 4 Contreventements						
88	IPE 270	ACIER	59.76	221.91	0.09	1 PERM1
	IPE 300		53.83	200.27	0.07	
	IPE 330		48.93	189.07	0.06	
Famille : 5 Poutres transversales						
102	IPE 240	ACIER	60.15	222.82	0.11	1 PERM1
	IPE 270		53.45	198.48	0.09	
	IPE 300		48.15	179.12	0.08	

Fermer

Fermeture de la fenêtre de résultats simplifiés
Dimensionnement familles.

Vérification des barres

ClicBG dans le champ de sélection de bureaux du système **Robot Millennium**

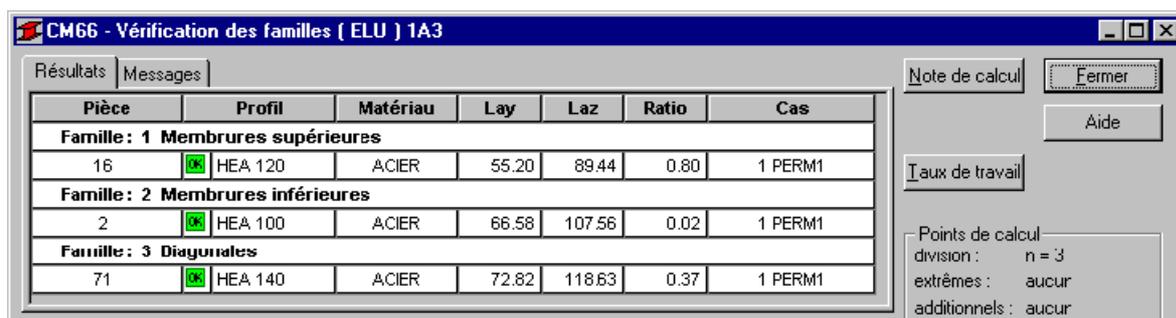
**DIMENSIONNEMENT /
DIMENSIONNEMENT
ACIER / ALUMINIUM**

Sélection du bureau du système **Robot Millennium** prévu pour le dimensionnement des structures acier (aluminium).

ClicBG sur le bouton **Liste** disponible dans la boîte de dialogue **Calculs** à côté de l'option **Vérification des familles**

Ouverture de la boîte de dialogue **Sélection de familles.**

<p>Dans l'onglet <i>Familles</i>, maintenez enfoncée la touche CTRL et sélectionnez les familles Diagonales, Membrures inférieures et Membrures supérieures.</p> <p>Cliquez sur le bouton , par conséquent, la liste 1A3 sera affichée dans le champ d'édition. Fermer</p>	<p>Sélection de familles à vérifier.</p> <p>Fermeture de la boîte de dialogue <i>Sélection de familles</i>.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Sélectionner cas de charge disponible dans la boîte de dialogue <i>Calculs</i></p>	<p>Ouverture de la boîte de dialogue <i>Sélection des cas</i>.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Tout affiché au dessus du bouton Précédente. La liste 1A8 13A16 est affichée dans le champ d'édition. Fermer</p>	<p>Sélection de tous les cas de charge.</p> <p>Fermeture de la boîte de dialogue <i>Sélection des cas</i>.</p>
<p>ClicBG sur le bouton Calculer</p>	<p>Début du dimensionnement des familles sélectionnées. Le logiciel affiche la fenêtre <i>Résultats simplifiés</i> représentée sur la figure ci-dessous.</p>
<p>Fermer</p>	



Pièce	Profil	Matériau	Lay	Laz	Ratio	Cas
Famille: 1 Membrures supérieures						
16	HEA 120	ACIER	55.20	89.44	0.80	1 PERM1
Famille: 2 Membrures inférieures						
2	HEA 100	ACIER	66.58	107.56	0.02	1 PERM1
Famille: 3 Diagonales						
71	HEA 140	ACIER	72.82	118.63	0.37	1 PERM1

Note de calcul: Fermer

Aide

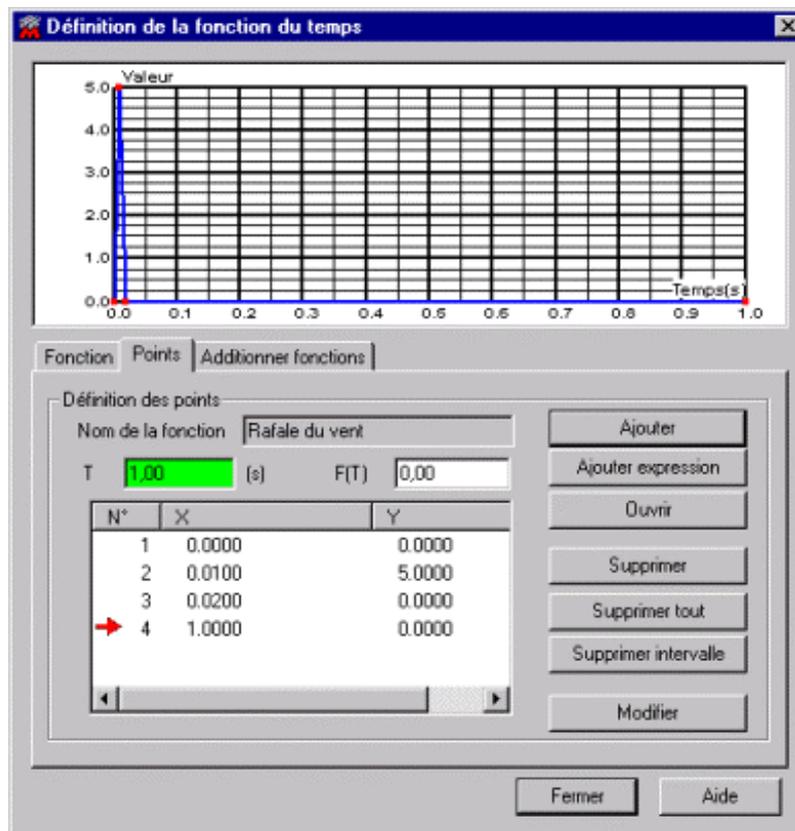
Taux de travail

Points de calcul:
 division: n = 3
 extrêmes: aucun
 additionnels: aucun

10.8.10. Analyse temporelle de la structure

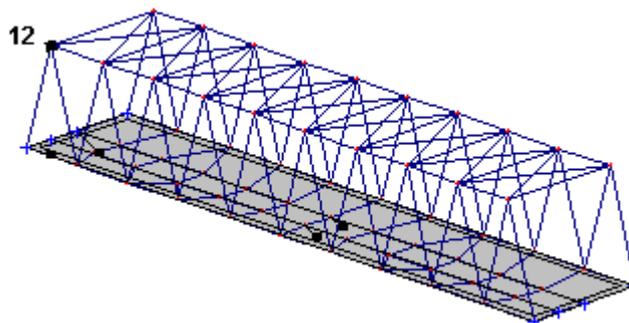
ClicBG dans le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION / GEOMETRIE	Sélection du bureau initial du système Robot Millennium .
Dans le menu sélectionnez la commande : <i>Analyse / Types d'analyse</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Options de calcul prévue pour la définition des nouveaux cas de charge (analyse modale, spectrale, sismique etc.), modification du type de cas de charge et des paramètres du cas de charge sélectionné.
ClicBG sur le bouton Définir un nouveau cas	Ouverture de la boîte de dialogue Définition d'un nouveau cas prévue pour la définition des nouveaux cas dynamiques pour la structure étudiée.
ClicBG sur le bouton OK dans la boîte de dialogue Définition d'un nouveau cas	Ouverture de la boîte de dialogue Paramètres de l'analyse modale . Cette boîte de dialogue sert à définir les nouveaux cas dynamiques pour la structure étudiée.
Dans le champ <i>Méthode</i> , sélectionnez l'option <i>Lanczos</i> . Dans le champ <i>Paramètres</i> activez l'option <i>Calculs de l'amortissement (PS 92)</i> ; dans le champ <i>Nombre de modes</i> , saisissez 3.	Sélection de la méthode d'analyse de la structure. Sélection du nombre maximale de modes propres recherchés. Prise en compte de l'amortissement dans l'analyse modale de la structure.
ClicBG sur le bouton OK	Ajout du nouveau cas de charge (analyse <i>Modale</i>) à la liste de cas de charge.
ClicBG sur le bouton Définir un nouveau cas	Ouverture de la boîte de dialogue Définition d'un nouveau cas .
Sélectionnez l'option <i>Analyse temporelle</i> , ClicBG sur le bouton OK dans la boîte de dialogue Définition d'un nouveau cas	Ouverture de la boîte de dialogue Analyse temporelle prévue pour la définition des paramètres de l'analyse temporelle pour le nouveau cas d'analyse dynamique de la structure.
ClicBG sur le bouton Définition de la fonction	Ouverture de la boîte de dialogue Définition de la fonction du temps .

<p>Dans l'onglet <i>Fonction</i>, dans la zone <i>Fonctions définies</i> saisissez le nom <i>Rafale de vent</i> ClicBG sur le bouton Ajouter</p>	<p>Affectation du nom <i>Rafale du vent</i> pour la fonction du temps. Dans la boîte de dialogue, deux nouveaux onglets seront affichés : <i>Points</i> et <i>Additionner fonctions</i>.</p>
<p>Dans l'onglet <i>Points</i>, définissez les points successifs de la fonction du temps, pour cela, saisissez les valeurs suivantes : T = 0.00; F(T) = 0.00 Ajouter T = 0.01; F(T) = 5.00 Ajouter T = 0.02; F(T) = 0.00 Ajouter T = 1.00; F(T) = 0.00 Ajouter Fermer</p>	<p>La définition de la fonction du temps est effectuée par la saisie des valeurs appropriées pour l'instant T [s] et par la saisie de la valeur correspondante de la fonction sans unité F(T). Fermeture de la boîte de dialogue <i>Définition de la fonction du temps</i>.</p>



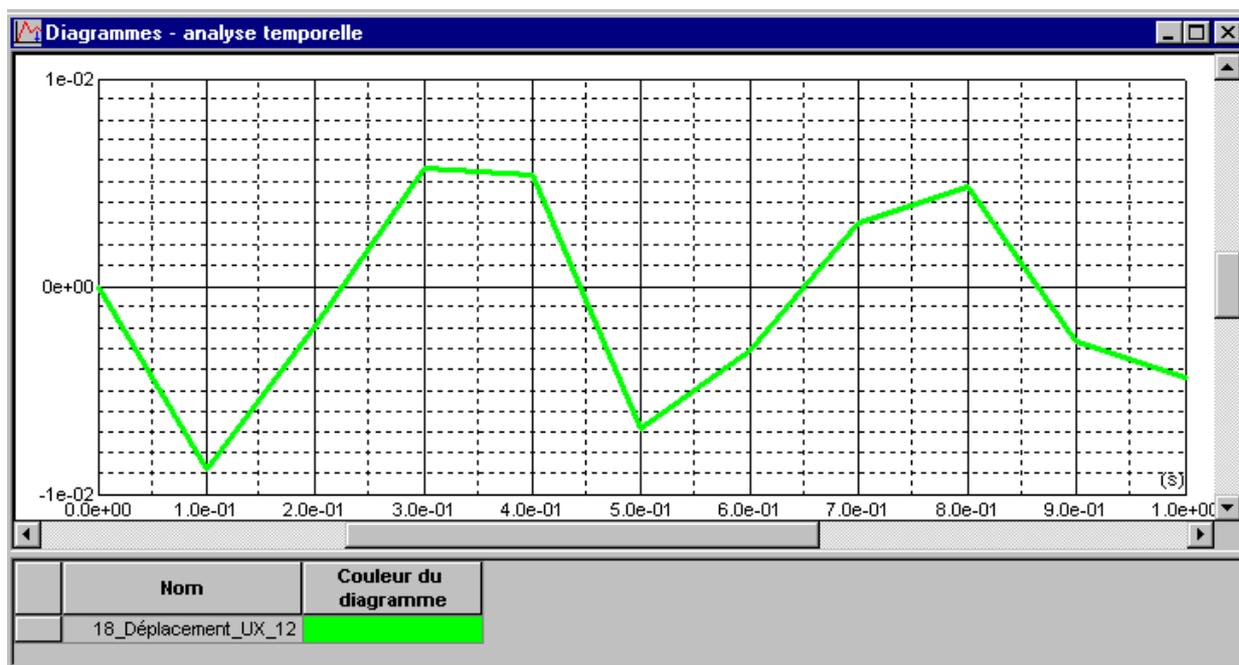
<p>Dans la zone <i>Equations temporelles</i> disponible dans la boîte de dialogue <i>Analyse temporelle</i> sélectionnez le cas <i>VENTI</i> dans la liste de cas de charge disponibles.</p>	<p>Définition du numéro du cas sélectionné.</p>
--	---

ClicBG sur le bouton Ajouter, OK	Le cas statique utilisé dans l'analyse temporelle est affecté.
<i>Outils / Préférences de l'affaire / Analyse de la structure</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Préférences de l'affaire
Sélectionnez l'option <i>Algorithme DSC</i> OK	Sélection de l'algorithme DSC pour les calculs, fermeture de la boîte de dialogue Préférences de l'affaire
ClicBG sur le bouton Calculer	Lancement des calculs de la structure pour les cas de charge définis
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue Options de calcul.
<i>Résultats / Avancé/ Analyse temporelle / Diagrammes</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Analyse temporelle.
ClicBG sur le bouton Ajouter	Ouverture de la boîte de dialogue Analyse temporelle prévue pour la définition des diagrammes des grandeurs calculées lors de l'analyse temporelle.
Dans l'onglet <i>Nœuds</i> sélectionnez les options suivantes : <i>Déplacements, UX</i>	Sélection du déplacement dans la direction UX.
Dans le champ <i>Point</i> saisissez le numéro du nœud (12)	Sélection du nœud n° 12 (voir la figure ci-dessous), pour lequel le déplacement sera présenté.



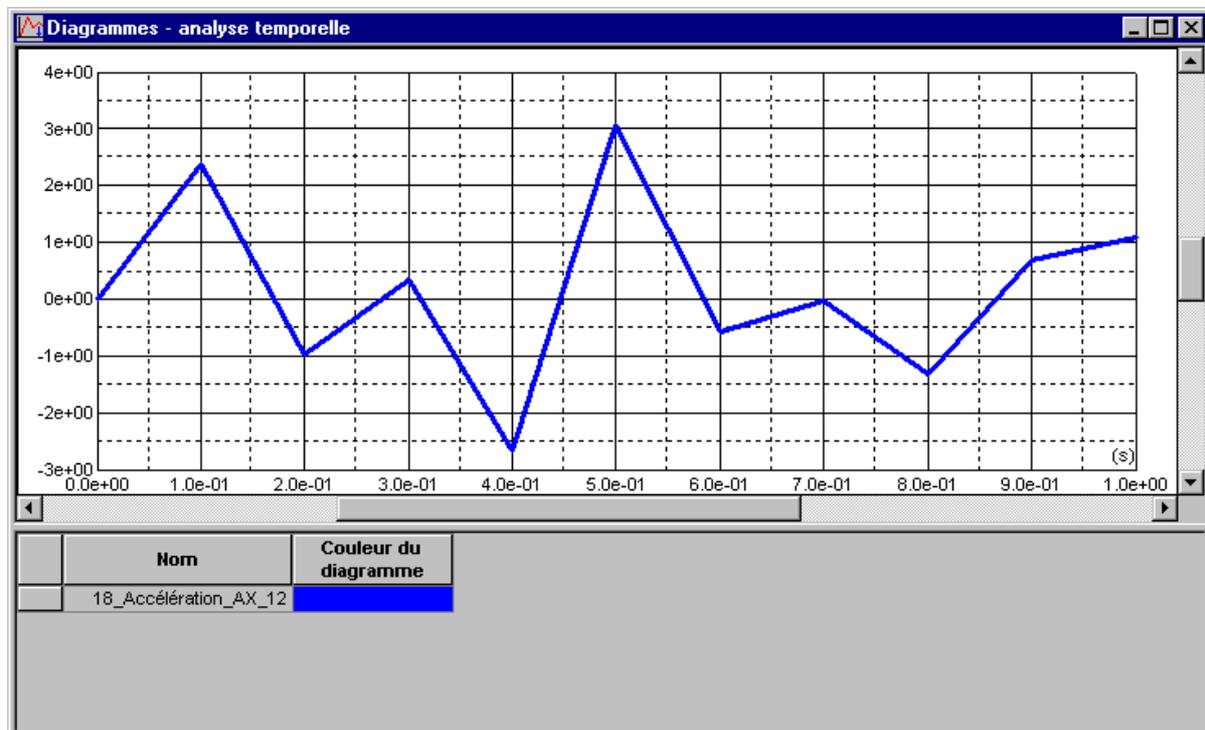
Ajouter, Fermer	Le panneau <i>Diagrammes disponibles</i> de la boîte de dialogue <i>Analyse temporelle</i> affichera la valeur du déplacement définie portant le nom standard <i>Déplacement_UX_12</i> , Fermeture de la boîte de dialogue <i>Définition du diagramme.</i>
------------------------	---

Sélectionnez <i>Déplacement_UX_12</i> (il sera mis en surbrillance), Cliquez sur le bouton	Transfert du diagramme sélectionné dans le panneau <i>Diagrammes affichés</i> .
Activez l'option <i>ouvrir nouvelle fenêtre et</i> cliquez sur le bouton Appliquer	Le logiciel affichera le diagramme <i>Déplacement_UX_12</i> représenté sur la figure ci-dessous.



Sélectionner le déplacement UX (dans la zone droite), et ensuite cliquer le bouton	Suppression du diagramme de la zone droite.
CLICBG SUR LE BOUTON Ajouter	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Définition du diagramme</i> qui sert à définir les diagrammes des grandeurs calculés lors de l'analyse temporelle.
DANS L'ONGLET <i>Nœuds</i> sélectionnez les options suivantes : <i>Accélération,</i> <i>UX</i>	Sélection de l'accélération dans la direction UX.
Dans le champ <i>Point</i> saisissez le numéro du nœud (12)	Sélection du nœud n° 12.

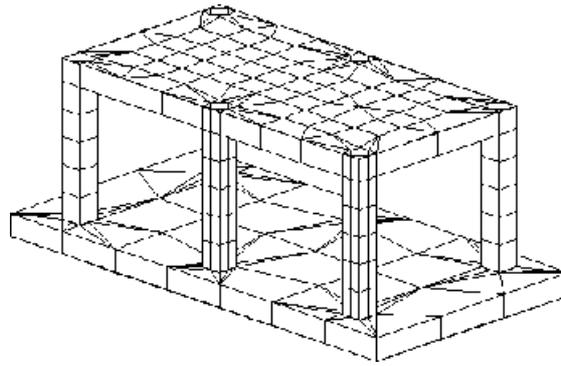
<p>Ajouter, Fermer</p>	<p>Dans la boîte de dialogue <i>Analyse temporelle</i>, dans la zone <i>Diagrammes disponibles</i>, le logiciel affichera le déplacement avec le nom standard <i>Accélération_AX_12</i>, Fermeture de la boîte de dialogue <i>Définition du diagramme</i>.</p>
<p>Sélectionner <i>Accélération_AX_12</i> (mis en surbrillance), et ensuite cliquer sur le bouton </p>	<p>Déplacement du diagramme sélectionné vers la zone droite.</p>
<p>Activez l'option <i>ouvrir nouvelle fenêtre et</i> cliquez sur le bouton Appliquer</p>	<p>Le logiciel affichera le diagramme <i>Accélération_AX_12</i> présenté sur la figure ci-dessous.</p>



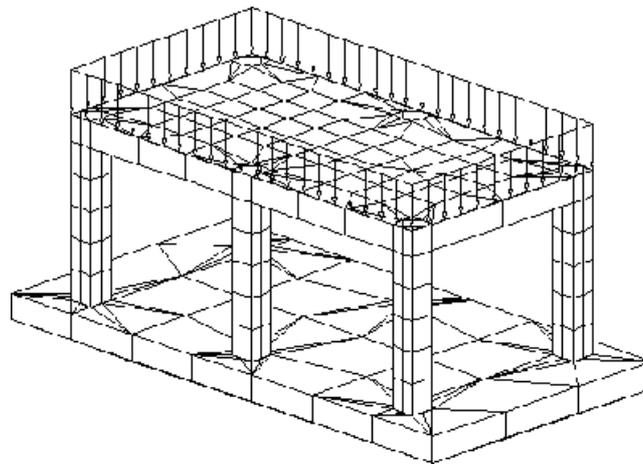
10.9. Massif encastré

L'exemple ci-dessous présente la définition, l'analyse et le dimensionnement d'un massif encastré étant le support pour une machine (voir la figure ci-dessous).

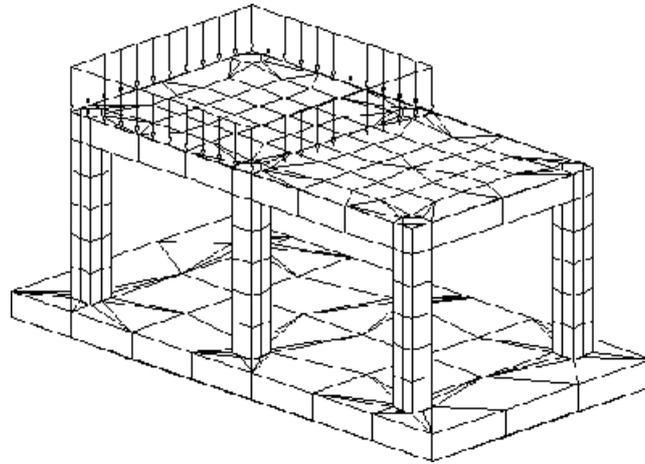
Unités de données : (m) et (kN).



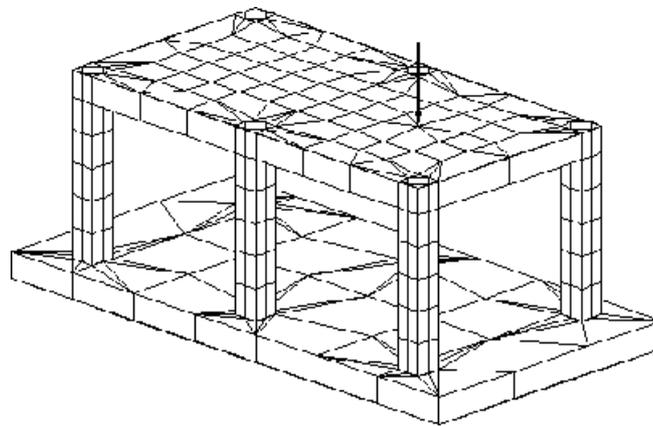
La structure est sollicitée par quatre cas de charge dont trois sont représentés sur les figures ci-dessous.



Cas 2 – EXPL1



Cas 3 – EXPL2



Cas 4 – EXPL3

Dans la description de la définition de la structure les conventions suivantes seront observées :

- une icône quelconque signifie un clic sur cette icône effectué avec le bouton gauche de la souris,
- { x } signifie la sélection (saisie) de l'option « x » dans la boîte de dialogue ,
- ClicBG et ClicBD - ces abréviations sont utilisées respectivement pour le clic sur le bouton gauche et sur le bouton droit de la souris.

Afin de commencer la définition de la structure, lancez le système **Robot Millennium** (cliquez sur l'icône correspondant ou sélectionnez la commande dans le menu affiché dans la barre des tâches).

Dans la fenêtre de l'assistant affichée par **Robot Millennium** (elle est décrite dans le chapitre



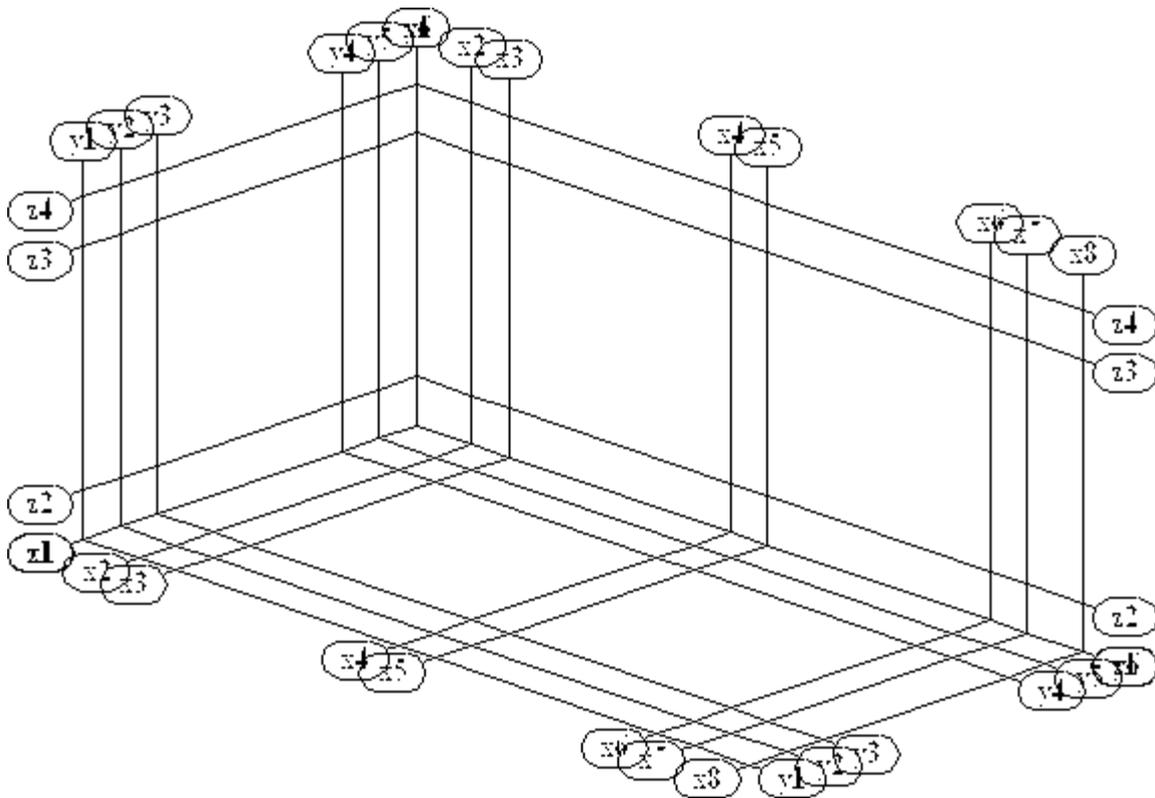
2.1), sélectionnez le dernier icône au deuxième rang (**Modélisation en volumiques**).

10.9.1. Définition du modèle de la structure

Définition des lignes de construction

ACTION	DESCRIPTION
<i>Structure / Lignes de construction</i>	Début de la définition des lignes de construction. Le logiciel affiche la boîte de dialogue Lignes de construction .
<p>Dans l'onglet X, sélectionnez l'option <i>Définir</i> disponible dans la liste <i>Libellé</i>, saisissez x1 dans le champ d'édition et, ensuite, saisissez les coordonnées définissant la position des lignes de construction :</p> <p>(0.0) Insérer, (1.0) Insérer, (1.5) Insérer, (5.0) Insérer, (5.5) Insérer, (9.0) Insérer, (9.5) Insérer, (10.5) Insérer</p>	Définition des paramètres des lignes de construction (x1, x2, x3...).
<p>Dans l'onglet Y, sélectionnez l'option <i>Définir</i> disponible dans la liste <i>Libellé</i>, saisissez y1 dans le champ d'édition et, ensuite, saisissez les coordonnées définissant la position des lignes de construction :</p> <p>(0.0) Insérer, (0.5) Insérer, (1.0) Insérer, (4.5) Insérer, (5.0) Insérer, (5.5) Insérer</p>	Définition des paramètres de la ligne de construction (y1, y2, y3...).

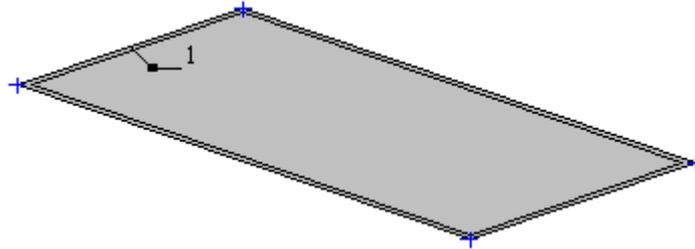
<p>Dans l'onglet Z, sélectionnez l'option <i>Définir</i> disponible dans la liste <i>Libellé</i>, saisissez z1 dans le champ d'édition et, ensuite, saisissez les coordonnées définissant la position des lignes de construction :</p> <p>(0.0) Insérer, (0.5) Insérer, (3.5) Insérer, (4.0) Insérer</p>	<p>Définition des paramètres de la ligne de construction (z1, z2, z3...).</p>
<p>Appliquer, Fermer</p>	<p>Affichage des lignes de construction définies, fermeture de la boîte de dialogue <i>Lignes de construction</i>.</p>
<p><i>Affichage / Projection / 3D xyz</i></p>	<p>Vue axonométrique de la structure.</p>
	<p>Rétablissement de la vue initiale du modèle de la structure de sorte que la structure entière soit affichée à l'écran (voir la figure ci-dessous).</p>



10.9.2. Base inférieure du massif encastré

<i>Affichage / Projection / Xy</i>	Sélection de la projection XY.
Dans le menu, sélectionnez la commande : <i>Structure / Objets / Polyligne – contour</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Polyligne - contour</i> permettant la définition de différents types de lignes (lignes, polygones, contours).
ClicBG sur le bouton Géométrie	Affichage de la zone permettant la définition des coordonnées du contour.
Positionner le curseur dans le champ mis en surbrillance en vert, passez à l'écran graphique et, ensuite, sélectionnez les points définissant le contour (les points d'intersection des lignes de construction respectives) : x1 – y1, x8 – y1, x8 – y6, x1 – y6 Appliquer, Fermer	Définition du contour, fermeture de la boîte de dialogue <i>Polyligne - contour</i> .
	Rétablissement de la vue initiale du modèle de la structure de sorte que la structure entière soit affichée à l'écran.
<i>Structure / Panneaux</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Panneau</i> permettant la définition des panneaux dans la structure.
Activez l'option <i>Face</i> disponible dans la zone <i>Type de contour</i>	Définit l'objet en tant que face (sans affecter les caractéristiques comme type de ferrailage ou épaisseur), cela permet d'utiliser l'objet défini pour la création d'une structure volumique.
ClicBG sur l'option <i>point interne</i> disponible dans la zone <i>Mode de création</i> ; passez à l'écran graphique et sélectionnez un point situé à l'intérieur du contour	Affectation des caractéristiques au panneau sélectionné.
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Panneau</i> .

<i>Affichage / Projection / 3D xyz</i>	Sélection de la vue axonométrique de la structure. La structure définie est représentée sur la figure ci-dessous.
--	--

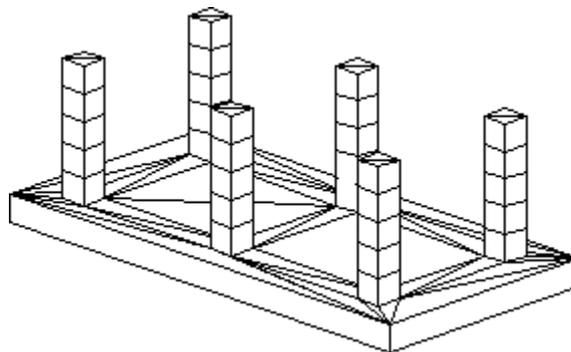


 Dans le champ d'édition, saisissez 1 , Appuyez la touche Entrée du clavier	Sélection du panneau défini (n° 1) ; l'objet sélectionné change de couleur en rouge.
<i>Structure / Objets / Extrusion</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Extrusion permettant la création des simples éléments volumiques à la suite de l'extrusion des éléments 2D définis au préalable.
Activez l'option <i>ll</i> à l'axe, sélectionnez l'axe Z	Permet d'extruder l'objet sélectionné suivant l'axe parallèle à l'axe Z du repère globale.
Dans le champ d'édition, saisissez la valeur 0.5 définissant la longueur du vecteur d'extrusion.	Définition de la longueur du vecteur d'extrusion.
Dans le champ <i>Divisions</i> , saisissez 1	Définition du nombre de divisions pour l'extrusion de l'objet sélectionné.
Appliquer, Fermer	Extrusion de l'objet 2D sélectionné du vecteur d'extrusion saisi suivant l'axe parallèle à l'axe Z du repère global.

10.9.3. Poteaux

<i>Affichage / Saisie 3D / Plan de travail (global)</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Plan de travail permettant de définir le plan dans lequel sera effectuée la création ou la modification de la structure.
Passez à l'écran graphique et sélectionnez graphiquement le point d'intersection des axes suivants : x1 – y1 – z2, et ensuite cliquez sur Appliquer	Définition du plan de travail global. Les coordonnées dans la boîte de dialogue Plan de travail changent automatiquement en (0.00 ; 0.00 ; 0.50).
Fermez la boîte de dialogue Plan de travail par un clic sur le bouton 	Fermeture de la boîte de dialogue Plan de travail .
<i>Affichage / Projection / Xy</i>	Sélection de la projection XY pour la coordonnée Z définie (Z = 0.5). Uniquement les éléments dans ce plan seront visibles.
<i>Structure / Objets / Cube</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Cube permettant la définition du cube.
Dans le champ <i>Méthode de définition</i> , sélectionnez l'option <i>deux points</i>	Le rectangle étant la base du cube sera défini par deux points.
Passez à l'écran graphique et sélectionnez deux sommets opposés du rectangle qui seront définis par les points d'intersection des axes suivants : x2 – y2, x3 – y3, et ensuite, dans le champ <i>Hauteur</i> saisissez 3, Appliquer, Fermer	Création du cube et fermeture de la boîte de dialogue.
 Dans le champ d'édition, saisissez 2, appuyez la touche Entrée du clavier	Sélection de l'élément n° 2 (cube dernièrement défini).

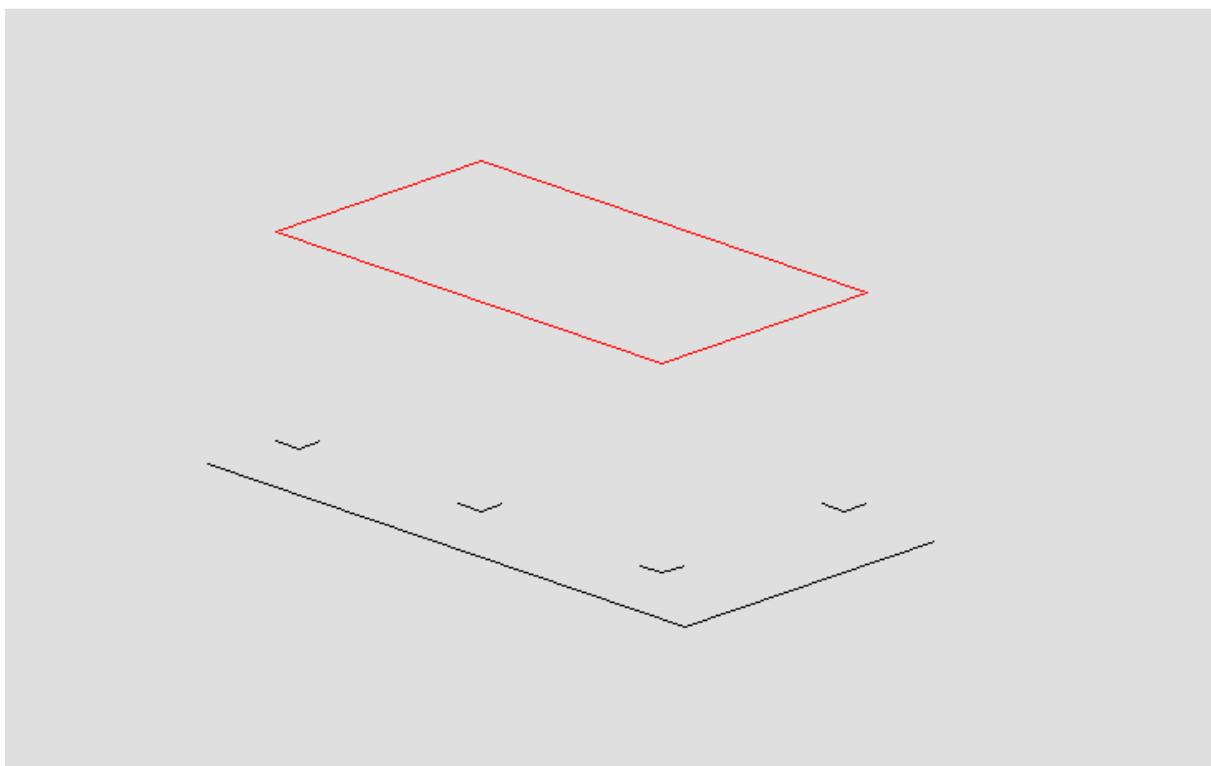
<i>Edition / Transformer / Translation</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Translation</i> .
Dans le champ <i>Vecteur de translation</i> , saisissez les coordonnées du vecteur de translation : (4.0 ; 0.0 ; 0.0), dans le champ <i>Nombre de répétitions</i> , saisissez 2 , Appliquer	Effectue la translation du cube sélectionné.
Dans le champ d'édition à côté de l'icône  , saisissez 2A4 , appuyez la touche Entrée du clavier	Sélection des cubes dernièrement définies (éléments n° 2, 3 et 4).
Dans le champ <i>Vecteur de translation</i> , saisissez les coordonnées du vecteur de translation : (0.0 ; 4.0 ; 0.0), dans le champ <i>Nombre de répétitions</i> , saisissez 1 , Appliquer, Fermer	Effectue la translation des cubes sélectionnés.
	Les arêtes cachées seront masquées lors de l'affichage de la structure.
<i>Affichage / Projection / 3D xyz</i>	Sélection de la vue axonométrique de la structure. La structure définie est représentée sur la figure ci-dessous (sans lignes de construction).



10.9.4. Base supérieure du massif encastré

<i>Affichage / Attributs</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Affichage des attributs</i> permettant l'affichage des attributs sélectionnés de la structure.
Sur l'onglet <i>Arêtes cachées</i> , sélectionnez l'option <i>Rien</i> OK	Si l'option est activée, pour la structure étudiée, aucune opération d'ombrage ne sera pas effectuée, les arêtes cachées ne seront pas masquées..
<i>Affichage / Saisie 3D / Plan de travail (global)</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Plan de travail</i> permettant de définir le plan dans lequel sera effectuée la création ou la modification de la structure.
Passez à l'écran graphique et sélectionnez deux sommets opposés du rectangle qui seront définis par les points d'intersection des axes suivants : $x_2 - y_2 - z_4$ Appliquer	Définition du plan de travail global. Les coordonnées dans la boîte de dialogue <i>Plan de travail</i> changent automatiquement en (1.00 ; 0.50 ; 4.00).
Fermez la boîte de dialogue <i>Plan de travail</i> par un clic sur le bouton 	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Plan de travail</i> .
<i>Affichage / Projection / Xy</i>	Sélection de la projection XY pour la coordonnée Z définie ($Z = 4.0$). Uniquement les éléments dans ce plan seront visibles.
A partir du menu déroulant <i>Structure / Objets</i> , cliquez sur la commande <i>Polyligne - contour</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Polyligne - contour</i> permettant la définition de différents types de lignes (lignes, polygones, contours).
Positionner le curseur dans le champ mis en surbrillance en vert, passez à l'écran graphique et, ensuite, sélectionnez les points définissant le contour (les points d'intersection des lignes de construction respectives) : $x_2 - y_2$, $x_7 - y_2$, $x_7 - y_5$, $x_2 - y_5$, Appliquer, Fermer	Définition du contour, fermeture de la boîte de dialogue <i>Polyligne - contour</i> .

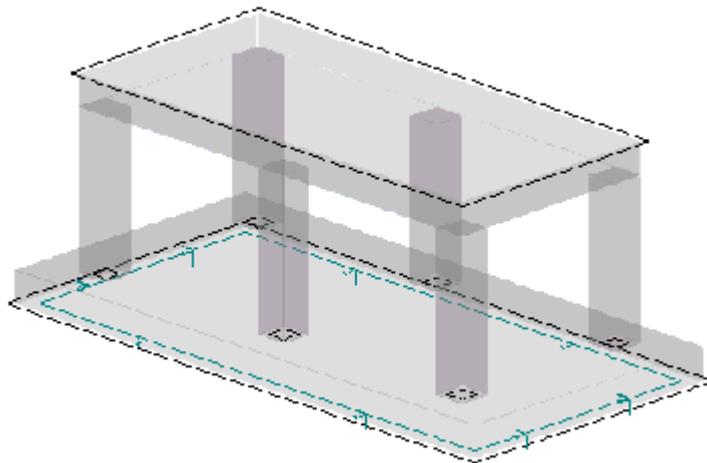
Dans le champ d'édition à côté de l'icône  , saisissez 8, Appuyez la touche Entrée du clavier.	Sélection du contour défini.
<i>Structure / Objets / Extrusion</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Extrusion permettant la création des simples éléments volumiques à la suite de l'extrusion des éléments 2D définis au préalable.
Activez l'option <i>ll à l'axe</i> , sélectionnez l'axe Z	Permet d'extruder l'objet sélectionné suivant l'axe parallèle à l'axe Z du repère globale.
Dans le champ d'édition, saisissez la valeur -0.5 définissant la longueur du vecteur d'extrusion.	Définition de la longueur du vecteur d'extrusion.
Dans le champ <i>Divisions</i> , saisissez 1	Définition du nombre de divisions pour l'extrusion de l'objet sélectionné.
Appliquer, Fermer	Extrusion de l'objet 2D sélectionné du vecteur d'extrusion saisi suivant l'axe parallèle à l'axe Z du repère global.
	Les arêtes cachées seront masquées lors de l'affichage de la structure.
<i>Affichage / Projection / 3D xyz</i>	Sélection de la vue axonométrique de la structure.
	Rétablissement de la vue initiale de la structure (voir la figure ci-dessous).



10.9.5. Définition des appuis

ClicBG dans le champ de sélection du bureau du système Robot Millennium MODELISATION / APPUIS	Sélection du bureau système Robot Millennium permettant la définition des appuis de la structure.
Dans la boîte de dialogue Appuis , cliquez sur l'icône 	Ouverture de la boîte de dialogue Définition d'appui permettant la définition d'un nouveau type d'appui.
Sur l'onglet Elastique , débloquez la direction UZ, dans le champ KZ saisissez la valeur : 70000 kN/m Bloquez les autres directions.	Définition du coefficient d'élasticité de l'appui dans la direction de l'axe Z.
Dans le champ Nom , saisissez le nom du nouvel appui : Appui élastique Ajouter, Fermer	Affectation du nom au type d'appui défini.

Dans la boîte de dialogue Appuis , sélectionnez l'option <i>Surface</i> disponible dans le champ <i>Sélection actuelle</i> et placez le pointeur dans le champ de sélection.	Sélection de la surface de la structure volumique.
Passez à l'écran graphique et sélectionnez la surface étant la base inférieure du massif encastré – le champ <i>Sélection actuelle</i> contiendra 1_REF(1).	Sélection de la surface de la structure pour laquelle les appuis seront définis.
ClicBG sur le bouton Appliquer	Le type d'appui sera affecté à la surface sélectionnée de la structure.
ClicBG dans le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium GEOMETRIE	Sélection du bureau prédéfini dans le système Robot Millennium .
<i>Affichage / Attributs</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Affichage des attributs permettant de sélectionner les attributs de la structure à afficher à l'écran.
Dans l'onglet <i>Structure</i> , activez l'option <i>Appuis – symboles</i> Appliquer, OK	Les symboles des appuis seront affichés à l'écran. La structure définie est présentée sur la figure ci-dessous.



10.9.6. Génération du maillage

Afin d'ajuster le maillage EF de façon optimale, nous allons définir des nœuds supplémentaires.

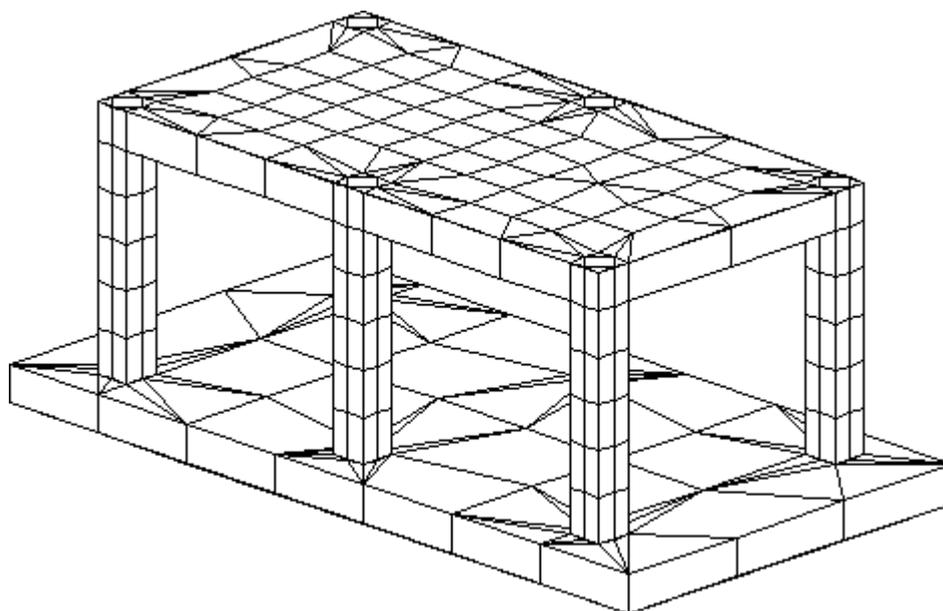
<i>Affichage / Grille / Espacement de la grille</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Espacement de la grille permettant de définir l'espacement de la grille affichée sur l'écran.
Dans la zone <i>Espacement de la grille</i> , saisissez la valeur 0.25 dans les champs Dx et Dy. Appliquer, Fermer	Modification de l'espacement de la grille, fermeture de la boîte de dialogue Espacement de la grille
<i>Affichage / Saisie 3D / Plan de travail (global)</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Plan de travail permettant de définir le plan dans lequel sera effectuée la création ou la modification de la structure.
Passez à l'écran graphique et sélectionnez graphiquement le point d'intersection des axes suivants : x1 – y1 – z1 , et ensuite cliquez sur Appliquer	Définition du plan de travail global. Les coordonnées dans la boîte de dialogue Plan de travail changent automatiquement en (0.00 ; 0.00 ; 0.00).
<i>Affichage / Projection / Xy</i>	Sélection de la projection XY pour la coordonnée Z définie (Z = 0.0). Uniquement les éléments dans ce plan seront visibles.
<i>Structure / Nœuds</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Nœuds permettant la définition des nœuds de la structure.
Définissez les nœuds supplémentaires aux coordonnées étant les points d'intersection des axes suivants : x2 – y2, x2 – y3, x3 – y3, x3 – y2 , et les nœuds aux coordonnées suivantes : (1.25; 0.50; 0.00), (1.00; 0.75; 0.00), (1.25; 1.00; 0.00), (1.50; 0.75; 0.00) Fermer	Définition des nœuds et fermeture de la boîte de dialogue Nœuds .

Dans le champ d'édition à côté de l'icône  , saisissez : tous Entrée	Sélection de tous les nœuds de la structure.
<i>Edition / Transformer / Translation</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Translation .
Dans le champ : <i>Vecteur de translation</i> saisissez : (4.00, 0.,00, 0.00) dans le champ <i>Nombre de répétitions</i> , saisissez : 2 Appliquer, Fermer	
Dans le champ d'édition à côté de l'icône  , saisissez : tout Entrée	Sélection de tous les nœuds de la structure.
<i>Edition / Transformer / Miroir horizontal</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Miroir horizontal .
ClicBG dans le champ <i>Position de l'axe</i> 2.75 Appliquer, Fermer	Définition de la position de l'axe de symétrie horizontal. Effectue la symétrie horizontale des nœuds sélectionnés et ferme la boîte de dialogue Miroir horizontal .
<i>Affichage / Projection / 3D xyz</i>	Sélection de la vue axonométrique de la structure.
<i>Affichage / Saisie 3D / Plan de travail (global)</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Plan de travail permettant de définir le plan dans lequel sera effectuée la création ou la modification de la structure.
Passez à l'écran graphique et sélectionnez graphiquement le point d'intersection des axes suivants : x2 – y2 – z4 , et ensuite cliquez sur Appliquer	Définition du plan de travail global. Les coordonnées dans la boîte de dialogue Plan de travail changent automatiquement en (1.00 ; 0.50 ; 4.00).

Fermez la boîte de dialogue Plan de travail par un clic sur le bouton 	Fermeture de la boîte de dialogue Plan de travail .
<i>Affichage / Projection / Xy</i>	Sélection de la projection XY pour la coordonnée Z définie (Z = 4.0). Uniquement les éléments dans ce plan seront visibles.
<i>Structure / Nœuds</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Nœuds permettant la définition des nœuds de la structure.
Définissez les nœuds supplémentaires aux coordonnées étant les points d'intersection des axes suivants : x2 – y3, x3 – y3, x3 – y2, x2 – y2, et les nœuds aux coordonnées suivantes : (1.25 ; 1.00 ; 4.00), (1.50 ; 0.75 ; 4.00), (1.25 ; 0.50 ; 4.00), (1.00 ; 0.75 ; 4.00), Fermer	Définition des nœuds et fermeture de la boîte de dialogue Nœuds .
Dans le champ d'édition à côté de l'icône  , saisissez : 49A56 Appuyez la touche Entrée du clavier	Sélection des nœuds appartenant au plan de travail actuel.
<i>Edition / Transformer / Translation</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Translation .
Dans le champ : <i>Vecteur de translation</i> , saisissez : (4,00 ; 0,00 ; 0,00) dans le champ <i>Nombre de répétitions</i> , saisissez : 2 Appliquer, Fermer	

Dans le champ d'édition à côté de l'icône  , saisissez les numéros de nœuds définis : 49A72 , appuyez la touche Entrée du clavier	Sélection des nœuds appartenant au plan de travail actuel.
<i>Edition / Transformer / Miroir horizontal</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Miroir horizontal</i> .
ClicBG dans le champ <i>Position de l'axe</i> 2.75	Définition de la position de l'axe de symétrie horizontal.
Appliquer, Fermer	Effectue la symétrie horizontale des nœuds sélectionnés et ferme la boîte de dialogue <i>Miroir horizontal</i> .
<i>Structure / Nœuds</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Nœuds</i> .
Dans le champ <i>Coordonnées</i> , saisissez les coordonnées d'un nœud supplémentaire : (7.25; 2.75; 4.00) Ajouter, Fermer	Définition du nœud supplémentaire n° 97 auquel la force nodale sera appliquée.
Dans le champ d'édition à côté de l'icône  , saisissez 1 et 8 , Entrée	Sélection des éléments volumiques n° 1 et 8 (base et sommet du massif encastré).
<i>Analyse / Modèle de calcul / Générer</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Options de maillage</i> .
Dans la zone <i>Méthodes de maillage admissibles</i> ; sélectionnez l'option <i>Delaunay</i> ; dans la zone <i>Génération du maillage</i> , sélectionnez l'option <i>Automatique</i> et saisissez 5 dans le champ d'édition <i>Divisions 1</i> , OK	Paramétrage du maillage pour les éléments sélectionnés de la structure.
Dans le champ d'édition à côté de l'icône  , saisissez : 2A7 Entrée	Sélection des éléments volumiques étant les colonnes du massif encastré.

<i>Analyse / Modèle de calcul / Options de maillage</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Options de maillage .
Dans la zone <i>Méthodes de maillage admissibles</i> ; sélectionnez l'option <i>Delaunay</i> ; dans la zone <i>Génération du maillage</i> , sélectionnez l'option <i>Automatique</i> et, dans le champ d'édition <i>Divisions 1</i> , saisissez 2, OK	Paramétrage du maillage pour les éléments sélectionnés de la structure.
<i>Analyse / Modèle de calcul / Options de maillage</i>	Génération du modèle de calcul de la structure (éléments finis).
<i>Affichage / Projection / 3D xyz</i>	Sélection de la vue axonométrique de la structure. La structure définie est représentée sur la figure ci-dessous (sans lignes de construction).

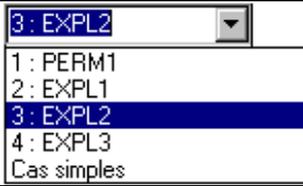


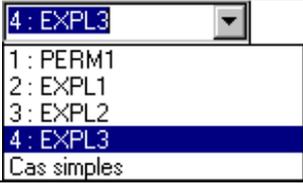
<i>Structure / Caractéristiques / Caractéristiques des solides</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Caractéristiques des solides
ClicBG dans le champ <i>Sélection Saisit Tout</i>	Sélection de tous les éléments de la structure

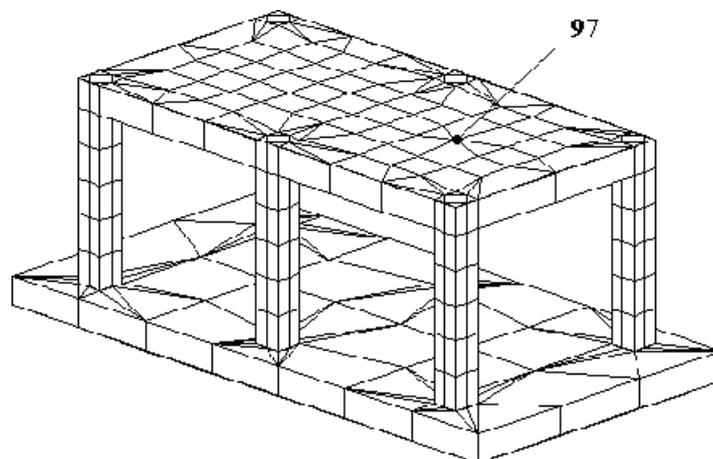
ClicBG sur la matériau <i>Béton</i>	Sélection du matériau. Si le matériau n'est pas présent sur la liste des matériaux disponibles, cliquez sur l'icône <i>Définir une nouvelle caractéristique de solides</i> et ajoutez le béton à la liste de matériaux
Appliquer , Fermer	Affectation du matériau à tous les éléments de la structure et fermeture de la boîte de dialogue

10.9.7. Définition des charges

<i>Affichage / Projection / Xy</i>	Sélection de la projection XY pour la coordonnée Z définie ($Z = 4.0$). Uniquement les éléments dans ce plan seront visibles.
ClicBG dans le champ de sélection de bureaux du système Robot Millennium MODELISATION /CHARGEMENTS	Sélection du bureau du système Robot Millennium permettant la définition des charges appliquées à la structure.
ClicBG sur le bouton Nouveau dans la boîte de dialogue Cas de charge	Définition du cas de charge (nature : permanente, nom standard : PERM1).
ClicBG dans le champ Nature D'exploitation	Sélection de la nature du cas de charge : exploitation.
ClicBG sur le bouton Nouveau ClicBG sur le bouton Nouveau ClicBG sur le bouton Nouveau	Définition des trois cas de charge (nature : <i>d'exploitation</i> , noms standard : EXPL1, EXPL2 et EXPL3).
	Attention : Le chargement par poids propre sera appliqué automatiquement dans la direction "Z".
ClicBG sur l'icône  disponible sur la barre d'outils à droite	Ouverture de la boîte de dialogue Charge .
Dans l'onglet <i>Surface</i> , cliquez sur l'icône  (Charge surfacique uniforme)	Ouverture de la boîte de dialogue Charge uniforme .

	Sélection du deuxième cas de charge (2 :EXPL1).
Dans le champ <i>Valeurs Z</i> , saisissez - 20	Définition de la charge uniforme agissant sur la surface EF.
Appliquer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Charge uniforme</i> .
Positionnez le curseur dans le champ <i>Appliquer à</i> , passez à l'écran graphique et sélectionnez le contour définissant la base supérieure du massif encastré. Le champ d'édition affichera 8_REF(1)	Affiche la sélection actuelle du contour pour la charge surfacique.
Ajouter	Applique la charge surfacique définie au contour sélectionné.
Dans l'onglet <i>Surface</i> , cliquez sur l'icône  (<i>Charge surfacique uniforme (contour)</i>)	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Charge uniforme (contour)</i> .
	Sélection du troisième cas de charge (3 :EXPL2).
Dans le champ <i>Valeurs Z</i> , saisissez - 40	Définition de la charge uniforme agissant sur la surface EF.
ClicBG dans le champ <i>Définition du contour</i>	Définition du contour rectangulaire sur lequel la charge sera appliquée.
Passez à l'écran graphique et définissez le contour auquel la charge sera appliquée ; pour cela, cliquez sur les points d'intersection des axes suivants : x2 – y2, x5 – y2, x5 – y5, x2 – y5	Définition du contour.

ClicBG sur le bouton Ajouter disponible dans la partie inférieure de la boîte de dialogue Charge uniforme (contour)	Fermeture de la boîte de dialogue Charge uniforme (contour) .
Positionnez le curseur dans le champ <i>Appliquer</i> , passez à l'écran graphique et sélectionnez le contour définissant la surface supérieure. Le champ d'édition affichera 8_REF(1)	Sélection du panneau auquel la charge sera appliquée.
Appliquer	Application de la charge au contour sur le panneau sélectionné.
Dans la boîte de dialogue Charge , dans l'onglet Noeuds , cliquez sur l'icône  (Force nodale)	Ouverture de la boîte de dialogue Force nodale .
	Sélection du quatrième cas de charge (4 :EXPL3).
Dans le champ d'édition <i>Valeurs Z</i> , saisissez la valeur – 20 Ajouter	Définition de la charge par force concentrée agissant dans les nœuds sélectionnés.
Dans le champ <i>Appliquer à</i> , saisissez 97	Sélection du nœud auquel la charge sera appliquée (voir la figure ci-dessous).

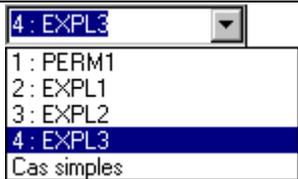


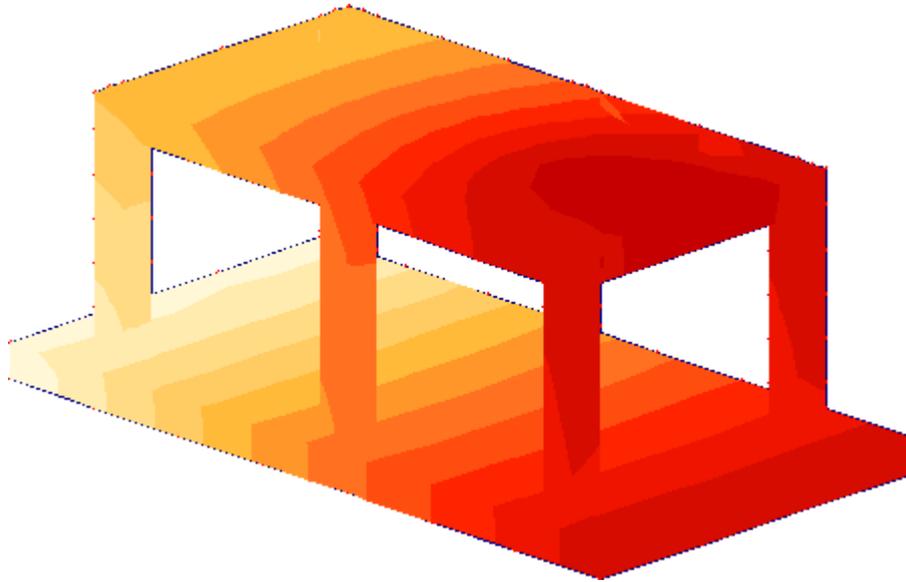
Appliquer, Fermer	Application de la charge par force concentrée au nœud sélectionné, fermeture de la boîte de dialogue Force nodale .
--------------------------	--

10.9.8. Analyse de la structure

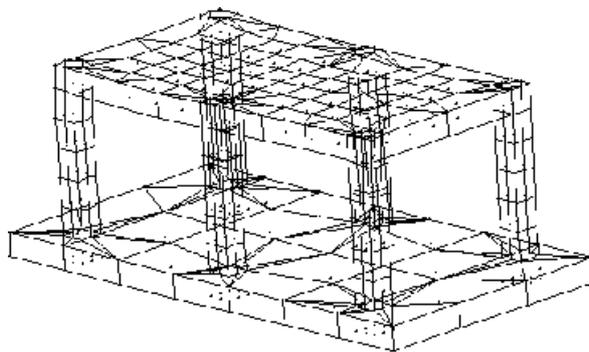
	Début des calculs de la structure définie. Après la fin des calculs, la barre de titre de ROBOT affichera l’information suivante : <i>Résultats MEF – actuels</i> .
---	--

10.9.9. Présentation des résultats en forme des cartographies

MODELISATION / APPUIS	Sélection du bureau système Robot Millennium permettant la définition des appuis de la structure.
ClicBG dans le champ de sélection du bureau du système Robot Millennium RESULTATS / RESULTATS - CARTOGRAPHIES	Sélection du bureau système Robot Millennium pour la présentation des résultats.
	Sélection du quatrième cas de charge (4 :EKSP3).
Dans l’onglet <i>Détaillés</i> , cochez l’option <i>Déplacements totaux</i> disponible dans la partie inférieure de l’onglet.	Sélection de la grandeur à présenter.
Activez l’option <i>cartographies</i> (si elle n’est pas active)	Les résultats pour les éléments finis volumiques sont présentés en forme de cartographies.
ClicBG sur le bouton Appliquer	Présentation du déplacement totale de la structure pour le cas de charge sélectionné (voir la figure ci-dessous).

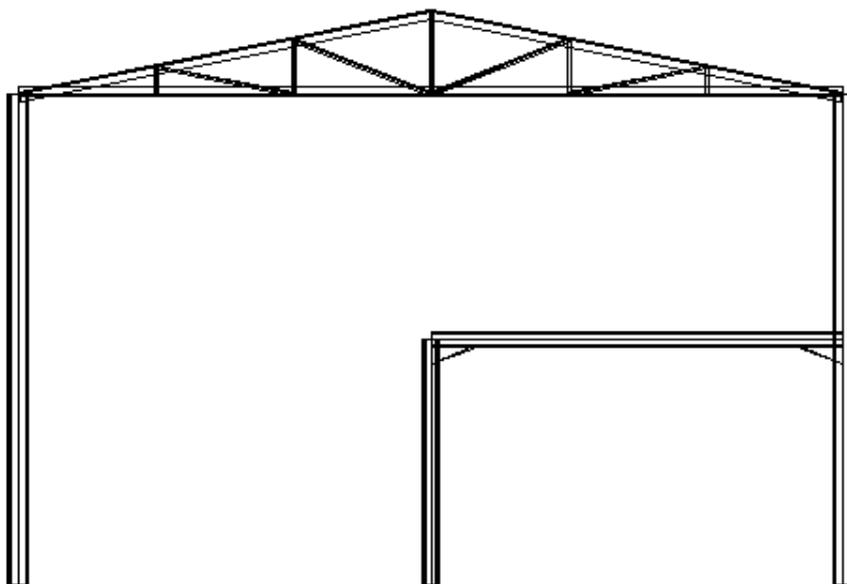


<p>Dans l'onglet <i>Détailés</i>, désactivez l'option <i>Déplacements totaux</i> disponible dans la partie inférieure de l'onglet, ensuite passez à l'onglet <i>Déformations</i> et activez l'option <i>actives</i></p>	<p>Permet de présenter les déformations de la structure pour le cas de charge sélectionnée.</p>
	<p>Sélection du troisième cas de charge (3 :EXPL2).</p>
<p>ClicBG sur le bouton Appliquer</p>	<p>Présentation de la déformation de la structure.</p>



10.10. Exemple de définition de la structure à barres suivant la norme Eurocode 3

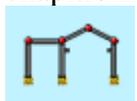
Cet exemple présente la définition, l'analyse et le dimensionnement d'un portique simple 2D en acier, affiché sur la figure ci-dessous. Dans la définition, nous avons utilisé les treillis générés à l'aide de la bibliothèque des structures types disponibles dans le système **Robot Millennium**. Le modèle prend en compte les prescriptions de la norme EC3 en ce qui concerne les imperfections géométriques et l'analyse élasto-plastique du matériau. Unités de données : (m) et (kN).



Dans la description de la définition de la structure les conventions suivantes seront observées :

- une icône quelconque signifie un clic sur cet icône effectué avec le bouton gauche de la souris,
- { x } signifie la sélection (saisie) de l'option « x » dans la boîte de dialogue ,
- ClicBG et ClicBD - ces abréviations sont utilisées respectivement pour le clic sur le bouton gauche et sur le bouton droit de la souris.

Afin de commencer la définition de la structure, lancez le système **Robot Millennium** (cliquez sur l'icône correspondant ou sélectionnez la commande dans le menu affiché dans la barre des tâches). Dans la fenêtre de l'assistant affichée par **Robot Millennium** (elle est décrite dans le chapitre 2.1) sélectionnez le premier icône au premier rang (*Etude d'un portique plan*)



10.10.1. Définition du modèle de la structure

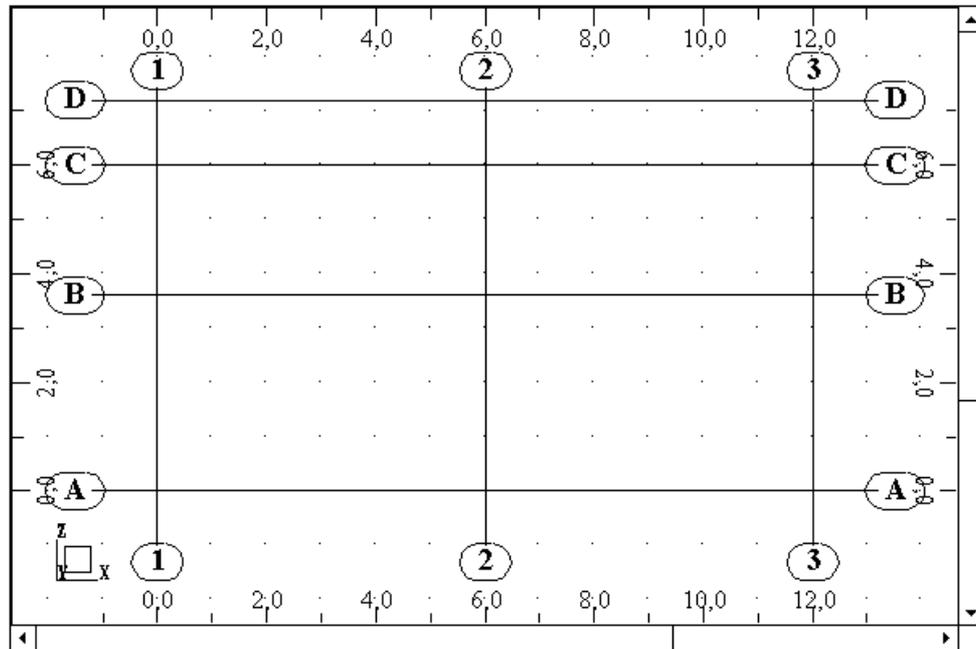
Sélection des normes

OPERATION	DESCRIPTION
<i>Outils / Préférences de l'affaire</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Préférences de l'affaire</i>
<i>Matériaux</i>	Sélection de l'option <i>Matériaux</i> à partir de l'arborescence dans la boîte de dialogue
Sélection à partir de la liste déroulante <i>Matériaux : Eurocode</i>	Sélection de la base de matériaux Eurocode.
Modifier	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Définition du matériau</i>
Dans le champ <i>Nom</i> saisissez ACIER	La définition du matériau portant ce nom est exigée pour pouvoir charger la structure type
Ajouter OK	Ajout du matériau ACIER à la base.
<i>Normes</i>	Sélection de l'option <i>Normes</i> à partir de l'arborescence dans la boîte de dialogue.
<i>Structures acier / aluminium : EC3</i>	Sélection de la norme Eurocode3 pour le dimensionnement des structures acier.
 <i>Actions</i>	Sélection de l'option <i>Normes - Actions</i> à partir de l'arborescence dans la boîte de dialogue.
<i>Pondérations : EUROCODE</i>	Sélection de la norme Eurocode pour les pondérations automatiques.
OK	Acceptation des paramètres et fermeture de la boîte de dialogue <i>Préférences de l'affaire</i> .

Définition des lignes de construction

<i>Structure / Lignes de construction</i>	Début de la définition des lignes de construction. Le logiciel affiche la boîte de dialogue <i>Lignes de construction</i> .
---	---

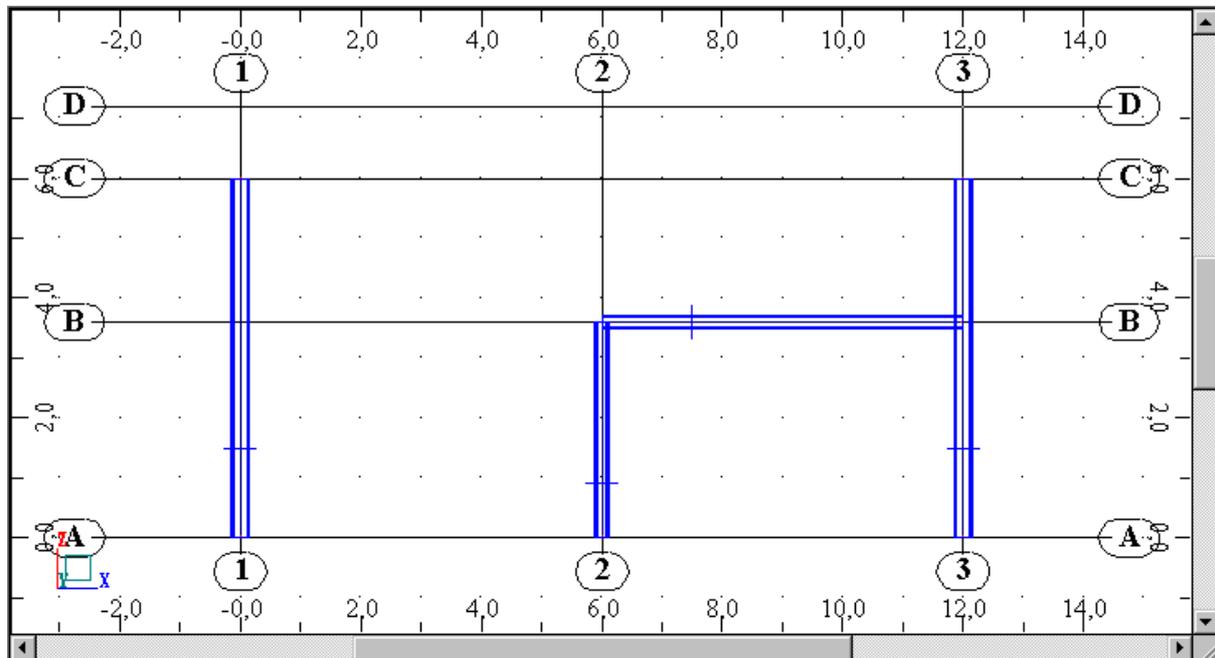
Dans l'onglet X : <i>Position</i> : {0} <i>Nombre de répétitions</i> : {2} <i>Espacement</i> : {6} <i>Numérotation</i> : 1, 2, 3 ...	Définition des paramètres des lignes de construction verticales.
ClicBG sur le bouton Insérer	Les lignes verticales ont été définies, elles sont affichées dans le champ <i>Jeu de lignes créées</i> .
ClicBG sur l'onglet Z	Début de la définition des paramètres des lignes de construction verticales
Dans l'onglet Z : <i>Position</i> : {0.0} <i>Numérotation</i> : A, B, C ...	Définition des paramètres des lignes de construction horizontales.
ClicBG sur le bouton Insérer	La première ligne a été définie et affichée dans la champ <i>Jeu de lignes créées</i> .
<i>Position</i> : {3.6} ClicBG sur le bouton Insérer	
<i>Position</i> : {6.0} ClicBG sur le bouton Insérer	
<i>Position</i> : {7.2} ClicBG sur le bouton Insérer	Les autres lignes horizontales ont été définies et affichées dans le champ <i>Jeu de lignes créées</i> .
ClicBG sur les boutons : Appliquer, Fermer	Création des lignes de construction définies et fermeture de la boîte de dialogue Lignes de construction . Le logiciel affichera sur l'écran les lignes de construction définies (voir la figure ci-dessous).



Définition des barres de la structure

<i>Structure / Caractéristiques / Profilés de barres</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Profilés .
	Ouverture de la boîte de dialogue Nouvelle section .
Sélectionnez la famille des sections en I, dans le champ <i>Section</i> , sélectionnez le profilé : IPE 240, Ajouter HEA 300, Ajouter HEA 240, Ajouter	Définition des sections des profilés IPE 240, HEA 240 et HEA 300
Fermer dans la boîte de dialogue Nouvelle section Fermer dans la boîte de dialogue Profilés	Fermeture des boîtes de dialogue Profilés et Nouvelle sections
	Ouverture de la boîte de dialogue Barre .
ClicBG dans le champ <i>Type de barre</i> et sélection du type : Poteau	Sélection des caractéristiques de la barre à dimensionner. Le champ <i>Section</i> doit contenir la section dernièrement définie HEA 240

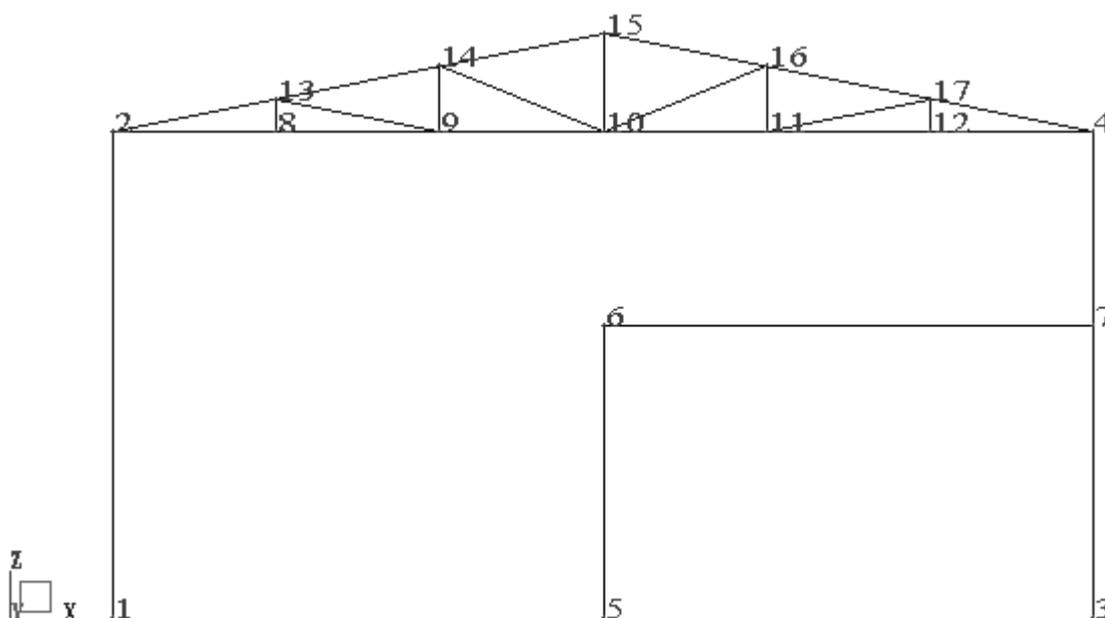
ClicBG dans le champ <i>Origine</i> (le fond du champ est alors affiché en vert)	Début de la définition des barres de la structure (poteaux).
Indiquez graphiquement ou saisissez manuellement les coordonnées de l'origine et extrémité des barres : (0;0) (0;6) et (12;0) (12;6)	Définition des poteaux situés sur les lignes de construction n° 1 et 3 (dans l'étendue A-C)
ClicBG dans le champ <i>Section</i> et sélection de la section HEA 300	Sélection de HEA 300 en tant que section actuelle
ClicBG dans le champ <i>Origine</i> (le fond du champ est alors affiché en vert)	Début de la définition des barres de la structure (poteaux central).
Indiquez graphiquement ou saisissez manuellement les coordonnées de l'origine et extrémité des barres : (6;0) (6;3.6)	Définition du poteau situé sur la ligne de construction n° 2 (dans l'étendue A-B)
ClicBG dans le champ <i>Type de barre</i> et sélection du type : Poutre	Sélection des caractéristiques de la barre à dimensionner.
ClicBG dans le champ <i>Section</i> et sélection de la section IPE 240	Sélection de IPE 240 en tant que section actuelle.
ClicBG dans le champ <i>Origine</i> fond du champ est alors affiché en vert)	Début de la définition des barres de la structure (poutre entre poteaux)
Indiquez graphiquement ou saisissez manuellement les coordonnées de l'origine et extrémité des barres : (6.0;3.6) (12.0;3.6)	Définition du poteau situé sur la ligne de construction n° B (dans l'étendue 2-3)
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Barre</i> .



Définition de la structure type

<i>Affichage / Attributs</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Affichage des attributs</i>
<p>Onglet <i>Profilé</i> désactivez l'option <i>Croquis</i></p> <p>Onglet <i>Structure</i> activez l'option <i>Numéros de nœuds</i></p> <p>Onglet <i>Autres</i> désactivez l'option <i>Lignes de construction</i></p> <p>Appliquer, OK</p>	
	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Structures types</i> et début de la définition de la structure type
<p>ClicBG (2 fois) sur l'icône</p>  <p>(1 icône dans le dernier rang)</p>	Sélection du treillis triangulaire de type 1. Sur l'écran, la boîte de dialogue <i>Insertion d'une structure</i> s'ouvre ; dans cette boîte de dialogue vous pouvez définir les paramètres du treillis.
<p>Dans l'onglet <i>Dimensions</i> ClicBG dans le champ <i>Longueur</i> $L\{12\}$</p>	Définition de la longueur du treillis (elle peut être définie de façon graphique)

ClicBG dans le champ <i>Hauteur H</i> {1.2}	Définition de la hauteur du treillis (elle peut être définie de façon graphique).
ClicBG sur l'option : <i>Nœuds relâchés : Non</i>	
ClicBG dans l'onglet <i>Insérer</i>	
ClicBG dans le champ <i>Point d'insertion</i> Indiquez graphiquement le nœud n° 2 aux coordonnées (0, 0, 6)	Définition du nœud initial du treillis.
ClicBG sur le bouton Appliquer	Prise en compte des données saisies ; il est possible de les vérifier.
ClicBG sur le bouton OK	Création du treillis défini et fermeture de la boîte de dialogue <i>Insertion d'une structure</i> . La structure définie est présentée sur la figure ci-dessous.

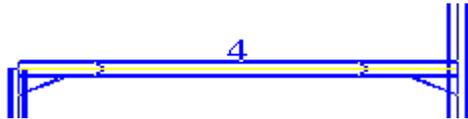


Ajout d'un nœud auxiliaire

<i>Edition / Diviser barres...</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Division</i>
Dans la zone <i>Division</i> , clicBG sur l'option : <ul style="list-style-type: none"> à la distance 	Sélection du mode de définition de la saisie du nœud de division par la coordonnée sur la longueur de la barre.

Dans le champ <i>Distance à partir de l'extrémité</i> , saisissez la valeur 3.6 [m]	Définition de la position du nœud auxiliaire.
Passez à la fenêtre graphique et indiquez (clicBG) le poteau gauche en cliquant sur sa base (barre n° 1)	Indication de la barre à diviser. Attention : si vous définissez la division à l'aide de la coordonnée sur la longueur de la barre, veuillez remarquer que la coordonnée est calculée à partir de l'origine de la barre indiquée.
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Division</i>

Définition des jarrets sur barres

 dans la barre d'état	Reprise des attributs d'affichage par défaut.
<i>Structure / Autres attributs / Jarrets</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Jarrets</i>
ClicBG dans le champ contenant la liste des attributs définis, sélectionnez l'attribut défini par défaut <i>Jarret_0.1x1</i>	Sélection du type de jarret (mis en surbrillance)
Passez à la fenêtre graphique ; indiquez l'origine et l'extrémité de la barre (poutre n° 4)	Définition du jarret à l'origine et à l'extrémité de la poutre. 
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Jarrets</i>

Définition des appuis

	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Appuis</i> .
Dans la boîte de dialogue <i>Appuis</i> , sélectionnez l'appui de type <i>Encastrement</i>	Sélection de l'appui encastré (mis en surbrillance)
Passez à la fenêtre graphique ; indiquez le nœud n° 1 (nœud inférieur du poteau gauche)	Affectation de l'appui dans le nœud n° 1.

Dans la boîte de dialogue Appuis , sélectionnez l'appuis de type <i>Rotule</i>	Sélection de l'appui de type rotule (mis en surbrillance)
Passez à la fenêtre graphique ; indiquez les nœuds n° 3 et 5 (nœuds inférieurs des autres poteaux)	Affectation de l'appui dans les nœuds n° 3 et 5.
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue Appuis

Définition des imperfections géométriques

 dans la barre d'état	Reprise des attributs d'affichage par défaut.
<i>Structure / Autres attributs / Imperfections géométriques</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Imperfections géométriques
	Ouverture de la boîte de dialogue Définition de l'imperfection
Dans le champ <i>Nom</i> , saisissez le nom <i>Exécution</i> désactivez l'option <i>Automatique</i> activez l'option <i>Utilisateur</i> saisissez la valeur 5 [cm]	Définition des paramètres du nouveau type d'imperfection dont la valeur de la flèche est égale à 5 cm.
Boutons Ajouter, Fermer	Définition de l'imperfection et fermeture de la boîte de dialogue Définition de l'imperfection .
ClicBG dans la liste des attributs définis ; sélectionnez le type d'imperfection par défaut (<i>Auto</i>)	Sélection du type d'imperfection (mis en surbrillance).
Passez à la fenêtre graphique ; indiquez la barre n° 1 (poteau gauche)	Définition de l'imperfection (automatique d'après EC3) pour le poteau.
ClicBG dans la liste des attributs définis ; sélectionnez le type d'imperfection défini <i>Exécution</i>	Sélection du type d'imperfection (mis en surbrillance).
Passez à la fenêtre graphique ; indiquez la membrure inférieure du treillis (barre n° 5)	Définition de l'imperfection (définie par l'utilisateur) pour la membrure inférieure du treillis.

Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Imperfections géométriques</i> .
---------------	---

Définition des cas de charge

 dans la barre d'état	Reprise des attributs d'affichage par défaut.
<i>Chargements / Cas de charge</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Cas de charge</i>
ClicBG sur le bouton Nouveau	Définition du cas de charge de nature : permanente, nom standard PERM1
ClicBG dans le champ <i>Nature D'exploitation</i>	Sélection de la nature de charge : d'exploitation
ClicBG sur le bouton Nouveau	Définition du cas de charge de nature : d'exploitation, nom standard: EXPL1
ClicBG sur le bouton Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Cas de charges</i>

Définition des chargements pour les cas de charge définis

 sélectionnez 1: PERM1	Sélection du cas n° 1 – charges par poids propre PERM1.
<i>Chargements / Définir charges</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Charge</i> .
Sélectionnez l'onglet <i>Barre</i> 	Sélection du type <i>Charge uniforme</i> .
<i>Valeurs :</i> <i>pZ: {-3} [kN]</i> Ajouter	Définition de la valeur de la charge uniforme sur barre
ClicBG dans le champ <i>Appliquer</i> à, saisissez la liste des barres appartenant à l'enveloppe extérieure : 1 2 6 7	Définition de la charge uniforme sur les barres indiquées qui modélise le poids des bardages des murs et de la couverture.
Appliquer	Définition de la charge pour la liste de barres.

 2: EXPL1 sélectionnez 2 : EXPL1	Sélection du cas de charge d'exploitation EXPL1.
Sélectionnez l'onglet <i>Nœud</i> 	Sélection de la charge de type <i>Force nodale</i>
<i>Paramètres de la charge,</i> X: {10} [kN] Z: {-100} [kN]	Définition de la valeur de la charge nodale.
ClicBG sur le bouton Ajouter disponible dans la partie inférieure de la boîte de dialogue	
Passez à la fenêtre graphique contenant la vue de la structure et indiquez (clicBG) les nœuds n° 6 et 18	Définition de la charge nodale modélisant la charge par pont roulant.
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Charge</i> .

Génération des charges de neige et vent

<i>Chargements / Autres charges / Neige et vent 2D/3D</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Neige et vent 2D/3D</i>
Un clic sur le bouton Auto pole <i>Profondeur</i> : 30, pole <i>Entraxe</i> : 6 [m]	Génération automatique de l'enveloppe extérieure de la structure pour la génération des charges de neige et vent
Un clic sur le bouton Paramètres	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Charges de neige et vent 2D/3D</i> dans laquelle vous pouvez définir les paramètres détaillés. Les paramètres par défaut seront pris.
Générer OK	Un clic sur ce bouton commence la génération des charges de neige et vent à partir des paramètres données. Le logiciel affiche les notes de calcul dans lesquelles les cas de charge de neige et vent sont présentés.
Fermez le traitement de texte avec les notes de calcul.	De nouveaux cas de charge ont été générés : cas de charge de neige et de vent.
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Neige et vent 2D/3D</i>

Génération des pondérations automatiques

<i>Chargements / Pondérations</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Podérations suivant EUROCODE .
ClicBG sur l'onglet <i>Cas</i>	La boîte de dialogue contient la liste de cas de charge qui font part des pondérations automatiques et leur affectation aux groupes et natures.
ClicBG sur l'onglet <i>Relations</i> Dans le champ <i>Natures</i> , sélectionnez les types de cas : <i>permanents, d'exploitation, vent, neige</i>	La boîte de dialogue contient les relations entre les cas et groupes et définit les combinaisons des cas.
Dans la partie inférieure de la boîte de dialogue, activez l'option <i>Pondérations simplifiées</i>	Réduit le nombre de combinaisons créées en éliminant ceux qui sont moins dangereux.
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue des pondérations et enregistrement des relations définies.

Calculs et vérification des résultats

<i>Analyse / Calculer</i>	Lancement des calculs.
<i>Résultats / Contraintes</i>	Ouverture du tableau des contraintes dans les barres.
ClicBG sur l'onglet <i>Extrêmes globaux</i>	Calculs des contraintes maximales dans les barres. Vous pouvez remarquer que la capacité de charge de la structure est suffisante.
ClicBG sur  dans le coin supérieur droit du tableau	Fermeture du tableau
<i>Fichier / Enregistrer</i>	Ouverture de la boîte de dialogue dans laquelle vous pouvez enregistrer la structure.
Dans le champ <i>Nom</i> , saisissez le nom voulu de l'exemple, p. ex. <i>Portique_EC3</i>	Format par défaut - RTD.
ClicBG sur le bouton Enregistrer	Enregistrement de l'exemple.

10.10.2. Analyse élasto-plastique

De plus, nous allons effectuer l'analyse du cas où le pont roulant se heurte contre le poteau de la halle.

Pour ce cas, nous allons prendre en compte l'analyse plastique.

Modification de la définition des cas de charge

<i>Chargements / Cas de charge</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Cas de charge</i>
ClicBG sur le bouton Supprimer tout	Suppression de tous les cas de charge.
ClicBG sur le bouton Nouveau	Définition du cas de charge de nature : permanente, nom standard PERM1
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Cas de charges</i>
<i>Chargements / Définir charges</i>	Ouverture de la boîte de dialogue <i>Charge</i> .
	Sélection de la charge <i>Force nodale</i>
<i>Paramètres de la charge,</i> X: {120} [kN] Z: {0}	Définition de la valeur de la charge nodale.
ClicBG sur le bouton Ajouter disponible dans la partie inférieure de la boîte de dialogue.	
Passez à la fenêtre graphique contenant la vue de la structure et indiquez (clicBG) le nœud n° 18	Définition de la force nodale modélisant la charge accidentelle par pont roulant.
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Charge</i> .

Calculs et vérifications des résultats

<i>Analyse / Calculer</i>	Lancement des calculs.
---------------------------	------------------------

A l'aide du pointeur de la souris, indiquez le poteau gauche (barre 1) ; la barre est mise en surbrillance ClicBD	Ouverture du menu contextuel de la vue de la structure.
<i>Propriétés de l'objet</i>	Ouverture de la boîte de dialogue Propriétés de la barre contenant l'information sur la barre n° 1.
Onglet <i>Vérification</i>	Dimensionnement simplifié de la barre acier. Vous pouvez observer que la barre ne satisfait pas à la vérification réglementaire.
Fermer	Fermeture de la boîte de dialogue Propriétés de la barre .

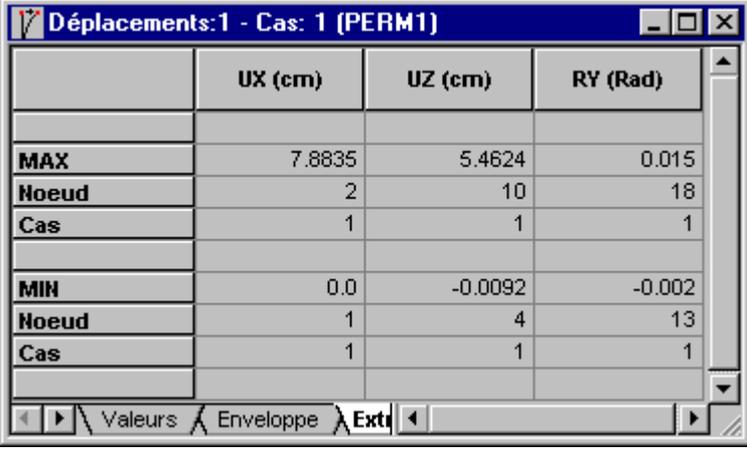
Modification des profilés pour l'analyse élasto-plastique

	Ouverture de la boîte de dialogue Profilés
ClicBG sur HEA 240 disponible dans la liste de profilés	Sélection du profilé en cours.
	Ouverture de la boîte de dialogue Nouvelle section avec le profilé HEA 240 sélectionné.
Cochez la case disponible à côté de du bouton Analyse élasto-plastique	Activation de l'option de l'analyse élasto-plastique pour le profilé sélectionné. Le nouveau nom : HEA 240EP a été créé.
Ajouter Fermer	Définition des profilés HEA 240EP , Fermeture de la boîte de dialogue Nouvelle section
Passez à la fenêtre graphique contenant la vue de la structure et indiquez (clicBG) les poteaux extérieurs (barres n° 1 et 2)	Changement de la section des barres sélectionnées en section HEA 240EP .
Dans la boîte de dialogue Profilés , clicBG sur IPE 240 disponible dans la liste de profilés.	Sélection du profilé en cours.
	Ouverture de la boîte de dialogue Nouvelle section avec le profilé IPE 240 sélectionné

Cochez la case disponible à côté de du bouton Analyse élasto-plastique	Activation de l'option de l'analyse élasto-plastique pour le profilé sélectionné. Le nouveau nom : <i>IPE 240EP</i> a été créé.
Ajouter Fermer	Définition des profilés <i>IPE 240EP</i> , Fermeture de la boîte de dialogue <i>Nouvelle section</i>
Passez à la fenêtre graphique contenant la vue de la structure et indiquez (clicBG) la poutre (barre n° 4)	Changement de la section de la barre sélectionnée en section <i>IPE 240EP</i> .
Fermer dans la boîte de dialogue <i>Profilés</i>	Fermeture de la boîte de dialogue <i>Profilés</i>

Calculs et vérification des résultats

<i>Analyse / Calculer</i>	Lancement des calculs.
<i>Résultats / Déplacements</i>	Ouverture du tableau des déplacements des nœuds.
ClicBG dans l'onglet <i>Extrêmes globaux</i>	Calculs des déplacements maximaux des nœuds (voir la figure ci-dessous). Vous pouvez observer que même si la structure travaille dans le domaine plastique, elle reste stable.
<i>Fichier / Enregistrer affaire sous...</i>	Ouverture de la boîte de dialogue de l'enregistrement de l'affaire.
Dans le champ <i>Nom du fichier</i> , saisissez le nom voulu de votre exemple, p. ex. : <i>Portique_EC3_EP</i>	Format par défaut - RTD.
ClicBG sur le bouton Enregistrer	Enregistrement de l'exemple.



	UX (cm)	UZ (cm)	RY (Rad)
MAX	7.8835	5.4624	0.015
Noeud	2	10	18
Cas	1	1	1
MIN	0.0	-0.0092	-0.002
Noeud	1	4	13
Cas	1	1	1

Navigation: Valeurs | Enveloppe | Ext

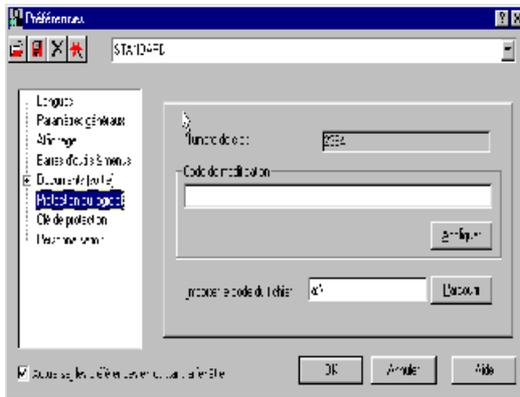
11. QUESTIONS LES PLUS FREQUEMMENT POSEES

11.1.INSTALLATION ET CONFIGURATION

v Que faire en cas de message « Version Demo ». Utilisation de la nouvelle version du logiciel interdite» au premier lancement de ROBOT Millennium ?



La protection du logiciel doit être modifiée afin de pouvoir utiliser **Robot Millennium**. Il s'agit de saisir les nouveaux codes de modification du système de protection.



- Redémarrer l'ordinateur après l'installation de **Robot Millennium**.
- Choisir *Préférences* dans le menu déroulant *Outils*.
- Sélectionner la commande *Protection du logiciel*, puis saisir le code en vérifiant que le numéro de clé indiqué est identique à celui de la clé présente sur le port parallèle de l'ordinateur.
- Redémarrer l'ordinateur.

v Comment éditer le rapport d'installation ?

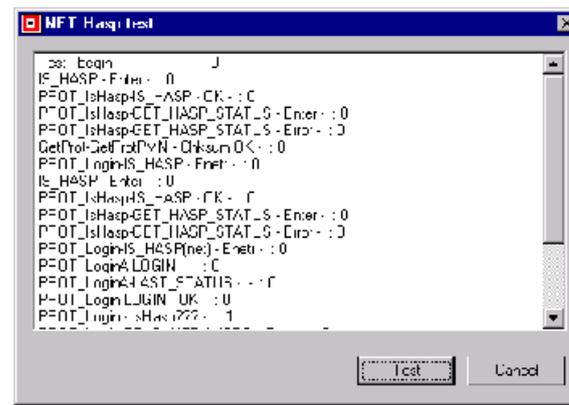
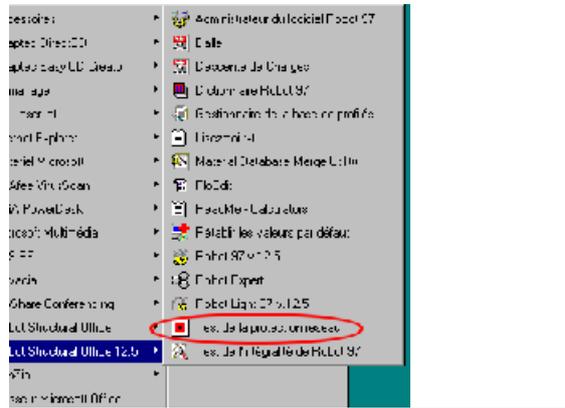


- Sélectionner la commande *Support technique* dans le menu déroulant *Aide* symbolisé par un point d'interrogation .
- Sélectionner *Fax à*, puis *Maintenance*.
- Valider la fenêtre qui apparaît, **Robot Millennium** ouvre alors un éditeur de texte contenant le rapport d'installation.



v **Version Réseau de ROBOT Millennium : Au lancement du logiciel, j'obtiens le message « Version de Démo. Pas de clé » ?**

- Sur votre poste « Nœud », cliquer sur *Démarrer, Programmes, ROBOT Structural Office*, et *Test de la protection réseau*.
- Dans la petite application qui se lance (Net Hasp Test), cliquer sur le bouton **Test**.



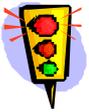
- Le résultat de ces tests doit nous être envoyé par fax ou par e-mail ; pour cela, il faut retrouver le fichier texte généré avec le chemin suivant :

C:\Program Files\ROBOT Structural Office\ROBOT Millennium\Prot\Testnet.txt

V **Version Réseau de ROBOT Millennium : Je rentre le code de mise à jour de la protection dans ROBOT Millennium mais cela ne fonctionne pas ?**



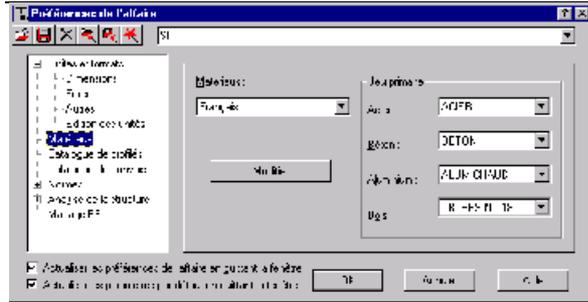
- Ce fonctionnement est normal. La mise à jour de la protection par codes de la version Réseau de ROBOT Millennium ne se fait pas dans ROBOT Millennium mais avec l'outil « Administrateur du logiciel ROBOT Millennium » que l'on trouve par *Démarrer, Programmes, ROBOT Structural Office*.



- **Attention**, ce code doit être rentré par l'Administrateur de la version réseau de ROBOT Millennium, c'est à dire la personne qui a effectué l'installation « Serveur » de ROBOT Millennium et s'est loguée sur le réseau (Login) comme telle.

11.2. MODELISATION

v Comment changer les caractéristiques des matériaux ?



- Sélectionner *Préférences de l'affaire* dans le menu déroulant *Outils*,
- Sélectionner *Matériaux*,
- Définir dans l'éditeur les nouvelles valeurs définissant le matériau,
- Sauvegarder ce fichier texte avant de quitter l'éditeur,
- Quitter la fenêtre *Robot Millennium* suivante par **Annuler** et non par **OK**,
- Générer une nouvelle affaire.

v Comment modifier le type de structure ? Par exemple comment passer du type « portique plan » vers « portique spatial »

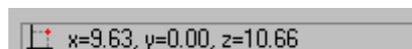
1. Sélectionner la commande *Type de structure* dans le menu déroulant *Structure*.
2. Sélectionner l'icône correspondant au type « **structure spatiale** ».
3. cliquer sur l'icône 



Cette fonction peut être utilisée pour transformer les charges Neige et vent 2D en charges Neige et vent 3D par copie des portiques .

v Comment rentrer les coordonnées d'un point au clavier ?

Pour faire apparaître la fenêtre de dialogue des coordonnées absolues ou relatives , il suffit de cliquer sur la partie inférieure de l'écran représentant les coordonnées :

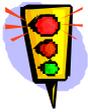


v Comment insérer une structure modélisée sous ROBOT V6 ?

1. Dans le menu déroulant *Structure* ,
 - Choisissez la commande *Insérer*,
 - Sélectionner *fichier texte ROBOT*,
 - Dans le champ *Type des fichiers* choisissez *fichiers ROBOT V6 (*.*)*.

ATTENTION : pour utiliser cette méthode, il faut préalablement avoir choisi le bon type de structure...

2. Cliquer sur l'icône  puis sur l'icône 



Certains fichiers ROBOT V6 ne peuvent être importés dans **Robot Millennium**, car ceux-ci comportent des spécifications non disponibles dans la version actuelle de **Robot Millennium**.

v Quelle est l'utilité du système de bureaux ?



Ce système d'affichage des fenêtres permet de décomposer la modélisation de la structure et l'exploitation des résultats étape par étape.

Chaque bureau regroupe des fenêtres spéciales et un menu déroulant adapté à la fonction du bureau.

Le système de bureaux prédéfinis facilite considérablement l'utilisation et accélère l'accomplissement des étapes successives de l'étude de la structure : analyse, dimensionnement et modification de la structure dimensionnée.



Certaines commandes sont accessibles uniquement dans certains bureaux (menus différents suivant le bureau choisi).

v Comment définir les nœuds par coordonnées directement dans un tableau ?

- Choisir le bureau **NŒUDS**,
- Dans le tableau des nœuds :
 - si vous désirez modifier les coordonnées de nœuds, il suffit de cliquer dans la cellule désirée puis de rentrer au clavier la nouvelle valeur ,
 - si vous désirez créer un nouveau nœud , il faut se placer à la dernière ligne du tableau « * » puis rentrer les coordonnées du nouveau nœud,
- Attention, bien valider la valeur rentrée à l'aide de la touche Entrée du clavier.

v Comment peut-on définir des lignes de construction ?



- Choisir le bureau **DEMARRAGE**,
- Pour accéder aux lignes de construction :
 1. Sélectionner dans le menu déroulant *Structure* , la commande *ligne de construction* .
 2. Cliquer sur l'icône 
- Définir pour chaque direction les lignes de construction.



Ces lignes permettent de modéliser rapidement une structure en utilisant les points d'intersection entre ces lignes perpendiculaires comme des points d'insertion. De plus, vous pourrez sur une structure de type Portique ou treillis changer rapidement vos dimensions en déplaçant simplement les lignes de construction et les éléments suivront.

v Pourquoi les lignes de construction ne semblent pouvoir être définies que suivant X et Z ?

Les directions possibles des lignes de construction dépendent du choix de votre type de structure .

Dans votre cas , vous avez certainement choisi le portique plan .

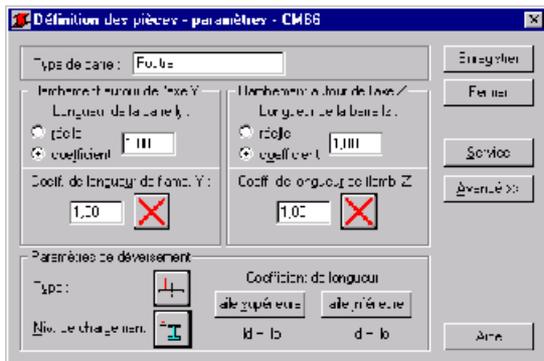
Si vous choisissez l'option *portique spatial*, vous devez définir des lignes de construction suivant les trois axes .

v Quelle est l'utilité des types de barres lors de la création d'un élément ?

Les types de barres permettent de définir dès la saisie de la géométrie de la structure des paramètres de flambement , de déversement , et de chargement pour des barres et de les sauvegarder .

Ces paramètres seront utilisés lors de la vérification et du dimensionnement de la structure.

v Comment créer un type de barre ?



- Choisir le bureau **DEMARRAGE**,
- Dans le menu déroulant *Structures* , sélectionner la commande *Paramètres réglementaires*, puis *Type de barre acier*.
- Dans la fenêtre qui apparaît sélectionnez l'icône qui permet de créer un nouveau type de barre  en définissant ses paramètres et le sauvegarder sous un nom de votre choix .



Pour pouvoir sauvegarder et utiliser un nouveau type de barre dans une autre affaire , ce type de barre doit être déclaré comme un nouveau type de barre et non une modification (aucune flèche ne doit se trouver dans la liste des types de barres).

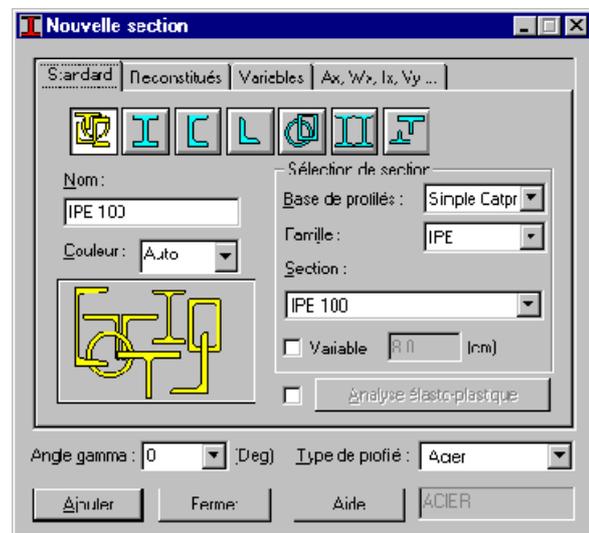
v Pourquoi , dans la liste déroulante section , je ne trouve que quelques types de profils ? Comment choisir d'autres profils dans les catalogues ?



Cette fenêtre permet à l'utilisateur de définir ses profilés les plus souvent utilisés. Tout ajout d'un nouveau profilé est sauvegardé dans le fichier de préférences de ROBOT Millennium.

Pour ajouter un nouveau profilé dans la liste utilisateur :

- Choisir le bureau **SECTIONS ET MATERIAUX**,
- Dans la boîte de dialogue *Profilés* , cliquer sur l'icône  afin d'importer un nouveau profilé,
- Dans la boîte de dialogue *Nouvelle section*, choisissez votre section puis quitter la fenêtre par la touche **Ajouter**.

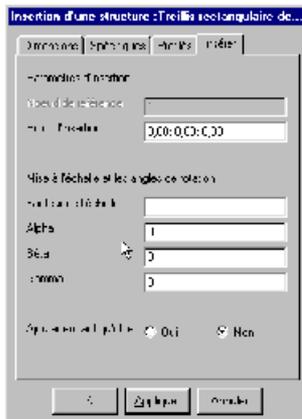


v Comment procéder pour implanter sur une structure existante une sous-structure issue des structures-types ?

Pour accéder aux *Structures-types* :

- Dans le bureau **DEMARRAGE** , au choix :
 - cliquer sur l'icône  dans la barre d'outils verticale,
 - dans le menu déroulant *Structure* , choisir *Insérer* puis *Structures-type*,
- Dans la fenêtre qui apparaît choisir la *Structure-type* désirée,
- Sélectionner l'onglet *Insérer* , puis cliquer dans le champ *point d'insertion* dont le fond apparaît vert,
- Définir au clavier ou bien dans la fenêtre graphique, les coordonnées du point d'insertion de la structure.

v **Comment peut-on modifier une structure-type ou une sous-structure qui a été implantée sur la structure modélisée ?**



Si lors de l'insertion de cette structure-type vous avez choisi dans l'onglet **insérer** :

- d'ajouter la **structure en tant qu'objet**, celle-ci est modifiable globalement mais on ne peut pas accéder aux barres la composant directement sur l'écran graphique .
- de ne pas ajouter la **structure en tant qu'objet**, vous pouvez modifier les barres la composant directement sur l'écran graphique .

v **Quelle est la différence entre le bouton Appliquer et le bouton OK dans la boîte de dialogue des structures-types ?**

Le bouton **appliquer** permet de visualiser sur l'écran graphique la structure avec les paramètres que vous avez définis, sans que celle-ci soit enregistrée dans votre structure actuelle .

Le Bouton **OK** permet de quitter la fenêtre de dialogue des structures-types en intégrant celle-ci dans la structure actuelle .

v **Comment affecter à une section donnée un matériau particulier ?**

Choisir le bureau **SECTIONS ET MATERIAUX**,

Dans la boîte de dialogue *Matériaux* :

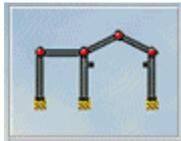
- Choisir le matériau désiré
- Choisir la section à laquelle vous désirez affecter ce matériau
- Cliquer sur **Appliquer**.

v Comment s'effectue la définition des conditions d'appuis ?



- Dans *Robot Millennium*, les appuis sont définis comme des objets et permettent ainsi à l'utilisateur de sauvegarder ses conditions d'appuis .
- Il en résulte un gain de temps appréciable pour l'étude des structures futures .
- Choisir le bureau **APPUIS** :
- Dans la boîte de dialogue *Appuis* , vous pouvez choisir le type d'appui qui vous convient .
- Double-cliquer sur le nom d'un appui pour avoir accès aux conditions d'appuis.

v Comment lancer la génération des charges climatiques de Neige et Vent ?



Si vous avez choisi le type de structure **portique plan**

Dans le menu déroulant *Chargements* , choisir la commande *Autres charges*, puis *Neige et vent 2D*.

Dans le bureau des chargements, cliquer sur l'icône



Si vous avez choisi sur l'écran d'accueil de *Robot Millennium*, l'étude **d'une structure paramétrée**, cliquez sur l'icône



v Comment peut-on facilement effectuer des sélections multiples graphiquement ?

Placer le curseur sur l'écran graphique , si le curseur n'apparaît pas comme une main , cliquer sur le **bouton droit** de la souris et choisir *Sélectionner*.

Vous pouvez sélectionner plusieurs éléments à l'aide d'une fenêtre en notant que :

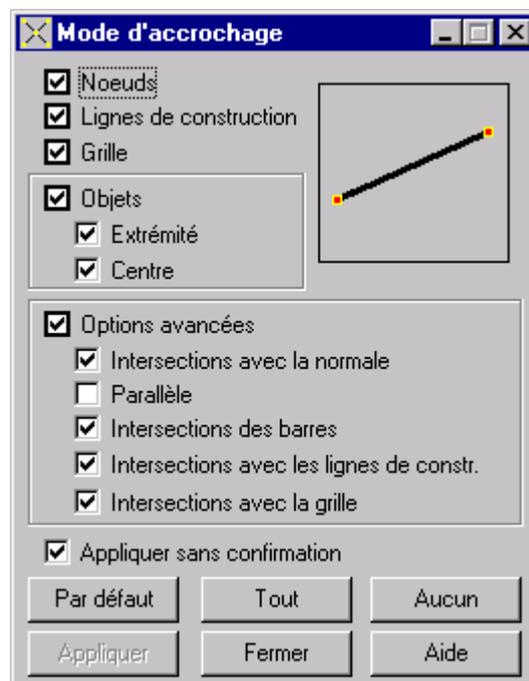
- Si vous dessinez cette fenêtre de la gauche vers la droite, seuls les éléments contenus entièrement dans cette fenêtre seront sélectionnés (sélection par fenêtre).

- Si vous dessinez cette fenêtre de la droite vers la gauche, tous les éléments dont une partie ou l'ensemble se situe à l'intérieur de la fenêtre seront sélectionnés (sélection par capture).

v Comment modifier le mode d'accrochage ?

Cette opération est possible de deux façons :

- Cliquer sur le **bouton droit** de la souris
- Sélectionner *Mode d'accrochage*, puis choisir le mode désiré
- Cliquer sur l'icône  dans le coin inférieur gauche de l'écran



v Comment peut-on modifier un ensemble de barres , un portique de pignon par exemple ?

Il faut pour cela réaliser un groupe contenant les éléments concernés :

- Sélectionner les éléments considérés,
- Dans le menu déroulant *Edition* , sélectionner la commande *Modifier sous-structure*, puis *Grouper*,

Cette sélection constitue donc à présent un objet unique que l'on peut modifier (étirer, déplacer , ...).



Lorsque vous avez terminé les opérations de modification de l'objet , pour supprimer ce groupe :

- Dans le menu déroulant *Edition* , sélectionner la commande *Modifier sous-structure*, puis *Dissocier*.

11.3.RESULTATS : exploitation des tableaux

v Comment exporter un tableau de résultats vers Microsoft- Excel ?

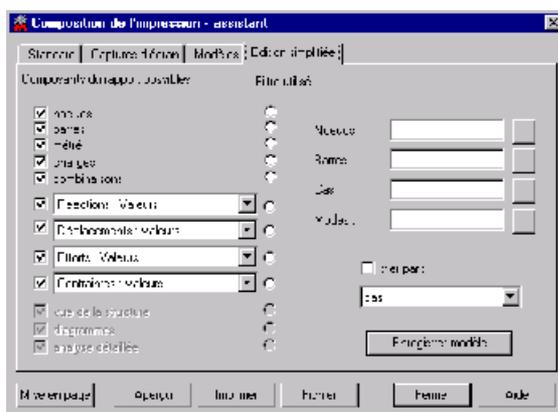
- Activer la fenêtre du tableau désiré,
- Cliquer sur le bouton droit de la souris sur le tableau lui-même et choisir dans le menu contextuel qui apparaît « convertir au format d'Excel (CSV) »,
- Sauvegarder votre fichier au format **csv**.
- Sous Microsoft-Excel, rappeler votre fichier en choisissant comme type de fichier les **Fichiers Texte (*.prn, *.txt, *.csv)** .



Vous pouvez aussi utiliser le presse-papiers par les commandes copier / coller disponibles en cliquant sur le bouton droit de la souris pour exporter vers Excel tout ou une partie du tableau sélectionné.

v Dans l'onglet Edition simplifiée de la Composition d'impression, pourquoi mes filtres ne s'appliquent-ils pas ?

- Dans la partie gauche de la fenêtre, choisissez les tableaux souhaités.
- Dans la partie droite, établissez les filtres d'affichage :



- Affichage du tableau sans prise en compte des filtres
- Affichage du tableau avec prise en compte des filtres
- Tableau non sélectionné (sélection du mode par clics successifs de la souris dans la case à cocher)

11.4.CALCULS

v Que signifie la mention « résultats non actuels » ou « résultats absents » dans le titre de la fenêtre principale de ROBOT Millennium ?

Ces mentions renseignent l'utilisateur sur l'état des résultats accessibles.

« résultats absents » : la structure n'a pas encore été calculée,

« résultats non actuels » : la structure a été modifiée depuis le dernier calcul.

v Comment peut-on lancer les calculs ?

Au choix :

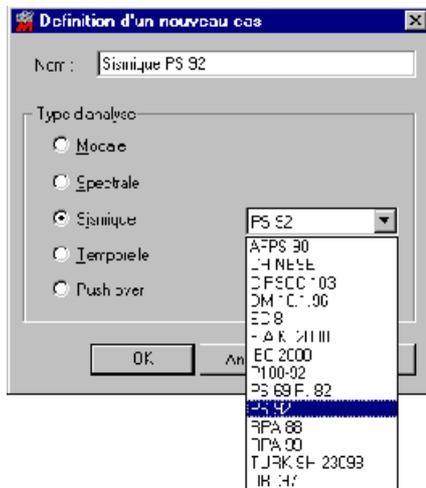
S'il s'agit du premier calcul de la structure, il suffit de passer dans le bureau résultats, le calcul s'effectue alors automatiquement :

- Si un calcul de la structure a déjà été effectué , cliquer sur l'icône 
- Par le menu déroulant *Analyse* puis sélectionner, la ligne de commande *Calculer*.

v Comment déclarer une analyse dynamique ?



- Cliquer sur l'icône .



- Cliquer sur **Définir un nouveau cas**, puis choisir *Analyse Modale* ou *Analyse sismique*

(et dans ce cas choisir le code de calcul parasismique destiné).

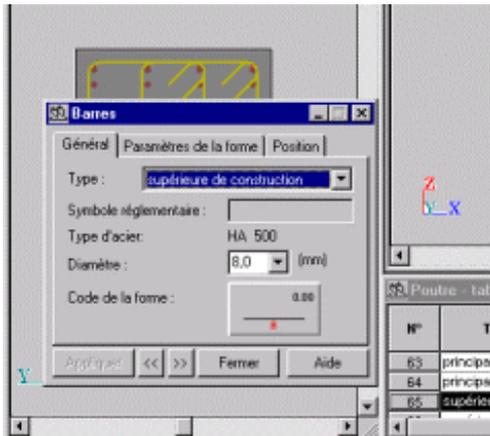
v **Comment peut-on modifier le type d'analyse (par exemple : linéaire en non-linéaire) ?**



- Cliquer sur l'icône
- Cliquer sur **Changer type d'analyse**,
- Définir les paramètres de l'analyse.

11.5.DIMENSIONNEMENT BETON ARME : Module Poutres

v Comment modifier des armatures calculées par ROBOT Millennium ?

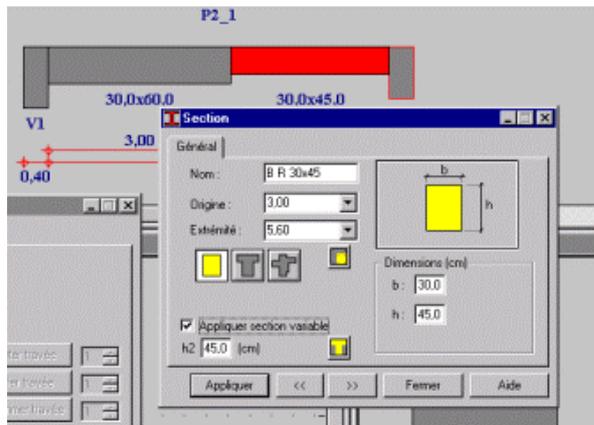


Il est possible de modifier la longueur et toutes les caractéristiques des barres présentes dans le tableau des armatures situées dans le bureau **ARMATURES**.

Certaines modifications peuvent être réalisées directement dans le tableau.

D'autres modifications (position des barres, formes, types) sont accessibles directement dans la boîte de dialogue **Barres** à gauche du tableau des armatures dans le bureau des Armatures.

v Comment réaliser un décaissé dans une poutre ?



Sélectionner une travée dans l'écran graphique

A l'aide du bureau **POUTRES - DEFINITION**, dans la boîte de dialogue **Définition de la section**, affecter les sections désirées aux différentes parties de la poutre considérée en remplissant les champs origine et extrémité avec les valeurs intermédiaires.

En sélectionnant la partie droite de la poutre dans l'écran graphique, l'icône  devient accessible et permet de positionner la section du tronçon actif de la poutre par rapport à la section située immédiatement à gauche de celle-ci.

v Comment calculer le ferrailage d'une poutre très sollicitée ou de section faible ?

Sélectionner l'icône d'option de ferrailage et valider des diamètres fixes pour les armatures longitudinales.

v Comment accéder à l'option calcul complet ?



Lors d'un premier calcul, cette option apparaît grisée car l'ensemble des calculs (sollicitations + ferrailage) doit être effectué.

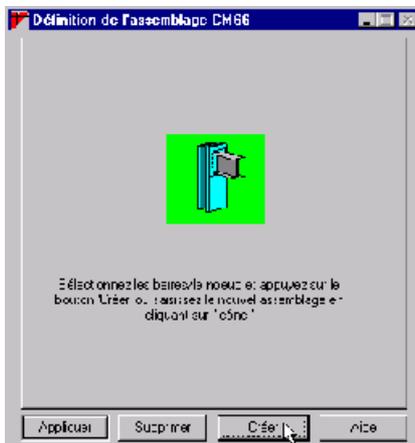
Lors d'un nouveau calcul de la poutre, cette option est accessible et permet, en supprimant la coche, de lancer uniquement le calcul des armatures d'acier, sans recalculer les sollicitations.

11.6.ASSEMBLAGES

v Comment réaliser le calcul des assemblages ?

- Si la fenêtre active est celle représentant la structure entière, le calcul de la structure entière est réalisé.
- Si la fenêtre active est celle représentant l'assemblage, le calcul de l'assemblage est effectué.

v Comment procéder à la définition d'un assemblage ?



- Lorsque vous avez réalisé la modélisation de votre structure et généré les calculs, sélectionnez le bureau **ASSEMBLAGES**.
- Sélectionner le nœud d'intersection et les barres composant votre assemblage.
- Cliquer sur la commande *Créer l'assemblage* dans la fenêtre définition de l'assemblage.

v Est-il nécessaire d'imprimer une par une toutes les notes de calcul des assemblages ?

Vous pouvez définir plusieurs assemblages dans votre structure par la méthode ci-dessus :

- Sélectionner dans le menu déroulant *Fichier*, la commande *Composer impression ...*
- Sélectionner *Vérification des assemblages* dans l'onglet *Standard*, puis **Ajouter** ; ainsi le dessin et les notes de calculs des assemblages seront insérés dans la liste d'impression.

12. ANNEXES

12.1. Eléments de type barre dans l'analyse non -linéaire disponible dans le logiciel Robot

Symboles utilisés :

E - module d'Young

G - module de cisaillement G

ν - coefficient de Poisson

fd - limite de plasticité

Ax - section d'acier

Ix - moment d'inertie en torsion

Iy - moment d'inertie en flexion dans le plan XZ

Iz - moment d'inertie en flexion dans le plan YZ

ky, kz - coefficients correctifs pour la rigidité du cisaillement dans la direction Y et Z

L - longueur de la barre.

1. Remarques initiales et principes

Pour les éléments de type barre (poutre), les principes suivants ont été adoptés :

- Les mêmes formulations pour 2D et 3D (portique 2d & 3D, grillages)
- Le même élément permettant l'analyse non-linéaire matérielle et/ou géométrique
- L'élément utilise uniquement les degrés de libertés standard dans deux nœuds extrêmes :

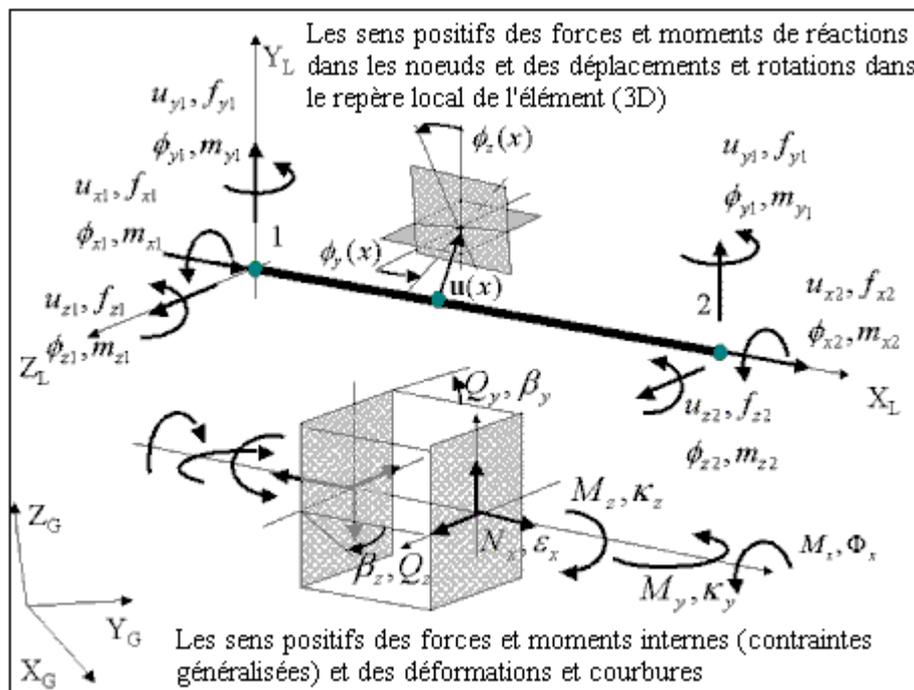
$$\mathbf{d} = \{\mathbf{u}, \mathbf{f}\} = [u_x, u_y, u_z, \phi_x, \phi_y, \phi_z]^T$$

- Il est possible d'utiliser :
 - - l'influence du cisaillement (modèle de Timoshenko)
 - - section à inertie variable - uniquement pour la non-linéarité géométrique.
 - - sol élastique (de Winkler)
- Deux niveaux de non-linéarité géométrique sont disponibles : non-linéarité (théorie de IIème ordre), P-DELTA (la théorie la plus précise possible - déplacements et rotations importants - approche incrémentale avec la mise à jour de la géométrie)
- Si on admet que les déplacements sont faibles et la non-linéarité physique est absente, dans la limite, les résultats sont identiques à ceux pour les éléments linéaires standard
- Dans l'analyse de la non-linéarité matérielle, on utilise l'approche orientée fibre et la loi constitutive contrainte-déformation pour l'état uniaxial au niveau du point (fibre)
- Etats de cisaillement et torsion sont traités comme élastiques linéaires et ils ne sont pas conjugués avec l'état des efforts axiaux/de flexion au niveau de la section

- Relâchements et rotules non-linéaires peuvent être réalisés uniquement en tant qu'éléments DSC
- Tous les types de charges sur éléments (comme pour les éléments standard) sont admissibles, à moins que les forces nodales agissant sur la structure soient définies au début du processus (cela veut dire que l'analyse ne prend pas en compte de modifications dues au transfert des charges sur éléments vers les nœuds causées par la non-linéarité géométrique ou matérielle)
- A part l'élément élasto-plastique, il est possible de générer les rotules élasto-plastiques dans les sections voulues de la barre - développement de l'option « rotules non-linéaires » (voir point 5)

2. Géométrie, cinématique et approximation du champ de déformation

Géométrie, convention des signes pour les efforts, déplacements, contraintes et déformations



Dépendances cinématiques principales :

Dans le repère local de l'élément, domaine géométrique linéaire, les déformations généralisées \mathbf{E} au niveau de la section constituent (symbole $(\bullet)_{,x}$ signifie la différentiation le long de l'axe de la barre) :

$$\mathbf{E} = \{\varepsilon_{ox}, \kappa_y, \kappa_z, \beta_y, \beta_z, \varphi\}^T$$

où :

Déformation longitudinale dans l'axe de la barre : $\varepsilon_{ox} = u_{,x}$

Courbures: $\kappa_y = \phi_{y,x}$
 $\kappa_z = -\phi_{z,x}$

Angles moyens de déformation propre : $\beta_y = v_{,x} - \phi_z$
 $\beta_z = w_{,x} + \phi_y$

Angle de torsion unitaire : $\varphi = \phi_{x,x}$

Approximation du champ des déplacements

Puisqu'il est possible de prendre en compte l'influence du cisaillement et la conformité des résultats obtenus pour l'élément non-linéaire, les fonctions appelées « fonctions physiques de forme » qui prennent en compte l'influence du cisaillement ont été introduites.

Barres 2D:

$$\mathbf{u}(x) = \mathbf{N}\mathbf{u}, \quad \mathbf{N} = \begin{bmatrix} h_1 & 0 & 0 & h_2 & 0 & 0 \\ 0 & h_3 & h_4 & 0 & h_5 & h_6 \\ 0 & h_3 & h_4 & 0 & h_5 & h_6 \\ h_1 & 0 & 0 & h_3 & 0 & 0 \\ 0 & h_7 & h_8 & 0 & h_9 & h_{10} \\ 0 & h_7 & h_8 & 0 & h_9 & h_{10} \end{bmatrix}$$

Les fonction de forme et leurs dérivées sont définies d'après les formules suivantes :

i	h_i	$h_{i,x}$
1	$1 - \xi$	$-1/L$
2	ξ	$1/L$
3	$\frac{1}{L(1+2\kappa)} [6\xi - 6\xi^2]$	$\frac{1}{L^2(1+2\kappa)} [6 - 12\xi]$
4	$\frac{1}{1+2\kappa} [(1+2\kappa) - 2(2+\kappa)\xi + 3\xi^2]$	$\frac{1}{L(1+2\kappa)} [-2(2+\kappa) + 6\xi]$
5	$\frac{1}{L(1+2\kappa)} [-6\xi + 6\xi^2]$	$\frac{1}{L^2(1+2\kappa)} [-6 + 12\xi]$
6	$\frac{1}{(1+2\kappa)} [-2(1-\kappa)\xi + 3\xi^2]$	$\frac{1}{L(1+2\kappa)} [-2(1-\kappa) + 6\xi]$
7	$\frac{1}{(1+2\kappa)} [(1+2\kappa)]$	$\frac{1}{L(1+2\kappa)} [-2\kappa - 6\xi + 6\xi^2]$
8	$\frac{L}{(1+2\kappa)} [-(1+\kappa)\xi + (2+\kappa)\xi^2 - \xi^3]$	$\frac{1}{(1+2\kappa)} [-(1+\kappa) + 2(2+\kappa)\xi - 3\xi^2]$
9	$\frac{1}{(1+2\kappa)} [2\kappa\xi + 3\xi^2 - 2\xi^3]$	$\frac{1}{L(1+2\kappa)} [2\kappa + 6\xi - 6\xi^2]$
10	$\frac{L}{(1+2\kappa)} [\kappa\xi + (1-\kappa)\xi^2 - \xi^3]$	$\frac{1}{(1+2\kappa)} [\kappa + 2(1-\kappa)\xi - 3\xi^2]$

où :

$$\xi = \frac{x}{L}$$

$$\kappa = \left\{ \frac{6EI_z}{k_y GAL^2}, \frac{6EI_y}{k_z GAL^2} \right\}$$

respectivement pour les plans XY et XZ.

Relations cinématiques dans l'écriture matricielle (théorie géométrique linéaire)

De façon général, si l'influence des déformations imposées est prise en compte

$$\mathbf{E}^o = \{ \varepsilon_o^{\Delta T}, \kappa_y^{\Delta T}, \kappa_z^{\Delta T} \}$$

l'incrément des déformations généralisées (sectionnelles) :

$$\Delta \mathbf{E} = \mathbf{B}_L \Delta \mathbf{u}_{Loc} - \Delta \mathbf{E}^o$$

$$\Delta \mathbf{u}_{Loc} = \mathbf{T} \Delta \mathbf{u}_{Glo}$$

2D :

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{ox} \\ \kappa_z \\ \beta_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1,x} & 0 & 0 & h_{2,x} & 0 & 0 \\ 0 & -h_{3,x} & -h_{4,x} & 0 & -h_{5,x} & -h_{6,x} \\ 0 & h_3 - h_{7,x} & h_4 - h_{8,x} & 0 & h_5 - h_{9,x} & h_6 - h_{10,x} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{u}_1 \\ \mathbf{u}_2 \end{bmatrix}$$

3D :

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{ox} \\ \kappa_y \\ \kappa_z \\ \beta_y \\ \beta_z \\ \phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{1,x} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_{2,x} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_{3,x} & 0 & h_{4,x} & 0 & 0 & 0 & h_{5,x} & 0 & h_{6,x} & 0 \\ 0 & -h_{3,x} & 0 & 0 & 0 & -h_{4,x} & 0 & -h_{5,x} & 0 & 0 & 0 & -h_{6,x} \\ 0 & h_3 - h_{7,x} & 0 & 0 & 0 & h_4 - h_{8,x} & 0 & h_5 - h_{9,x} & 0 & 0 & 0 & h_6 - h_{10,x} \\ 0 & 0 & h_3 + h_{7,x} & 0 & h_4 + h_{8,x} & 0 & 0 & 0 & h_5 - h_{9,x} & 0 & h_6 - h_{10,x} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & h_{1,x} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_{2,x} & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{u}_1 \\ \mathbf{u}_2 \end{bmatrix}$$

où :

$$\mathbf{u} = \{ \mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2 \} = \begin{cases} 2D : \{ u_{x1}, u_{y1}, \phi_{z1}, u_{x2}, u_{y2}, \phi_{z2} \}^T \\ 3D : \{ u_{x1}, u_{y1}, u_{z1}, \phi_{x1}, \phi_{y1}, \phi_{z1}, u_{x2}, u_{y2}, u_{z2}, \phi_{x2}, \phi_{y2}, \phi_{z2} \}^T \end{cases}$$

Déformations dans le point (fibre)

Etant données les déformations généralisées $\{\varepsilon_{ox}, \kappa_y, \kappa_z\}$ de la section, la déformation ε_{xl} ou son incrément $\Delta\varepsilon_{xl}$ dans un point quelconque de la section „l” aux coordonnées y_l, z_l est défini comme :

$$\varepsilon_{xl} = \varepsilon_{ox} + \kappa_y z_l + \kappa_z y_l$$

$$\varepsilon_{xl} = \mathbf{v}_l^T \mathbf{E}; \quad \mathbf{v} = \{1, z_l, y_l\}^T$$

l'incrément final de la déformation dans la fibre :

$$\Delta\varepsilon_{xl} = \mathbf{v}_l^T (\Delta\mathbf{E} - \Delta\mathbf{E}^o) = \mathbf{v}_l^T (\mathbf{B}\Delta\mathbf{u} - \Delta\mathbf{E}^o)$$

3. Contraintes et efforts internes dans l'élément

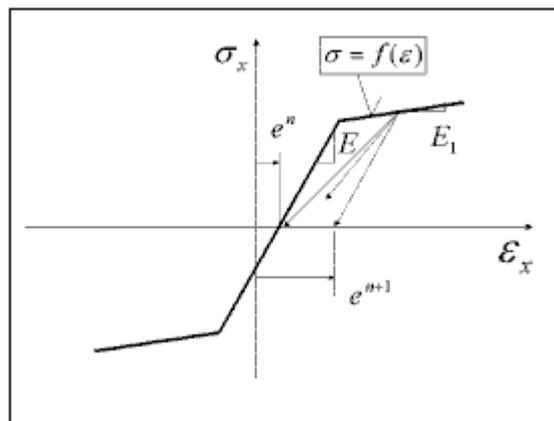
Loi constitutive au niveau du point

Elle est prise en mode général, incrémental, où les contraintes actuelles σ_x^{n+1} sont définies en tant que fonction de la contrainte dans le dernier état d'équilibre σ_x^n et de l'incrément actuel des déformations avec la prise en compte des déformations imposées (température)

$$\sigma_{xl}^{n+1} = F(\sigma_{xl}^{n+1}, \Delta\varepsilon_{xl})$$

en se basant sur la fonction $\sigma = f(\varepsilon)$ qui décrit la dépendance dans le processus de la charge active et sur la spécification de la loi de déchargement et de rechargement. Cela peut être la loi élasto-plastique avec écrouissage linéaire et la loi de déchargement spécifiée, c'est-à-dire : (a) élastique, (b) plastique, (c) endommagement, (d) mixte. Pour le déchargement élastique, le processus passif et actif se déroulent suivant la même formule $\sigma = f(\varepsilon)$. Dans les autres cas, il se déroule suivant la droite dont le point initial est défini pour le processus de déchargement donné $\{\varepsilon_{UNL}, \sigma_{UNL}\}$ et le module de déchargement D_{UNL} défini comme :

$$(b): D_{UNL_P} = E; \quad (c): D_{UNL_D} = \frac{\sigma^n}{\varepsilon^n - \varepsilon^n}; \quad (d): D_{UNL_M} = (1 - \alpha)D_{UNL_P} + \alpha D_{UNL_D}.$$



e^n est une déformation mémorisée pour laquelle le processus actif a commencé, initialisé après le passage par 0 dans les contraintes lors du déchargement ($e^1 = 0$).

La rigidité actuelle considérée comme dérivée est nécessaire dans l'analyse :

$$D_x = \frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon}$$

Définition des forces et rigidités sectionnelles

Au niveau de la section, le vecteur des forces sectionnelles (contraintes généralisées) est créé :

$$(2D) : \Sigma = \{N_x, M_x, Q_y\}^T$$

$$(3D) : \Sigma = \{N_x, M_y, M_x, Q_y, Q_z, M_x\}^T$$

Les états de cisaillement et de torsion Σ_{ST} sont traités comme élastiques linéaires et non conjugués avec l'état des forces axiales/de flexion au niveau de la section.

$$Q_y^{n+1} = Q_y^n + k_y GA \cdot \Delta\beta_y$$

$$Q_z^{n+1} = Q_z^n + k_z GA \cdot \Delta\beta_z$$

$$M_x^{n+1} = M_x^n + GI_x \cdot \Delta\varphi$$

Les états de compression/traction et flexion Σ_{NM} sont, de façon générale, traités comme conjugués à l'aide de l'approche orientée fibre. Jusqu'au moment où l'état élastique est assuré, c'est-à-dire, les déformations généralisées satisfont la condition de l'état élastique suivant :

$$\left| \frac{\varepsilon_{ox}}{\varepsilon_{oxELA}} \right| + \left| \frac{\kappa_y}{\kappa_yELA} \right| + \left| \frac{\kappa_z}{\kappa_zELA} \right| \leq 1,$$

où :

$\varepsilon_{oxELA} = \min_i (f_{di} / E_i)$; $\kappa_yELA = \min_i (f_{di} / (E_i |z_i|))$; $\kappa_zELA = \min_i (f_{di} / (E_i |y_i|))$, la section est traitée comme élastique et l'approche orientée fibre n'est pas activée.

$$N_x^{n+1} = N_x^n + EA \cdot \Delta\varepsilon_o$$

$$M_y^{n+1} = M_y^n + EI_y \cdot \Delta\kappa_y$$

$$M_x^{n+1} = M_x^n + EI_x \cdot \Delta\kappa_x$$

Si la condition de l'état élastique a été dépassée, les contraintes dues aux déformations axiales et à la flexion sont définies séparément pour chaque fibre et à partir de ces valeurs, on définit les grandeurs sectionnelles

$$\begin{aligned} N_x^{n+1} &= \sum_{i=1}^{N_{layer}} \sigma_{xi}^{n+1} A_i \\ M_y^{n+1} &= \sum_{i=1}^{N_{layer}} \sigma_{xi}^{n+1} A_i z_i \\ M_x^{n+1} &= \sum_{i=1}^{N_{layer}} \sigma_{xi}^{n+1} A_i y_i \end{aligned} \Rightarrow \Sigma_{NM} = \begin{bmatrix} N \\ M_y \\ M_x \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^{N_{layer}} v_i \sigma_i A_i$$

La rigidité au niveau **D** est définie :

dans l'état élastique comme :

$$D = \text{diag}\{EA, EI_y, EI_x, k_y GA, k_z GA, GI_x\}$$

Après le dépassement de la condition de l'état élastique comme :

$$D = \begin{bmatrix} D_{MM} & 0 \\ 0 & D_{ST} \end{bmatrix}$$

où :

$$D_{MM} = \sum_{i=1}^{Mayer} D_i A_i \mathbf{v}_i \cdot \mathbf{v}_i^T = \sum_{i=1}^{Mayer} D_i A_i \begin{bmatrix} 1 & z_i & y_i \\ z_i & z_i^2 & y_i z_i \\ y_i & y_i z_i & y_i^2 \end{bmatrix}$$

$$D_{ST} = \text{diag}\{k_y GA, k_x GA, GI_x\}$$

Vecteur des forces nodales et matrice de rigidité de l'élément

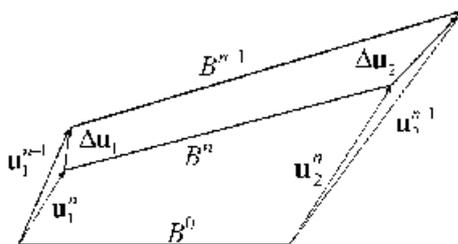
Ils sont définis à l'aide des formules standard, en utilisant la quadrature de Gauss (Ngauss=3).

$$\mathbf{f} = \int_0^L \mathbf{B}^T \boldsymbol{\Sigma} dx = \sum_{iG=1}^{NGAUSS} \mathbf{B}^T(x_{iG}) \boldsymbol{\Sigma}_{iG} W_{iG} dJ_{iG}$$

$$\mathbf{K}^e = \int_0^L \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} dx = \sum_{iG=1}^{NGAUSS} \mathbf{B}^T(x_{iG}) \mathbf{D}_{iG} \mathbf{B}(x_{iG}) W_{iG} dJ_{iG}$$

4. Non-linéarité géométrique

Les cas de figures suivants sont considérés :



- B^0 - initial
- B^n - de référence (dernier pour lequel les conditions d'équilibre sont satisfaites)
- B^{n+1} - actuel (itératif)

Le point de départ de la formulation de l'élément est le principe des travaux virtuels, écrit pour les incréments des déplacements sous forme suivante :

$$\int_V \tau_{ij}^n \delta \Delta \eta_{ij} dV + \int_V C_{ijkl} \Delta \varepsilon_{ij} \delta \Delta \varepsilon_{ij} dV = F^{n+1} - \int_V \tau_{ij}^n \delta \Delta e_{ij} dV, \quad \forall \delta \mathbf{u}$$

où : $\Delta \varepsilon$ incrément de la déformation lors du passage de B^n à B^{n+1} , Δe , $\Delta \eta$ étant ses parties, respectivement : linéaire et non-linéaire par rapport à l'incrément des déplacements $\Delta \mathbf{u}$, τ étant la contrainte référée à la configuration de référence, C_{ijkl} étant le tenseur des modules d'élasticités tangents.

Option *Non-linéarité*

Elle correspond à la formulation non-linéaire, c'est-à-dire à la théorie de IIème ordre. Puisque la non-linéarité matérielle est possible, l'on introduit la formulation incrémentale (mais sans modification de la géométrie de l'élément).

Relations cinématiques

Incréments des déformations dans l'écriture matricielle :

$$\Delta \mathbf{E} = \Delta \mathbf{e} + \Delta \boldsymbol{\eta} = \mathbf{B} \Delta \mathbf{u}_{Loc} + 1/2 \mathbf{g}^T \mathbf{H}_N \mathbf{g}$$

où :

$$\mathbf{g} = \{u_{,x}; v_{,x}; w_{,x}; \phi_{x,x}; \phi_{y,x}; \phi_{z,x}\}^T$$

étant le gradient d'incrément des déplacements $\mathbf{g} = \Gamma \Delta \mathbf{u}$

$$\Gamma = \mathbf{N}_{,x}$$

et

$$\mathbf{H}_N = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; (2D); \quad \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} (3D)$$

étant la matrice de sélection.

Vecteur des forces nodales et matrice de rigidité de l'élément

$$\mathbf{K}_{Loc} = \mathbf{K}_L + \mathbf{K}_\sigma$$

$$\mathbf{f}^{n+1} = \mathbf{f}^{n+1}_{ext} - \int \mathbf{B}^T \boldsymbol{\Sigma}^{n+1} dx - \mathbf{K}_\sigma \mathbf{u}^{n+1} = \mathbf{f}^{n+1}_{ext} - \mathbf{f}^{n+1}_{intL} - \mathbf{f}^{n+1}_{intMZ}$$

$$\mathbf{K}_L = \int_0^L \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} dx$$

$$\mathbf{K}_\sigma = \int_0^L \Gamma^T (NH_N) \Gamma dx$$

Algorithme au niveau de l'élément

Pas de modification de la géométrie de l'élément, transformation *local-global* effectuée à l'aide de la matrice initiale de transformation ${}^0\mathbf{T}$

$$\Delta \mathbf{u}_{Loc} = {}^0\mathbf{T} \Delta \mathbf{u}_{Glo}$$

$$\Delta \mathbf{E} = \mathbf{B} \Delta \mathbf{u}_{Loc} + 1/2 \mathbf{g}^T \mathbf{H} \mathbf{g} - \Delta \mathbf{E}^0$$

$$\boldsymbol{\Sigma}^{n+1} = \boldsymbol{\Sigma}^{n+1}(\boldsymbol{\Sigma}^n, \Delta \mathbf{E}),$$

$$\mathbf{K}_\sigma = \mathbf{K}_\sigma(\boldsymbol{\Sigma}^{n+1}),$$

$$\mathbf{f}^{n+1}_{Loc} = \mathbf{f}^{n+1}_{ext} - \mathbf{f}^{n+1}_{intL} - \mathbf{f}^{n+1}_{intMZ}$$

$$\mathbf{f}_{Glo} = {}^0\mathbf{T}^T \mathbf{f}_{Loc}$$

$$\mathbf{K}_{Loc} = \mathbf{K}_L + \mathbf{K}_\sigma$$

$$\mathbf{K}_{Glo} = {}^0\mathbf{T}^T \mathbf{K}_{Loc} {}^0\mathbf{T}$$

Option P-DELTA

C'est une certaine variante de la description de la barre qui admet les déplacements importants. On utilise l'approche de description actualisée de Lagrange.

Vecteur des forces nodales et matrice de rigidité de l'élément

$$\mathbf{K}_{Loc} = \mathbf{K}_L + \mathbf{K}_s$$

$$\mathbf{f}^{n+1} = \mathbf{f}^{n+1}_{ext} - \int \mathbf{B}^T \underline{\Sigma}^{n+1} dx = \mathbf{f}^{n+1}_{ext} - \mathbf{f}^{n+1}_{int}$$

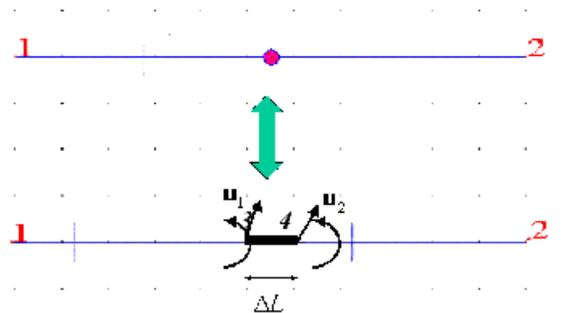
$$\mathbf{K}_L = \int_0^L \mathbf{B}^T \mathbf{D} \mathbf{B} dx$$

$$\mathbf{K}_s = \int_0^L \Gamma^T (\underline{\Sigma}^{n+1}) \Gamma dx$$

$$\underline{\Sigma} = \begin{bmatrix} N & M_y & 0 \\ M_y & N & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2D), \quad \underline{\Sigma} = \begin{bmatrix} N & M_y & M_z & 0 & 0 & 0 \\ M_y & N & 0 & 0 & 0 & 0 \\ M_z & 0 & N & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3D)$$

5. Rotules élasto-plastiques

Le travail élasto-plastique de la structure peut être modélisé de façon alternative par l'introduction des rotules non-linéaires dans les sections sélectionnées de la barre. La caractéristique de la rotule, représentée par l'élément DSC à 2 nœuds, est créée au moyen de l'algorithme de l'analyse de la section, décrit dans le point 3. Le rôle des déformations généralisées \mathbf{E} est joué par les déplacements réciproques des nœuds (référés aux directions locales de la barre) divisés par la longueur conventionnelle (fictive) ΔL de l'élément égale à la hauteur minimale de la section, et qui joue le rôle du volume de l'élément $dV = \Delta L$. Les forces et les déplacements des nœuds dernièrement créés dans l'élément DSC sont des degrés de liberté globaux, ce qui signifie qu'ils ne sont pas condensés.



L'algorithme au niveau de l'élément

- définition des déformations généralisées dans la section

$$\Delta \mathbf{E} = \mathbf{B} \Delta \mathbf{u}_{Glo}$$

- définition des forces sectionnelles (contraintes généralisées) et de la rigidité de la section suivant p.3.2

$$\boldsymbol{\Sigma}^{n+1} = \boldsymbol{\Sigma}(\boldsymbol{\Sigma}^n, \Delta \mathbf{E})$$

$$\mathbf{D}^{n+1} = \mathbf{D}(\boldsymbol{\Sigma}^n, \Delta \mathbf{E})$$

- définition des forces (réactions dans les nœuds) et rigidité de l'élément DSC

$$\mathbf{f}^{n+1} = -\mathbf{B}^T \boldsymbol{\Sigma}^{n+1} \Delta L$$

$$\mathbf{K}^{n+1} = \mathbf{B}^T \mathbf{D}^{n+1} \mathbf{B} \Delta L$$

où :

$$\mathbf{B} = \left[-\frac{\mathbf{T}}{\Delta L}, \frac{\mathbf{T}}{\Delta L} \right];$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} c & s & 0 \\ -s & c & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (2D)$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \mathbf{T}_{3 \times 3} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{T}_{3 \times 3} \end{bmatrix}; \quad (3D)$$

12.2. Conversion des charges en masses

Remarques préliminaires :

Dans la majeure partie des cas, l'origine des charges est la force de gravitation (masse). Par conséquent, les calculs en dynamique exigent la prise en compte des masses. Pour permettre à l'utilisateur une conversion facile des charges statiques (gravitationnelles) en masses, la commande spéciale « MASses ACTiver » a été introduite dans l'analyseur des fichiers texte. La définition de la conversion est également possible dans la boîte de dialogue *Options de calcul*.

Cela permet à l'utilisateur de définir les charges en vue de l'analyse statique et, ensuite, de les utiliser pour créer la répartition des masses dans le modèle de calcul de la structure en vue de l'analyse en dynamique.

Pour que la conversion soit effectuée de façon correcte, la commande exige deux paramètres. Le premier composant est le jeu de directions pour lesquelles les masses seront actives. Normalement toutes les directions du repère global (X, Y, Z) sont utilisées car l'inertie n'agit pas en toutes les directions seulement dans le cas des calculs spéciaux. Le deuxième paramètre est la valeur de l'inertie définie par le numéro du cas de charge statique et par la direction des charges à prendre en compte lors de la conversion. De plus, on peut donner le coefficient multiplicateur de la valeur de la charge.

Le caractère de la charge est converti automatiquement en masses : les forces ponctuelles sont transformées en masses ponctuelles, les moments en inertie de rotation, les forces réparties sont transformées en masses réparties.

Syntaxe :

```
ANA [ DYN | MODes | TEMPorelle | HARmonique |  
CAS (#<numéro> <nom>)  
MASy ACTiver [X/Y/Z]  
[X|Y|Z ] (MOIns|PLus) <liste_de_cas> COEfficient=<c>
```

ATTENTION : La syntaxe donnée ci-dessus a été introduite seulement dans les fichiers texte (elle sera supprimée du fichier de données après l'enregistrement du fichier par le logiciel).

Principes généraux :

Soit $\rho = \rho(x)$, fonction de la répartition de la densité des masses sur l'élément donné et $N(x)$, matrice des fonctions effectuant l'interpolation nodale (matrice des fonctions de la forme). La matrice des masses cohérentes sera créée en tant que base des transformations ultérieures suivant la formule générale suivante (1.1) :

$$\underline{M}_e = \int_{\Omega_e} \underline{N}^T(x) \rho(x) [\text{ActDir}] \underline{N}(x) d\Omega_e \quad (1.1)$$

où :

$$\text{ActDir} = \begin{bmatrix} \delta_1 & 0 & 0 \\ 0 & \delta_2 & 0 \\ 0 & 0 & \delta_3 \end{bmatrix} \delta_i = \begin{cases} 0, & \text{si } i - \text{direction globale } y \text{ n'est pas active} \\ 1, & \text{si } i - \text{direction globale } y \text{ est active} \end{cases}$$

La participation de la masse dans la direction globale est définie par la commande MASSes ACTiver [X/Y/Z] c'est-à-dire que la direction est active si elle a été définie. C'est une conséquence des principes généraux du traitement des masses dans ROBOT où certaines composantes des forces d'inertie peuvent être négligées dans l'analyse.

La matrice des masses sera créée à base de toutes les charges appartenant aux cas de charge spécifiés dans la <liste_de_charges> et agissant sur l'élément/nœud courant. Elle sera créée suivant les principes suivants :

Chaque enregistrement de charge appartenant au cas spécifié est converti en une masse de façon séparée et indépendante des autres charges et masses. La liste des cas de calcul peut contenir seulement des cas simples.

La matrice des masses totale est créée en tant que la somme des matrices des masses prises de toutes les composantes des charges et des masses définies préalablement (en tant que poids propre de la structure et/ou masses spécifiées pour les éléments). Par conséquent, la partie de la matrice des masses issue des charges sera soumise à la diagonalisation et/ou la partie issue de l'inertie en rotation sera négligée si le paramètre COHérentes | CONcentrées (ROTatives) le définit.

La valeur de la fonction de la densité dans le point donné est créée en tant que valeur de la projection courante de la force f sur le vecteur v direction globale définie de façon obligatoire et univoque .

$$[X | Y | Z] \{ \text{MINus} | \text{PLus} \} \rightarrow \underline{v}^T = \begin{cases} [\pm 1, 0, 0] \text{ if } \mathbf{X} \\ [0, \pm 1, 0] \text{ if } \mathbf{Y} \\ [0, 0, \pm 1] \text{ if } \mathbf{Z} \end{cases} \quad \hat{\rho}(\underline{x}) = \underline{v}^T \cdot \underline{f}(\underline{x}) \quad (1.2)$$

Seulement les valeurs positives sont prises en compte dans chaque point de l'intégration de sorte que :

$$\rho(\underline{x}) = \max(0, \hat{\rho}(\underline{x})) * |c| \quad (1.3)$$

ATTENTION : Le but des principes ci-dessus est de permettre une sélection facile des charges résultant de l'action de la force de gravitation. Comme il n'existe rien qui ressemble à la direction par défaut de l'action de cette force, l'utilisateur doit spécifier la direction qui joue ce rôle.

Toutes les directions utilisées pendant la conversion des charges en masses doivent être admissibles pour le type de structure donné. Par exemple :

Pour les Plaques, seule la direction Z est admissible (direction normale à la surface de la plaque).

Pour d'autres structures, seules les directions X et Y seront admissibles. La définition incorrecte de la direction sera négligée ou bien un message d'erreur sera affiché. Pour les structures spatiales, toutes les directions globales sont admissibles.

Exemple :

Prenons une poutre au centre de laquelle une charge gravitationnelle $F_y = -120$ kN est appliquée. Le cas statique représenté ci-dessous porte le numéro 3. Pour calculer les modes de vibrations propres de cette structure pour le cas n° 10 en prenant en compte cette masse ($F_x = F_y = 12\,232$ kg), il faut utiliser la commande suivante :

```

ANALyse          DYN          MODes=3          MASses=COHérentes
CAS              #10          modal
MASses          ACTiver          X          Y
Y MOIns 3
    
```



Description détaillée de la conversion pour tous les types de charges

Charges appliquées aux éléments de type poutre

Charge répartie sur l'élément

[Px=<px.>/Py=<py.>/Pz=<pz.>] (LOCAL/GLOBAL) (PROjeté) ([R=<r.>])([R=<r.>])

Le vecteur de la densité de la charge est converti pour les directions globales, il est déterminé par la définition :

(LOCAL/GLOBAL) (PROjeté) ([R=<r>]), avec la prise en compte de l'option (PROjeté) comme dans le cas des charges, la répartition des masses est ensuite déterminée suivant (1.2) (1.3)

Charge uniforme

La charge uniforme est convertie en masse comme la charge répartie sur l'élément.

ATTENTION : Cette option doit être utilisée avec vigilance car la masse générée à base de la charge permanente appliquée à la structure sera prise en compte dans les calculs en dynamique (si la densité du matériau est supérieure à 0)

Charge variable sur l'élément

(X=<x1>)[P=<p1>] ((FIN)(X =<x2>)[P=<p2>]) (R=<r>) (LOCAL | GLOBAL) (RELatif) (PROjeté)

La charge est convertie pour les directions globales conformément à la syntaxe suivante :

(LOCAL | GLOBAL) (PROjeté)([R=<r>])

et, ensuite, la répartition uniforme de la masse est déterminée suivant les formules (1.2) et (1.3)

ATTENTION : La règle (3) entraîne le mode suivant de traitement du signe de la charge variable, séparément pour chaque enregistrement (composante) de la charge et non pas pour la charge totale calculée comme la somme de toutes les charges agissant sur l'élément donné (conf. Figure 1.1.).

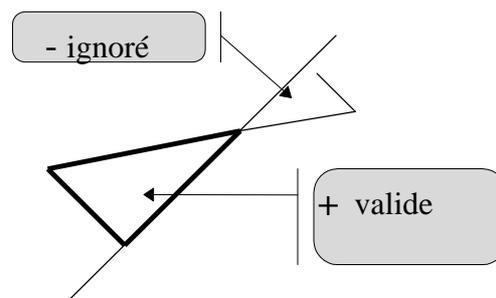


Figure 1.1

Force ponctuelle sur l'élément

[X=<x>] [F=<f>](R=<r>) (LOCAL) (RELatif)

La masse totale m concentrée dans le point x_0 est définie de la façon suivante à base de la représentation globale du vecteur de la force f :

$$m = \max(0, v^T f) * |c| \quad (1.4)$$

Ensuite, la matrice cohérente, matrice des masses est déterminée comme si la répartition de la masse était représentée par la fonction Delta de Dirac, par conséquent on a :

$$M_e = N^T(x_0) m [ActDir] N(x_0) \quad (1.5)$$

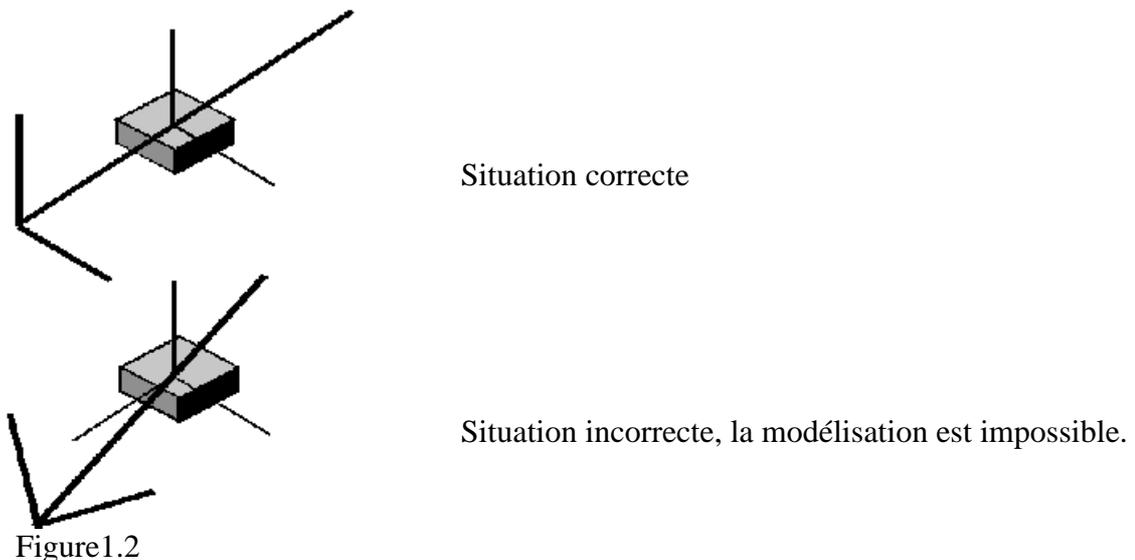
Moment ponctuel sur l'élément

[X=<x>] [F=<fc>] (R=<r>) (LOCAL) (RELatif)

Comme la détermination de la direction de la masse ne concerne pas la direction de l'inertie en rotation, il faut définir une règle distincte suivant laquelle sera effectuée la conversion du moment concentré appliqué à l'élément et celle de l'inertie en rotation du certain corps attaché à cet élément.

La transformation de type vectoriel <fc> est effectuée suivant la formule (R=<r>) (LOCAL) afin d'obtenir le vecteur I par rapport au repère local de l'élément. Pour contourner les incohérences inévitables dans la transformation de type vectoriel dans les cas où une transformation de type tensoriel doit être utilisée, la charge doit être définie à l'aide de la commande LOCAL et non pas R=<r>. Dans le cas contraire, un message d'avertissement sera émis.

On suppose que le repère local de l'élément correspond à l'axe d'inertie principal du corps. Par conséquent $I^T = [I_{XLoc}, I_{YLoc}, I_{ZLoc}]$ définit les moments d'inertie dans le repère local de l'élément. Il s'ensuit la limitation suivante de la modélisation :



Moment reparti sur l'élément

[M=<m>] (LOCAL)

Dans cette définition, <m> est un vecteur qui, après la transformation de type vectoriel vers le repère local de l'élément, représente la relation : densité de l'inertie en rotation (par rapport à l'axe local de l'élément) – longueur de l'élément.

Toutes les notions utilisées dans le cas du moment concentré sur l'élément sont appliquées (conf. Figure 1.2).

Charges agissant sur les éléments surfaciques

Dans la présente version, les charges sur les éléments surfaciques ne sont pas converties.

Charges nodales

Force ponctuelle

NOEud

$F = \langle f \rangle ([R = \langle r \rangle])$

Le vecteur de la force $\langle f \rangle$ est transformé suivant (1.2), (1.3) pour calculer la valeur de la masse nodale.

Moment ponctuel

NOEud

$F = \langle c \rangle ([R = \langle r \rangle])$

Comme la détermination de la direction de la masse ne concerne pas la direction de l'inertie en rotation, il faut définir une règle distincte suivant laquelle sera effectuée la conversion du moment concentré appliqué à l'élément et celle de l'inertie en rotation du certain corps attaché à cet élément.

La transformation de type vectoriel $\langle fc \rangle$ est effectuée suivant la formule ($R = \langle r \rangle$) afin d'obtenir le vecteur I par rapport au repère global de l'élément. Pour contourner les incohérences inévitables dans la transformation de type vectoriel dans les cas où une transformation de type tensoriel doit être utilisée, la charge ne peut pas être définie ni à l'aide de la commande LOCAL ni en utilisant $R = \langle r \rangle$. Dans le cas contraire, un message d'avertissement sera émis.

On suppose que le repère local de l'élément correspond à l'axe d'inertie principal du corps. Par conséquent $\underline{I}^T = [I_{XLoc}, I_{YLoc}, I_{ZLoc}]$ définit les moments d'inertie dans les coordonnées globales.

ATTENTION : Cette règle est différente de celles utilisées dans le cas de la masse ponctuelle attachées à l'élément de type poutre.

12.3.Principes théoriques des méthodes dynamiques utilisées dans le logiciel ROBOT Millennium

METHODES D'ANALYSE EN DYNAMIQUE UTILISEES DANS LE LOGICIEL ROBOT Millenium

Introduction

This document presents the description of the dynamic analysis methods applied in **Robot Millennium**. The theoretical background details and examples are included in the appendices - to simplify the first reading. This document is not a user's manual and is not aimed at familiarizing the user with the details of Robot interface. The program description is presented in Help. The aim of the current document is to expound the main ideas, which are realized into this program.

Most of the dynamic methods in **Robot Millennium** is based on modal analysis results. It is necessary to understand that modal analysis methods depend on a selected type of solver. For skyline solver the following methods are available: block subspace iteration (BLSI) method, subspace iteration (SI) method¹, Lanczos method and basis reduction method. The methods available for sparse direct solver² include: block subspace iteration (BLSI) method, Lanczos method and basis reduction method. Whereas for iterative solver the following methods are available: modified Lanczos method (pseudo mode – see 3.5 and appendies 3A, 3B), Ritz-gradient (PCG_Ritz) method and preconditioned conjugate gradient (PCG) method. Sparse direct solver (SPDS) is a specific form of Gauss elimination – for details see Help. Application of such a method is strongly recommended for analysis of medium-sized and large-scale problems (10 000 – 200 000 equations)³. It is a good alternative for iterative solver.

12.3.1. The Modal Analysis Methods

The modal analysis comprizes two basic approaches. The eigenproblem analysis

$$\mathbf{K}\vec{\Phi}_k - \omega_k^2 \mathbf{M}\vec{\Phi}_k = 0 \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (3.1)$$

¹ SI method has been developed in Robot as a first method of solving an algebraic eigenproblem. Such a method is slow and it is strongly recommended to apply BLSI method or Lanczos method instead of it.

² Temporary sparse direct solver involves the following limitations:

Sturm sequence check, "Upper limits" option, accelerations by shifts during BLSI are not available for sparse direct solver. A missing eigenvalue can be partially controlled by means of the BLSI method.

The method is not available for modal analysis recognizing static forces

³ In the current version for small problems, when all matrices can be allocated in RAM without block-by-block disk storage, skyline technique is faster, because usual matrix-vector product procedure acts faster than EBE procedure in SPDS technique. The situation is different, when size of the problem does not allow full allocation of all matrices in RAM – SPDS technique is then drastically faster. That disadvantage of SPDF technique for small problems will be eliminated in the next version.

is produced by the definition of the eigenvalues ω_k and eigenvectors $\vec{\Phi}_k$. It is the first approach, familiar to engineers. The second approach consists in generation of basis vectors

$$Q = \{\vec{q}_1, \vec{q}_2, \dots, \vec{q}_N\} \quad (3.2)$$

and search of the Ritz approximations $\tilde{\omega}_k, \tilde{\Phi}_k$ ($k=1,2,\dots,N$). It is based on the idea similar to the method of “Load depended Ritz vectors”, proposed by E.L. Wilson [1, 3] and applied into SAP2000. This approach is applied for seismic analysis and it is a powerful method when there are great difficulties with obtaining sufficient mass percentage (see section 3.5). The methods of modal analysis (first approach), which are concerned with definition of the eigenvalues ω_k and eigenvectors $\vec{\Phi}_k$, are discussed in this section.

Block subspace iteration (BLSI) method, subspace iteration (SI) method, selective orthogonalization Lanczos method and basis reduction method (see appendix 3A) are used when direct solvers (skyline or SPDS) are selected. Subspace iteration method is usually slow. Therefore, application of BLSI or Lanczos method is strongly recommended for analysis of medium-sized and especially large-scale problems, when a large number of eigenpairs is required. Basis reduction method may prove very effective for an experienced engineer, however, it requires additional information about basis nodes and appropriate basis directions.

Preconditioned conjugate gradient (PCG) method is used in the first approach, when iterative solver is selected. Such approach may be very efficient, when small number of eigenmodes are extracted (at the most 5). It should be used for wind analysis rather than for seismic analysis. PCG method may be used for estimation of the lowest eigenmode when a large-scale problem is met.

The second approach (which is realized by “Pseudo mode” Analysis mode) is presented in section 3.5.

The **block subspace iteration method** (BLSI) [1,3] is more general than Lanczos method, since it allows implementation of all types of mass matrices (see section 3.2) and is capable of analyzing separate structures. Iterations in a block of the constant size with immediate exclusion of converged vectors and addition of new start ones usually ensures faster computations compared to usual subspace iteration method [1-3]. Just as Lanczos method, BLSI can be applied to extract a large number of eigenpairs (till 100 – 200).

The **subspace iteration method** (SI) can be used for analysis of all types of mass matrix [4] and for analysis of separate structures, however, in case of a large number of required modes (approximately $N > 10$), this method is still very time-consuming, especially for large-scale problems.

The **Lanczos method** [12,16,17] is a powerful method allowing one to obtain a large number of eigenpairs ($N \sim 20 - 500$ and more). Although it is preferable for large-scale problems, it involves the following limitations:

- It is impossible to analyze separate structures
- The mass matrix type should be “lumped with rotations” or “consistent”
- It is impossible to disregard the material density of (in this case it suffices to assign a “fictitious” small density to avoid these limitations).



The **basis reduction method** [5] is known as the improved Rayleigh-Ritz method [4] or Bubnov-Galerkin method for discrete systems. This algorithm allows one to get approximate values of the first few eigenpairs if the user has some information about them. This method requires assigning of a master degree of freedom (MDOF) in order to get the reduced system. Thus, the user can control the process of creating the reduced model. It is a powerful tool for users who have some experience in dynamic analysis of structures and deal with the same type of structures whose behavior is known. This method allows one to exclude undesirable degrees of freedom (DOF) from the reduced model and to reduce the initial complex problem with a large number of DOF to a reduced form - with a considerably smaller number of DOF. The experience concerning structure dynamic analysis shows that some problems can be encountered by the user when the “automatic reduction methods” (BLSI, SI and Lanczos methods are taken into account) lead to a very complex computation process. For example, the local vibration modes of single bars can lead to such serious problems for these methods, since the computation process seeks the eigenpairs automatically without any selection. It should be noted that for the majority of cases in real structures these local vibrations will be restricted by some constraints that are not taken into account in the FEM model, or their contribution will be inessential to the overall system motion. Usually, the mass percentage is very small for such local vibrations. The usage of “exact” methods in this case will lead to the above-mentioned difficulties, however, the implementation of the approximate basis reduction method can simplify the computation process considerably.

The **preconditioned conjugate gradient** (PCG) [9-13] method is available for iterative solver. Application of such a method is recommended for extracting of a small number of eigenpairs when a large-scale problem is met. Implementation of the Pseudo mode (see 3.5) with modified Lanczos method or PCG_Ritz method is recommended if it is necessary to determine a large number of modes while running seismic or spectral analysis and iterative solver is selected.

The **Ritz-gradient** (PCG_Ritz) method [8] is available for iterative solver in pseudo mode. It allows one to produce an approximate solution in the terms of Ritz vectors. It is a very fast method for seismic and spectral analysis of medium size (10 000 – 100 000 equations).

Modified Lanczos method is an extension of Lanczos method when iterative solver is applied. It acts like a usual Lanczos method in the pseudo mode, however, being different from Lanczos method for direct solvers, it does not require factorization of a stiffness matrix. Instead of that the principles of preconditioned gradient method are implemented. Such approach is the most robust among all the dynamic methods of iterative solver, though it often appears not to be the fastest one.

Details of all dynamic methods are presented in appendix 3A.

12.3.2. Mass Matrix Types

The “Lumped without rotations”, “Lumped with rotations” and “Consistent” mass matrices of dynamic analysis can be applied to a structure.

The “Lumped without rotations” and “Lumped with rotations” are the diagonal mass matrices. These types of mass matrices require minimum computational effort.

The “Consistent” mass matrix appears when the user wishes to consider a system with the distributed parameters. It is commonly believed that a consistent mass matrix describes inertial properties of a structure more exactly than the lumped one. However, in most cases the lumped mass matrix provides a good approximation, since it is obvious that the inertial parameters can be presented less precisely than the stiffness ones. In fact, that kinetic energy is described as displacements of a structure, but potential energy is expressed through spatial derivative of displacements. It is a well-known fact that approximation error increases considerably during each differentiation [4]. Thus, for continual objects (solid, shells, plates), it is possible to approximate the mass parameters less precisely than the stiffness ones for the same mesh.

Usually, Hermit polynomials are used as shape functions for bars. It is an exact solution for most of the static problems and the dynamic problems when lumped mass matrix is considered. However, exact solutions for dynamic problems of a bar with distributed masses belong to the class of Krylov functions (it is a specific combination of hyperbolic and trigonometric functions). It enables the stiffness parameters in such case to be presented approximately when Hermit polynomials are used simultaneously with a consistent mass matrix. (Let us take note that, in fact, it is not intended for implementing a different type of shape functions for static and dynamic problems). Therefore, for most cases it is not a great benefit to complicate the dynamic model by the use of distributed mass parameters, since the approximate solution with consistent masses occurs instead of the exact solution for an approximate model (lumped masses).

Moreover, usually own masses of bar structural elements (girders, columns, etc.) are negligible compared to masses of walls and roof (dead load), which are taken into account through the technique of conversion of dead loads to masses. Such non-structural masses usually reduce the effects of distributed element masses.

All that was mentioned above leads to the following conclusion: for most practical cases the lumped mass matrix ensures a sufficiently precise approximation of structure inertial properties. It should be remembered that a consistent mass matrix requires considerable computational efforts, if a large-scale problem is analyzed. It should be certain that implementation of a consistent mass matrix will be justified before selection of such a type of matrix for analysis.

It is assumed that the mass matrix must be “Consistent”, if the rigid links are used into computation model.

If sparse direct solver or iterative solver is applied, element-by-element (EBE) technique is used for computation of matrix-vector product. It means, that the consistent mass matrix can never be assembled, however, all operations are performed only on the element level. For skyline solver, a consistent mass matrix is assembled and stored in the same way as a stiffness matrix. For small problems (at the most ~3000 equations) skyline technique is faster, although it still drastically time-consuming when the size of a problem increases.

It is possible to use the additional concentrated masses (added masses), and to convert static loads to masses.

When the Lanczos, PCG_Ritz or modified Lanczos method (iterative solver) are selected, only the “Lumped with rotation” and “Consistent” mass matrices are available.

12.3.3. “Upper Limits”

It is possible to calculate all eigenvalues and eigenmodes that do not surpass the user-defined value. This value is treated as the “upper limit”. When the “upper limit” is activated, *Robot* searches $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n \leq \omega^*$, where ω^* is the “upper limit”. The algorithm works in two steps. The Sturm sequence check is performed in the first step. It defines the number of eigenvalues “n” which is smaller than the “upper limit”. In the next step, the algorithm generates n eigenpairs, each one smaller than the “upper limit”.

Lanczos method and BLSI method are recommended for the type of analysis that uses “upper limits”, since usually it is necessary to obtain a large number of eigenpairs.

The criterion of mass participation percentage (see section 3.4) is ignored when “upper limit” is activated.

For example, such problem may arise when a user deals with the French seismic code PS-92. It is required that all frequencies smaller than 33Hz should be taken into consideration.

12.3.4. Mass Participation Percentage

It is possible to activate the criterion of mass participation percentage. The mass percentage for each mode ($k=1,2,\dots,N$) is defined as

$$m_{k,dir} = (\Gamma_k^{dir})^2 / M_{dir},$$

where $\Gamma_k^{dir} = \vec{\Phi}_k^T \mathbf{M} \vec{I}_{dir}$, Γ_k^{dir} is the mass participation factor for k eigenmode, \vec{I}_{dir} is the vector of unit translation into the direction ($dir = X, Y, Z$), $M_{dir} = \vec{I}_{dir}^T \mathbf{M} \vec{I}_{dir}$ is the total mass into direction dir, $\vec{\Phi}_k^T$ is k-th eigenmode, $\vec{\Phi}_k^T \mathbf{M} \vec{\Phi}_k = 1$.

The mass percentage for direction dir equals $M\%dir = \frac{\sum_{k=1}^N (\Gamma_k^{dir})^2}{M_{dir}}$. It defines the contribution

of all the modes involved in motion of a structure in the considered direction.

If the “Modal” Analysis mode is selected and the mass percentage for a specified maximum number of nodes is smaller than required, the user receives a message about the unsatisfactory mass percentage, while calculations are continued without any corrections.

It is necessary to set the “Seismic” or “Pseudo mode” Analysis mode to ensure automatic search for the required mass percentage. Details are presented in section 3.5.

12.3.5. Analysis Modes

The following dynamic analysis modes (regimes) will be presented in this section: Modal, Seismic, Pseudo mode.

Several seismic codes (UBC-97, French code PS-92) require that sum of masses for each direction (or for horizontal directions only) should be not less than 90%. Some “hard” problems may arise, when it is very difficult to achieve the required sum of masses due to small contributions of a large number of the lowest modes. Usually, this problem is caused by local character of the lowest modes. The Seismic mode and Pseudo mode are presented to improve the situation of such difficult problems. The effectiveness of such approaches is illustrated by appendix 3C. Lanczos method for direct solvers is available for these two modes. Modified Lanczos method and PCG_Ritz one are available for pseudo mode, when iterative solver is selected.

1. Modal mode

This mode constitutes a well-known approach implemented in the previous versions of **Robot**. Available methods: BLSI, SI, Lanczos and Basis Reduction Method for direct solvers and PCG method for iterative solver.

Convergence criteria for direct solvers: iterations will stop when $|\omega_i^k - \omega_i^{k-1}| / \omega_i^k < tol$, where $i = 1, 2, \dots, N$; k - is the iteration number, N – number of modes (defined by the user). The basis reduction method does not produce the convergence check, since it is not the iterative approach, although it is a kind of Ritz method. It needs increasing the number of master DOFs to improve the result precision.

Convergence criteria for PCG method (iterative solver):

$$\|\mathbf{r}\| / \|\lambda_k \mathbf{M} \bar{\Phi}_k\| = \|\mathbf{K} \bar{\Phi}_k - \lambda_k \mathbf{M} \bar{\Phi}_k\| / \|\lambda_k \mathbf{M} \bar{\Phi}_k\| < tol, \text{ where } \lambda_k = \omega_k^2, k = 1, 2, \dots, N$$

The details are described in appendix 3A.

Upper Limits – is the lower bound value for period, frequency and pulsation; if this parameter is different from 0, all the sequential eigenpairs from 0 to Upper Limit will be computed.

Mass% - the mass percentage (sum of masses for all computed modes for each direction)

Sturm check is a verification of skipped eigenpairs between 0 and shift parameter σ and consists in counting the negative elements on the diagonal of the decomposed shifted matrix $(\mathbf{K} - \sigma \mathbf{M})^{-1}$

It is very expensive procedure for large-scale problems. Let us take note that for seismic and spectral analysis it is not necessary to get the continuous spectra of eigenvalues. It is important only to ensure the sufficient modal mass percentage for each direction. If such a condition is fulfilled, completeness of the basis is ensured. Take note that implementation of BLSI method allows one to produce the partial verification of continuity of eigenvalue spectra without running Sturm check – see description of BLSI method.

Number of Modes	Upper Limits	Mass%	Program behavior

N	0 (inactive)	0 (inactive)	<p>Sturm check is checked. Such option ensures that skipped frequencies for first N modes are missing. It is available for direct solvers when BLSI, SI or Lanczos methods are applied. It is not available for basis reduction method and for all iterative solver methods. Define N first sequential eigenmodes. Sturm check is performed. If skipped frequencies are detected, user receives a warning about the number of skipped frequencies. If the user answers:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Yes, then iteration process is continued while the number of skipped eigenpairs is determined. Afterwards, Sturm check is repeated. • No, then converged eigenpairs are saved as a final result and the next case is calculated • Cancel, then iterations are continued while all skipped frequencies are determined. Warning is ignored. <p>Sturm check is unchecked - Sturm check is not performed</p>
N	ω^\bullet	Inactive (due to active Upper Limit)	<p>It is available only for direct solvers and for BLSI, SI, Lanczos methods. It is not available for basis reduction method and for all iterative solver methods. Sturm check is performed at the start of computations → the number of frequencies N1 which are contained between zero and Upper Limit is obtained: $0 < \omega_1 < \omega_2 < \dots < \omega_{N_1} < \omega^\bullet$</p> <p>If (N1 > N), user is warned about the number of frequencies N1. If the user answers:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Yes, it means: compute $0 < \omega_1 < \omega_2 < \dots < \omega_{N_1} < \omega^\bullet$ • No, it means: stop computations <p>If (N1 ≤ N), compute $0 < \omega_1 < \omega_2 < \dots < \omega_{N_1} < \omega^\bullet$ without any warnings.</p> <p>In both cases it is possible to derive a number of converged eigenpairs higher than N1, but they will be saved as final results only when: $0 < \omega_1 < \omega_2 < \dots < \omega_{N_1} < \omega^\bullet$. All the converged eigenpairs that are larger than ω^\bullet, will be lost.</p>
N	Inactive (due to active of mass%)	Active: 0< mass%< = 100%	<p>It is available for all methods of direct solvers. It is not available for iterative solver. If mass% is not satisfactory, a relevant message appears. No corrections are performed. Otherwise, computations are performed in the same manner as for the first case.</p>

--	--	--	--

2. Seismic mode

Such mode is available only for direct solvers – skyline or sparse.

In case of seismic and spectral analysis, it is not important to use the sequentially ordered eigenpairs, since only the eigenpairs that contribute considerably to the seismic response (e.g. they have significant mass participation factor) should be taken into account. Thus, the Sturm Check is not performed.

In general, the Lanczos method usually ensures convergence of the number of eigenpairs considerably greater than N eigenpairs in the sequentially increasing order. When the user wants to restore the skipped eigenvalues, it is necessary for him/her to get the number of converged frequencies considerably greater than the first N desired frequencies. For example, it is typical that the Lanczos method yields the following convergent frequencies

$$\omega_1 - \omega_{10}, \omega_{12}, \omega_{13}, \omega_{18}, \omega_{21}$$

When the user requires the sequentially ordered eigenpairs, he will obtain only the first 10 ones. The last 4 eigenpairs are simply thrown away, as well as the correspondence mass contribution. The essence of the proposed “Seismic” mode is to take all converged eigenpairs into account (not only the first sequential ones). It ensures a bigger sum of masses compared to “Modal” mode.

Available methods: Lanczos Method.

Convergence criteria: $\vec{r}_i = \vec{\Phi}_i - \omega_i^2 \mathbf{K}^{-1} \mathbf{M} \vec{\Phi}_i; \|\vec{r}_i\| / \|\vec{\Phi}_i\| \leq tol$; $\vec{\Phi}_i$ is i-th eigenvector; there is adopted $tol=1.0e-02$ for current version.

Upper Limits are ignored.

The current mass percentage is defined as an average value of M%x, M%y, M%z for 3-D problems and as a minimum value of M%x, M%z for 2-d problems (M%x, M%y, M%z are the current sum of masses for x, y, z direction, respectively). This strategy is explained by the fact that it is usually very difficult to ensure sufficient mass percentage for vertical direction. It is possible to verify the mass percentage for each direction in the final results.

Nmodes	Upper Limits	Mass%	Program behavior
N	Inactive	Inactive (0)	Compute the N unsequenced eigenpairs. Sturm check is not performed. The number of converged eigenpairs always equals N.
N	Inactive	Active: $0 < \text{mass\%} < = 100\%$	N is ignored. The computations continue, until the current mass percent is not smaller than the demanded mass%, or the user is prompted by the appropriate message to stop the computations, or the number of converged eigenpairs achieves the maximum available value. This value set is defined internally and it is adopted to equal 100 in the current version. After each 20 Lanczos steps program re-computes the number of the converged eigenpairs and modifies the current mass percentage. The user receives a warning message about the achieved mass percent. The user may respond to the message in the following ways: · Yes: continue computations during the next 20

			<p>Lanczos steps and display this message again, if required mass percentage is not achieved (and the number of converged eigenpairs does not exceed the maximum available value)</p> <ul style="list-style-type: none"> · No: save the converged eigenpairs as final results and pass them to the next case · Cancel: ignore all warnings in the future and continue computations.
--	--	--	---

3. Pseudo mode.

Such option is available both the direct and iterative solvers.

This mode is recommended only for the seismic and spectral analysis when the Modal and Seismic modes are still very time consuming. The Modal mode and Seismic mode use the eigenmodes as the basis vectors for presenting seismic response and it is possible to require a very large number of eigenmodes to ensure a sufficient sum of masses for some difficult problems. The Pseudo mode rejects this idea and generates the Ritz approximations to the lowest eigenpairs by means of Lanczos vectors for direct solvers or Ritz-gradient method [8] and modified Lanczos method for iterative solver. This is a more effective way of operation in most cases, because a smaller number of basis vectors is required than in case of modal mode. It was shown by E.L.Wilson [1-3]. Pseudo mode is similar to the "Load depended Ritz vectors", proposed in [1-3] and applied in SAP2000. It should be noted that the French code PS-92 admits the application of the scientifically-based approaches to add some systems of basis vectors to the existing eigenmodes, in order to increase the sum of masses. The details of pseudo mode approach and its effectiveness are presented in appendices 3B and 3C, respectively.

Upper Limits are ignored.

The current mass percentage is defined as an average value of M%x, M%y, M%z for 3-D problems and as a minimum value of M%x, M%z for 2-d problems (M%x, M%y, M%z are the current sum of masses for x,y,z direction, respectively). This strategy is explained by the fact that it is usually very difficult to ensure sufficient mass percentage for vertical direction. It is possible to verify the mass percentage for each direction in the final results.

Nmodes	Upper Limits	Mass%	Program behavior
N	inactive	Inactive (0)	It is available for both direct solvers and the iterative one. Generate N basis vectors to define the "work" subspace. Save N basis vectors to use them for seismic and spectral analyses. This regime is recommended.
N	Inactive	Active: $0 < \text{mass}\% < 100\%$	It is available only for direct solvers. Generate N basis vectors to define the "work" subspace. Save these basis vectors which suffice to satisfy the given mass%. The number of saved basis vectors is less than N, if $\text{mass}\% < 100\%$

12.3.6. Spectral Analysis

The Response Spectra Method is applied for seismic and spectral analysis. The main idea of this method consists in decomposing a structure of multiple degrees of freedom (MDOF) into a system of the single-degree of freedom (SDOF) oscillators. Then, the program calculates the response for each of these independent oscillators and the statistical summation of the extreme responses for each oscillator by means of SRSS, CQC, ten percent and double sum methods [3, 21].

The eigenmodes define this system of SDOF oscillators, when Modal mode or Seismic mode are applied. The pseudo mode basis vectors define this system of SDOF oscillators when Pseudo mode is applied (see section 3.5).

The introduction of the pseudo mode requires a new approach towards response evaluation for each mode. The classic approach is as follows:

$$\mathbf{K}\bar{x}_{i,\max} = \Gamma_i^{dir} k_{dir} S_a(T_i) \mathbf{M}\bar{\Phi}_i \quad (3.1.1)$$

where \mathbf{K} , \mathbf{M} – stiffness and mass matrices, Γ – mass participation factor, S_a – spectra acceleration, T – period, i – mode number, k – coefficient of spectrum scaling, dir – index of input seismic motion direction ($dir = X, Y, Z$), x – displacement vector for maximum reaction of i -mode.

Now, the following is applied (see appendix B):

$$\bar{x}_{i,\max} = \Gamma_i^{dir} k_{dir} S_a(T_i) \frac{1}{\omega_i^2} \tilde{\Phi}_i, \quad (3.1.2)$$

where $\tilde{\Phi}_i$ denotes a basis vector (it is not necessary for $\tilde{\Phi}_i$ to be an exact approximation of $\bar{\Phi}_i$ - exact eigenvector of $\mathbf{K}\bar{\Phi}_i - \Omega_i^2 \mathbf{M}\bar{\Phi}_i = 0$), ω_i - approximation of exact eigenvalue Ω_i . It is possible to show that (3.1.1) gives exactly the same solution $\bar{x}_{i,\max}$ as (3.1.2), if

$\tilde{\Phi}_i = \bar{\Phi}_i$ ($\omega_i = \Omega_i$). However, (3.1.2) is applicable not only for direct solvers, but also for iterative solver, since it does not require the resolution procedure corresponding to the stiffness matrix \mathbf{K} . This way is faster than (3.1.1) and allows one to control results more safely (sum of forces – sum of reactions).

The below-presented formula is obtained from (3.1.1)

$$\bar{x}_{i,\max} = \Gamma_i^{dir} k_{dir} S_a(T_i) \mathbf{K}^{-1} \mathbf{M}\bar{\Phi}_i = \Gamma_i^{dir} k_{dir} S_a(T_i) \frac{1}{\Omega_i^2} \bar{\Phi}_i \quad (3.1.3)$$

The modal response vector $\bar{x}_{i,\max}$ describes the extreme response of the correspondence SDOF oscillator. The next step should be dedicated to defining the final response of the MDOF structure by means of statistic averaging between modes and between seismic input directions.

Robot (early versions) allows one to assign several statistically independent seismic input directions with their own scale multipliers in one load case. The statistical averaging between directions is produced by means of “sum of absolute values” and “square root of sum of squares” combinations within each mode. The corresponding options are defined in the “Job Preferences”.

The “sum of absolute values” option gives the following:

$$\bar{x}_{i,\max} = \left(\sum_{dir} |\Gamma_i^{dir} k_{dir}| \right) S_a(T_i) \frac{1}{\omega_i^2} \bar{\Phi}_i \quad (3.1.4)$$

The “square root of sum of squares” option makes averaging of the $\bar{x}_{i,\max}$ of corresponding seismic input motion directions like $\bar{x}_{i,\max} = SRSS(\bar{x}_{i,X}, \bar{x}_{i,Y}, \bar{x}_{i,Z})$.

$$\bar{x}_{i,\max} = \sqrt{\left(\sum_{dir} \Gamma_i^{dir} k_{dir} \right)^2} S_a(T_i) \frac{1}{\omega_i^2} \bar{\Phi}_i \quad (3.1.5)$$

It is possible to show that each component of $\bar{x}_{i,\max}$ is the SRSS combination of correspondence components of $\bar{x}_{i,X}, \bar{x}_{i,Y}, \bar{x}_{i,Z}$,

where $i=1,2,\dots,N$ –indicates the number of mode or pseudo mode.

The SRSS or CQC combination between modes (or pseudo modes) is applied to obtain the final response of the considered MDOF structure after the averaged modal response vectors $\bar{x}_{i,\max}$ have been obtained, $i=1,2,\dots,N$.

The modal averaged response vectors $\bar{x}_{i,\max}$, $i=1,2,\dots,N$ are the same for “sum of absolute values” and “square root of sum of squares” options if the single seismic input direction has been defined for the current load case (For example, $K_x=K_z=0, K_y=1$).

Robot (version 12.2 and later) saves the above-mentioned procedure of averaging modal responses between seismic input directions, however, it allows one to carry out the best approach. It is recommended to define a single seismic input direction for each load case, and then to apply either the SRSS combination between directions (it corresponds to the American Regulatory Guides) or the so-called “Newmark” combinations (corresponding to the French seismic code PS-92 and the Eurocode-8).

Let us illustrate new capabilities of the following typical example.

In this case (single seismic input motion for each load case), the typical values for scale multipliers will equal

$K_x=1; K_y=K_z=0$ for dir = X (load case S_X)

$K_x=0; K_y=1; K_z=0$ for dir = Y (load case S_Y)

$K_x=K_y=0; K_z=0.7$ for dir = Z (load case S_Z; the vertical motion intensity is assumed to equal 2/3 of the horizontal motion intensity)

Three load cases are defined for each statistically independent seismic input motion. The modal response for each mode will be the same as (3.1.2) ($i=1,2,\dots,N$; dir = X,Y,Z).

Then, it is necessary to define the averaging factor over all modes due to each seismic input direction: $R_{dir} = SRSS\{R_i^{dir}\}$ or $R_{dir} = CQC\{R_i^{dir}\}$

where R_i^{dir} - some factor (displacement, force, stress,...) for the i-th mode due to seismic input motion into direction dir which corresponds to the modal response $\bar{x}_{i,\max}$ (obtained from (3.1.2));

R_{dir} is the result of SRSS or CQC combination over all considered modes (pseudo modes).

Then, the averaging over all active seismic input directions according to the chosen option is produced:

either SRSS combination:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}$$

or “Newmark” combinations:

$$\pm R = \pm R_x \pm \lambda R_y \pm \mu R_z$$

$$\pm R = \pm \lambda R_x \pm R_y \pm \mu R_z$$

$$\pm R = \pm \lambda R_x \pm \mu R_y \pm R_z$$

The Spectral Analysis options enable definition of arbitrary spectrum of seismic input motion.

12.3.7. Seismic Analysis

The Response Spectra Method is applied for seismic and spectral analysis. The seismic analysis is run on the basis of spectral analysis (see section 3.6), however, the spectra accelerations $S_a = S_a(T_i)$ are generated to correspond to a selected seismic code, instead of being assigned by the user (as it is done for spectral analysis).

The UBC-97 seismic code is available in Robot (version 12.0 and the later ones). The Response Spectrum Analysis is run in accordance with Sections 1631.5.1 – 1631.5.3 of the 1997 Uniform Building Code. It is possible to fulfill the requirements of Section 1631.5.4 (“Elastic Response Parameters may be reduced ...”) by means of combination mechanisms of Robot (see Help). The basic shear components V_x , V_y , V_z , overturning moment components M_x , and M_y and torsion moment M_z (it is assumed that axis OZ is vertical) - all are presented in the “Reactions” table in the line “sum of forces”, both for each modal response and for SRSS and CQC combinations between modes.

The following seismic codes are available in the program:

- UBC97
- PS 69 R. 82
- AFPS
- PS 92
- RPA 88
- DM 16.1.96
- EC 8
- IBC 2000
- P100 92
- Turkish code
- Chinese codes
- Argentinian code

- EAK 2000.

12.3.8. Selective Filters

This approach is based on the following observation: only the modes that have a relatively significant mass participation factor make considerable contributions to the seismic response of a structure. Therefore, it suffices to take only these modes into account. The remaining modes (with small mass participation factors) can be ignored during seismic analysis. The number of derived modes is usually considerably greater than the number resulting from mass percentage assessment. Thus, the disk space and computation time may be saved, if only the modes with significant mass participation factors are selected.

Two ways can be used: create a list of accepted modes for each seismic input direction (seismic case) on the base of results obtained for the previously performed modal analysis and assign a mass limit – bound value for modal mass percentage (all modes with modal mass percentage below that limit will be ignored). The first way is more efficient, although it requires running modal analysis previously. The second way allows one to apply filters in the same program run with spectral and seismic analysis, however, it usually occupies more disk space and involves greater computational effort.

Let us consider another example. The results of modal analysis are presented below, in table 3.1, where the seismic cases are defined in the following manner: Dir_X ($K_x=1$; $K_y=K_z=0$), Dir_Y ($K_x=0$; $K_y=1$; $K_z=0$) and Dir_Z ($K_x=K_y=0$; $K_z=1$)

Table 1

Mode number	Mass particip. UX (%)	Mass particip. UY (%)	Mass particip. UZ (%)	Period
1	0.05	12.01	0.004	0.803
2	67.43	0.06	0.005	0.705
3	0.002	0.08	0.07	0.686
4	0.001	0.008	0.009	0.650
5	25.4	0.07	2.06	0.590
6	0.09	68.5	5.05	0.540
7	0.08	10.3	0.06	0.490
8	0.07	0.06	0.56	0.460
9	0.05	0.07	30.56	0.420
10	0.08	0.06	0.25	0.380
11	0.06	0.01	26.7	0.270

Let us assume that we take all modes with mass participation factor greater than one percent into account. The corresponding mass participation values are given in the table. Let us take note that if seismic input directions are assigned as (1 0 0) for Seism_X case, the modes with significant mass participation values for directions UY, UZ do not contribute to seismic response at all (see section 3.6):

$$\vec{x}_{i,\max} = \Gamma_i^{\text{dir}} k_{\text{dir}} S_a(T_i) \frac{1}{\omega_i^2} \tilde{\Phi}_i$$

where dir = X, Y, Z – input seismic direction; $\vec{x}_{i,\max}^{\text{dir}}$ - maximum response for i – mode; Γ_i^{dir} - mass participation factor; $S_a(T_i)$ - spectra acceleration; $\tilde{\Phi}_i$ - i-eigenvector or basis vector (in case of the pseudo mode). The scalar multiplier on the right side of the above

formula $\Gamma_i^{\text{dir}} k_{\text{dir}} S_a(T_i) \frac{1}{\omega_i^2}$ defines the contribution of i-mode to the seismic response of dir

direction. In this case, where $K_y = K_z = 0$, considerable contributions will be made by modes 2 and 5. The remaining modes do not contribute to seismic response, due to zero K_{dir} multiplier (dir = Y, Z) and to small mass participation values for dir=X direction. It is possible to show - in the same way - that for case Dir_Y it suffices to take the modes 1, 6, 7 into account, while for case Dir_Z – the modes: 5, 6, 9, 11.

Thus, by means of filters the program may take only the relevant modes into account - 2 for Dir_X case, 3 for Dir_Y case and 4 for Dir_Z case - without a significant loss of mass contributions. Let us take note that we would be forced to apply the 11 modes for each case if we do not use the filters.

This approach enables one to reduce computation time for large-scale dynamic problems (as well as disk space requirements and the amount of data to be post-processed) without significant reduction of the result precision compared to the traditional method (when the selective filters are not used).

For example, the large-scale problem PJG203 contains 34 266 equations (bandwidth equals 990 after optimization). The corresponding FE model is presented in appendix 3D – see Fig.A1. The 25 eigenpairs with the consistent mass matrix and 3 seismic cases were to be calculated. The computation time still reaches approximately 50 hours on the Pentium PRO (64 MB RAM, 200MHZ). The required disk space exceeded 1GB. Moreover, there arose a problem with steel design module, caused by insufficient disk space. (To compute the SRSS and CQC combinations, it was necessary to store the data of 25 modes multiplied by 3 seismic cases comprising a large number of degrees of freedom for all factors – displacements, internal forces, stresses). Application of selective filters allows the program to solve this problem successfully.

12.3.9. Harmonic Analysis

The following definition of steady reaction of a structure to the action of a single – harmonic load is produced:

$$\vec{F}(t) = \vec{F} \sin(\omega t)$$

where ω is the pulsation of the excitation load. The behavior of a structure is described as

$$(\mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M}) \vec{X} = \vec{F}$$

where \vec{X} - amplitude value of the displacement vector.

12.3.10. Time-History Analysis

The modal decomposition (superposition) method is realized in Robot. It is based on the representation of a structure movement as a superposition of the movement of uncoupled modes. Therefore, the method requires the eigenvalues and eigenvectors to be determined. The Lanczos method is recommended for this purpose. The method of modal decomposition takes advantage of reduced uncoupled equations. It is an appropriate approach to analyze the dynamic response of structures subjected to long-term action of dynamic loads (for example, non-steady loading caused by working in-line equipment or seismic action). Mathematical background and particularities of application are presented in [3,4,6].

The equation (without damping) may take the following form:

$$\mathbf{M}\ddot{\vec{X}} + \mathbf{K}\vec{X} = \sum_{k=1}^{Ng} \vec{P}_k \varphi_k(t) \quad (3.11.1)$$

where Ng - number of „load groups”, $\varphi_k(t)$ - given time history for the k-th load group.

$$\vec{X}(t) = \sum_{i=1}^N q_i(t) \vec{\Phi}_i \quad (3.11.2)$$

where $\vec{q}_i(t), \vec{\Phi}_i$ - correspondingly i-th normal co-ordinate and mode (eigenvector or Ritz vector). Substitution (3.11.2) to (3.11.1) and addition of damping terms leads to following uncoupled modal equations [3,4,6]

$$\ddot{q}_i + 2\xi_i \omega_i \dot{q}_i + \omega_i^2 q_i = \sum_{k=1}^{Ng} p_{i,k}(t), \quad (3.11.3)$$

where $p_{i,k}(t) = (\vec{P}_k(t), \vec{\Phi}_i)$, ξ_i – modal damping parameter (usually $\xi_i = 0.05 - 0.2$; when $\xi_i = 1$ it indicates critical damping – limit between oscillation motion and aperiodic motion), ω_i - natural vibration frequency (pulsation), $i=1,2,\dots,N$

Each of equations is solved numerically. Second-order method with automatic selection of integration step is applied. The resultant displacement vector for the defined time points $t = t_1, t_2, \dots, t_s$ is obtained by means of substitution of $q_i(t_s)$ in (3.11.2).

Modal decomposition method can be applied for analysis of seismic response. In such a case equation of motion takes the following form

$$\mathbf{M}\ddot{\vec{X}} + \mathbf{K}\vec{X} = -\mathbf{M}\vec{I}_{dir} \varphi_g(t) \quad (3.11.4)$$

and appropriate uncoupled modal equations –

$$\ddot{q}_i + 2\xi_i \omega_i \dot{q}_i + \omega_i^2 q_i = -\Gamma_i^{dir} \varphi_g(t) \quad (3.11.5)$$

where $\Gamma_i^{dir} = (\mathbf{M}\vec{I}_{dir}, \vec{\Phi}_i)$ - mass participation factor for i-th mode and seismic input direction *dir*. Each mode must be normalized as follows: $(\mathbf{M}\vec{\Phi}_i, \vec{\Phi}_i) = 1$. Finally all results (displacements, velocities, accelerations, internal forces, reactions, etc.) are stored only for the defined time points $t = t_1, t_2, \dots, t_s$. The high-performance post-processor allows one to analyze

time-history analysis result both in the diagram and table modes. The diagram mode displays selected factors (displacement, acceleration, velocity, reactions, shear forces, bending moments, etc.) for chosen DOF (degrees of freedom) and presents the deformed shape of a structure in the selected the time point. The table mode allows one not only to see the corresponding values, but also to search automatically the maximum and minimum values among the response factors over all stored time points.

12.3.11. Modal Analysis Taking Static Forces into Account

The linear small vibrations with respect to the equilibrium static state induced by a given static load is considered. The static forces are known to have influence on the natural vibration frequencies. The usual “Modal Analysis” does not take such influence into consideration, however, “Modal Analysis taking static forces into account” does. Full non-linear equations describe the motion of the relatively static equilibrium state of a system, induced by the given static loads.

$$\mathbf{M}\ddot{\vec{x}}(t) + \mathbf{K}\vec{x}(t) + \mathbf{L}(\vec{x}(t)) = \vec{b} \quad (3.12.1)$$

where \mathbf{M}, \mathbf{K} - mass and stiffness matrices, $\mathbf{L}(\vec{x}(t))$ - non-linear operator, $\vec{x}(t), \vec{b}$ - displacement vector and load vector. Linearization procedure consists of the following:

$$\vec{x}(t) = \vec{x}_{st} + \vec{x}_d(t) \quad (3.12.2)$$

where \vec{x}_{st} is a part of the common solution which describes the static equilibrium state and $\vec{x}_d(t)$ is a vector of small dynamic displacements. Non-linear operator can be presented as decomposition of Taylor('s) series

$$\mathbf{L}(\vec{x}(t)) = \mathbf{L}(\vec{x}_{st} + \vec{x}_d(t)) \approx \mathbf{L}(\vec{x}_{st}) + \mathbf{K}_s(\vec{x}_{st})\vec{x}_d(t) \quad (3.12.3)$$

where $\mathbf{K}_s(\vec{x}_{st}) = \left| \frac{\partial \mathbf{L}(\dots)}{\partial x_i} \right|$ is a stress-stiffness matrix, which is a Jacobian and takes the action of static forces into account. Thus, the following yields:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}\ddot{\vec{x}}_d(t) + \mathbf{K}\vec{x}_d(t) + \mathbf{K}_s(\vec{x}_{st})\vec{x}_d(t) + \mathbf{K}\vec{x}_{st} + \mathbf{L}(\vec{x}_{st}) &= \vec{b} \\ \mathbf{K}\vec{x}_{st} + \mathbf{L}(\vec{x}_{st}) &= \vec{b} \end{aligned} \quad (3.12.4)$$

The first expression is a result of linearization of appropriately small dynamic displacements (note: $\vec{x}_{st} \neq f(t)$, so $\ddot{\vec{x}}_{st} \equiv 0$) and the second one describes the non-linear static equilibrium state. Therefore, small dynamic motion with respect to the static equilibrium state is as follows:

$$\mathbf{M}\ddot{\vec{x}}_d(t) + \mathbf{K}\vec{x}_d(t) + \mathbf{K}_s(\vec{x}_{st})\vec{x}_d(t) = 0 \quad (3.12.5)$$

Let us substitute $\vec{x}_d(t) = \vec{\Phi}e^{i\omega t}$. An eigenvalue problem originates from (3.12.5)

$$(\mathbf{K} + \mathbf{K}_s(\vec{x}_{st}))\vec{\Phi}_i - \omega_i^2 \mathbf{M}\vec{\Phi}_i = 0 \quad (3.12.6)$$

where ω_i - eigenvalue; $\vec{\Phi}_i$ - eigenvector.

The computations are performed in two stages:

1. Linear (3.12.7) or non-linear (3.12.8) analysis of static stress-strain state induced by a given static load

$$\mathbf{K}\vec{x}_{st} = \vec{b} \quad (3.12.7)$$

$$\mathbf{K}\vec{x}_{st} + \mathbf{L}(\vec{x}_{st}) = \vec{b}, \quad (3.11.8)$$

where \vec{x}_{st} - unknown vector of static state, \vec{b} - vector of given static forces (static load vector), \mathbf{K} - stiffness matrix, $\mathbf{L}(\vec{x}_{st}, \vec{b})$ - non-linear operator. The static load vector \vec{b} may be a result of the combination of several static loads. It should be noted here that linear approach does not satisfy exactly the non-linear equilibrium equation (3.11.8). Thus, vector \vec{x}_{st} for the static equilibrium state is a result of an approximate solution and the stress-stiffness matrix $\mathbf{K}_s(\vec{x}_{st})$ contains an error. If the considered structure is sufficiently stiff and non-linear effects appear poorly, such approximation seems to be correct. Otherwise, it is necessary to solve the non-linear static problem (3.11.8) (that technique is not covered by the manual). Obviously, the linear approach (3.2.17) is faster than the non-linear one (3.11.8). In case of linear approach, it turns out that $\mathbf{K}_s(\vec{x}_{st}) = \mathbf{G}(\vec{x}_{st}) = \mathbf{G}$, where \mathbf{G} is a geometrical stiffness matrix.

2. Eigenvalue analysis (3.12.6)

The positive values of ω_i ($\omega_i > 0$) are known to represent to stable equilibrium states, negative values ($\omega_i < 0$) – unstable ones, whereas zero value ($\omega_i = 0$) corresponds to lack of stability (buckling).

The loss of positive definiteness of matrix $\mathbf{K} + \mathbf{K}_s(\vec{x}_{st})$ means that static load exceeds its critical (buckling) value. A relevant message appears. The convergence will be lost during the run of non-linear static problem (3.11.8). It is recommended to interrupt computations because the following calculations is still senseless.

Only the non-linear approach is available for structures containing cable and tension-compression elements.

Example

Let us consider the example shown in the figure below.

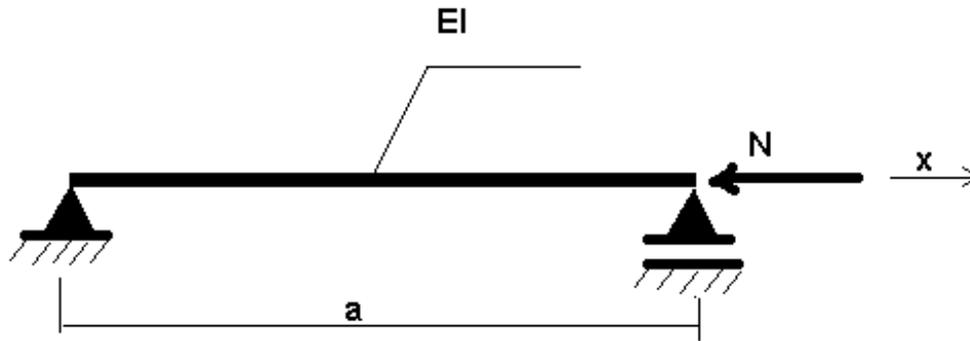


Fig. 3.11.1

There is N - static load. The following expression describes behavior of such a system:

$$EI \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + N \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \rho F \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0, \quad (3.11.9)$$

where w - bending displacement, ρ - material density, F - cross-section area.

The solution will be searched as:

$$w(x, t) = W e^{i\omega t} \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) \quad (3.11.10)$$

After substitution (3.11.10) to (3.11.9) the following is derived:

$$1 - \frac{N}{\left(\frac{n\pi}{a}\right)^2 EI} = \frac{\omega^2}{\omega_0^2}, \quad (3.11.11)$$

where $N_{cr} = \left(\frac{n\pi}{a}\right)^2 EI$ - buckling load, ω_0 - eigenvalue for $N = 0$ (result of usual Modal Analysis). Finally,

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{N}{N_{cr}}}, \quad (3.11.12)$$

where ω - eigenvalue for the system subjected to action of a static load N . This result is presented graphically in Fig. 3.11.2:

$$\frac{\omega}{\omega_0}$$

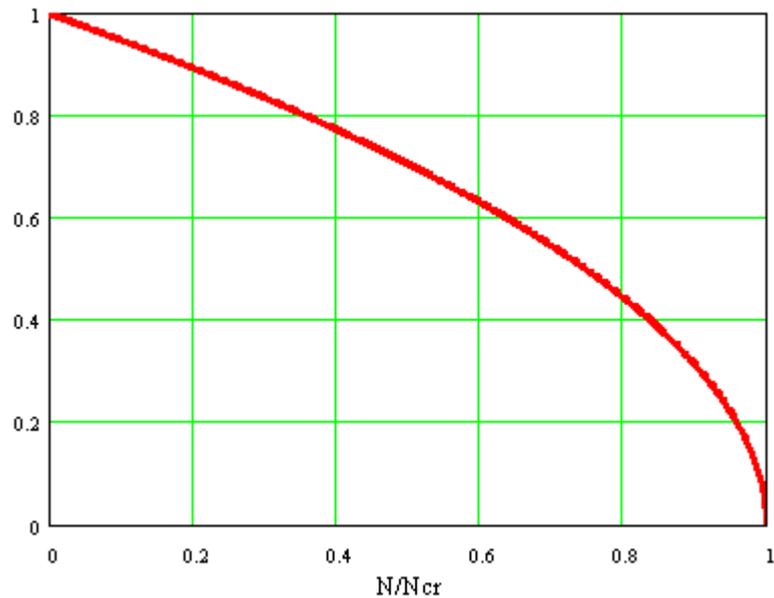


Fig.3.11.2

The dependence $\omega = \omega(\lambda)$, where λ is a load parameter, for a real structure is usually more complex than presented by the expression (3.11.12) (see [1,22]).

12.4. Appendix 3A

12.4.1. Eigenproblem Solution Methods

The user should understand that at present the “best universal method” of solving an eigenproblem does not exist.

$$\mathbf{K}\vec{\Phi}_i - \omega_i^2 \mathbf{M}\vec{\Phi}_i = 0, \quad i=1,2,\dots,n \quad (\text{A1})$$

where \mathbf{K} is the stiffness matrix, \mathbf{M} is the mass matrix, $\vec{\Phi}_i$ is the eigenmode and ω_i is the pulsation. The term the “most preferable” means that for most of the problems such a method will use up less resources (the computation time and HD storage) than any other one. However, it does not exclude different situations in case of other tasks. Then, application of other method is recommended. The present version of ROBOT covers several methods of solving a generalized eigenproblem (A1). Each of them involves its own advantages and disadvantages. Below, we present some recommendations to be considered while choosing analysis method. We hope that, in the majority of cases, they will lead to the required results in the best way.

The subspace iteration (SI) method is realized exactly as described in [4], therefore, the description of this method is not included here.

Lanczos method

The Lanczos method [12,16,17] is a powerful robust approach used for solving large-scale eigenvalue problems (A1). It is available when direct solvers (skyline or sparse) are selected. This approach allows one to get the required first n eigenvalues and eigenmodes with any desired precision. The greater number of the required eigenpairs is obtained, the more significant advantages of Lanczos method become. However, the approach involves several limitations, namely:

1. The three-diagonal matrix \mathbf{T} should not be decomposed. It means that it is impossible to analyze a structure which consists of two or more unconnected substructures. In such a case, either each substructure is considered separately, or another approach is implemented (for example, block subspace iteration (BLSI) or the basis reduction methods).
2. The mass matrix \mathbf{M} should be taken as “Lumped with Rotations” or “Consistent”.
3. Zero density is not allowable.

The Lanczos Method uses reduction to the three-diagonal matrix \mathbf{T}

$$\mathbf{T} = \mathbf{Q}_j^T \mathbf{M} \mathbf{K}^{-1} \mathbf{M} \mathbf{Q}_j, \quad (\text{A2})$$

where $\mathbf{Q}_j = \{\vec{q}_1, \vec{q}_2, \dots, \vec{q}_j\}$ - the rectangular matrix $\text{Neq} \times j$, and Neq is the number of equations, j - number of “Lanczos” steps, \vec{q}_j - j -th Lanczos vector. The expression

$$\beta_{j+1} \vec{q}_{j+1} = \mathbf{K}^{-1} \mathbf{M} \vec{q}_j - \alpha_j \vec{q}_j - \beta_j \vec{q}_{j-1} \quad (\text{A3})$$

generates the next Lanczos vector \vec{q}_{j+1} , and defines the current line of \mathbf{T} matrix

$$\mathbf{T} = \begin{vmatrix} \alpha_1 & \beta_2 & & & \\ \beta_2 & \alpha_2 & \beta_3 & & \\ & \beta_3 & \alpha_3 & \beta_4 & \\ & & \bullet & \bullet & \bullet \\ & & & \beta_j & \alpha_j \end{vmatrix}$$

Thus, the following reduced eigenproblem is obtained:

$$\mathbf{T}\vec{s}_k^j - \lambda_k^j \vec{s}_k^j = 0, \quad k=1,2,\dots,j \quad (\text{A4})$$

$(\omega_k^j)^2 = 1/\lambda_k^j$, where ω_k^j is the j -th approximation to ω_k , $k=1,2,\dots,n$, n is the required number of eigenpairs. The algorithm will continue computations (to increase the j - number of Lanczos steps), until the required accuracy is achieved for all required eigenvalues.

The selective orthogonalization procedure supports the required level of orthogonality between Lanczos vectors \vec{q}_j which ensures safety and numerical stability of the

computational process. We employ economic methods to provide selective orthogonalization and to solve the reduced eigenvalue problem (A4) by double QR-iterations with shifts.

The source eigenvectors are determined by the following formula

$$\vec{\Phi}_k^j = \mathbf{Q}_j \vec{s}_k^j, \quad k=1,2,\dots,n \quad (\text{A5})$$

The details are presented in [12,16,17].

Basis Reduction Method

The **basis reduction method** [4,5] is known as the Improved Rayleigh-Ritz method [4]. In [5] such method is presented as a discrete variant of Bubnov-Galerkin method. It is available for direct solvers (skyline and sparse). This algorithm allows one to get approximate values of the first few eigenpairs. It is required to assign the master degree of freedom (MDOF) in order to get the reduced system. Thus, a user is able to control the creation of a reduced model. It is a powerful tool for users who have some experience in dynamic analysis of structures and deal with the same type of structures whose behavior is known. This method allows one to exclude undesirable degrees of freedom (DOF) from the reduced model and to reduce the initial complex problem with a large number of DOF to a reduced form - with a considerably smaller number of DOF. The experience of structure dynamic analysis shows what problems can be encountered by the user when the “automatically reduction methods” (SI, BLSI and Lanczos methods are taken into account) lead to a very complex computation process. For example, the local vibration modes of single bars can lead to serious problems for these methods, because it seeks automatically the eigenpairs without any selection. It should be noted that for the majority of cases of real structures these local vibrations will be restricted by some constraints that are not taken into account in FEM model, or their contribution will be inessential to the overall system motion. Usually, the mass percentage is very small for such local vibrations. The usage of “exact” methods in this case will lead to the above-

mentioned difficulties, however, the implementation of approximate basis reduction method can simplify the computational process considerably.

This method has the following limitations.

1. The user has to assign the MDOF: the master nodes and master directions. It is assumed that only displacements (not rotations) may be assigned as the master degrees of freedom.
2. The algorithm is implemented for any type of mass matrix, however, “Lumped without rotations” mass matrix type is most advantageous with respect to computation time.
3. The Sturm sequence check is not available. There is only one way to explore the check convergence, namely, increase the number of MDOF (assign additional master nodes and master directions), solve this problem once more and compare the eigenvalues.

Such a method transforms the source large-scale eigenvalue problem for FEM

$$\mathbf{K}\tilde{\Phi}_i - \omega_i^2 \mathbf{M}\tilde{\Phi}_i = 0 \quad (\text{A6})$$

model (A1) into eigenvalue problem for reduced model

$$\{f\}\tilde{\alpha} - \omega^2 \{m\}\tilde{\alpha} = 0 \quad (\text{A7})$$

where $\{f\}$ - the influence matrix, $\{m\}$ - the generalized mass matrix for a reduced model,

$$\tilde{\alpha} = \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \dots \\ \alpha_n \end{pmatrix}, \quad \tilde{\Phi} \approx \sum_{j=1}^n \alpha_j \tilde{X}_j^* \quad (\text{A8})$$

Where n is a number of degrees of freedom of a reduced model. The basis for such transformations is a static solution obtained for appropriate unit states: unit nodal forces are applied consequently in each master node, in the selected master direction. A large-scale static problem is solved for n right-hand sides:

$$\mathbf{K}\tilde{X}_i^* = \tilde{T}_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{A9})$$

where \tilde{T}_i - load vector which corresponds to i - unit load. The user has to assign master nodes and master directions. All demanded operations will be performed by the program.

The reduced eigenvalue problem is solved by Jacobi method, which leads to the approximate frequencies ω_i , and modes $\tilde{\Phi}_i^*$, $i=1, 2, \dots, n$. The details of this approach are presented in [5].

Block Subspace Iteration Method

The block subspace iteration method (BLSI) is developed to solve a generalized eigenvalue problem (A1). It is available for direct solvers (skyline and sparse). It is a powerful robust approach. Application of this method is strongly recommended when a large-scale problem arises and it is necessary to obtain a large number of eigenpairs (more than 10). BLSI method can be applied for analysis of separate structures. All types of mass matrices (“Lumped without rotations”, “Lumped with rotations” and “Consistent”) during modal analysis are

available. The application area of this approach is limited by the modal mode. The seismic mode and pseudo mode are still available if Lanczos method is chosen.

The Sturm sequence check is performed to detect the skipped eigenvalues. BLSI method controls the continuity of converged eigenvalues. Discontinuity of converged eigenvalues indicates presence of skipped eigenvalues. However, continuity of converged eigenvalues does not provide a strict assurance that skipped eigenvalues are missing. Nevertheless, experience of numerous computations indicates that for the most cases Sturm sequence check does not detect skipped eigenvalues, when BLSI method ensures the continuity of converged ones. Thus, a great advantage of such a method is the possibility of avoiding the time-consuming Sturm check procedure, if a full warrant of missing skipped eigenvalues is not needed. If discontinuity of converged eigenvalues is met, the following message appears (see Fig A1).

The main idea of BLSI method [1-3] consists in simultaneous vector iterations in the subspace of the fixed size. Each converged vector is removed from “work” subspace (block) and instead of it a new start vector is added. The orthogonality of the converged vectors is ensured on each iteration step.

Application of the shift acceleration procedure [1,4] is recommended during modal analysis when the slow convergence occurs:

$$\mathbf{K}_\sigma \vec{\Phi} - \omega^2 \mathbf{M} \vec{\Phi} = 0, \quad (\text{A10})$$

where $\mathbf{K}_\sigma = \mathbf{K} - \sigma \mathbf{M}$, σ - shift value. At beginning of the analysis $\sigma = 0$ is assumed. The automatic update of shift value is made, if new converged eigenvalues do not appear through the accepted number of control iteration steps. For example, let us accept the number of control steps equal to 5. Then 5 converged eigenvalues appear after 4 iterations. The shift value remains $\sigma = 0$. On the next iteration step 3 eigenvalues converge. The shift value remains $\sigma = 0$. Then, throughout 5 iteration steps no eigenmodes converge. The algorithm detects “slow convergence” again, adopts $\sigma = \omega_8^2$, updates $\mathbf{K}_\sigma = \mathbf{K} - \sigma \mathbf{M}$ and factorizes the updated shifted matrix \mathbf{K}_σ . Then after 2 iteration steps converge 2 eigenmodes. The shift value remains $\sigma = \omega_8^2$. Then during following 5 iteration steps do not converge any eigenvalues. Algorithm again detects a “slow convergence” and takes $\sigma = \omega_{10}^2$, updates $\mathbf{K}_\sigma = \mathbf{K} - \sigma \mathbf{M}$ and factorize updated shifted matrix \mathbf{K}_σ . And so on.

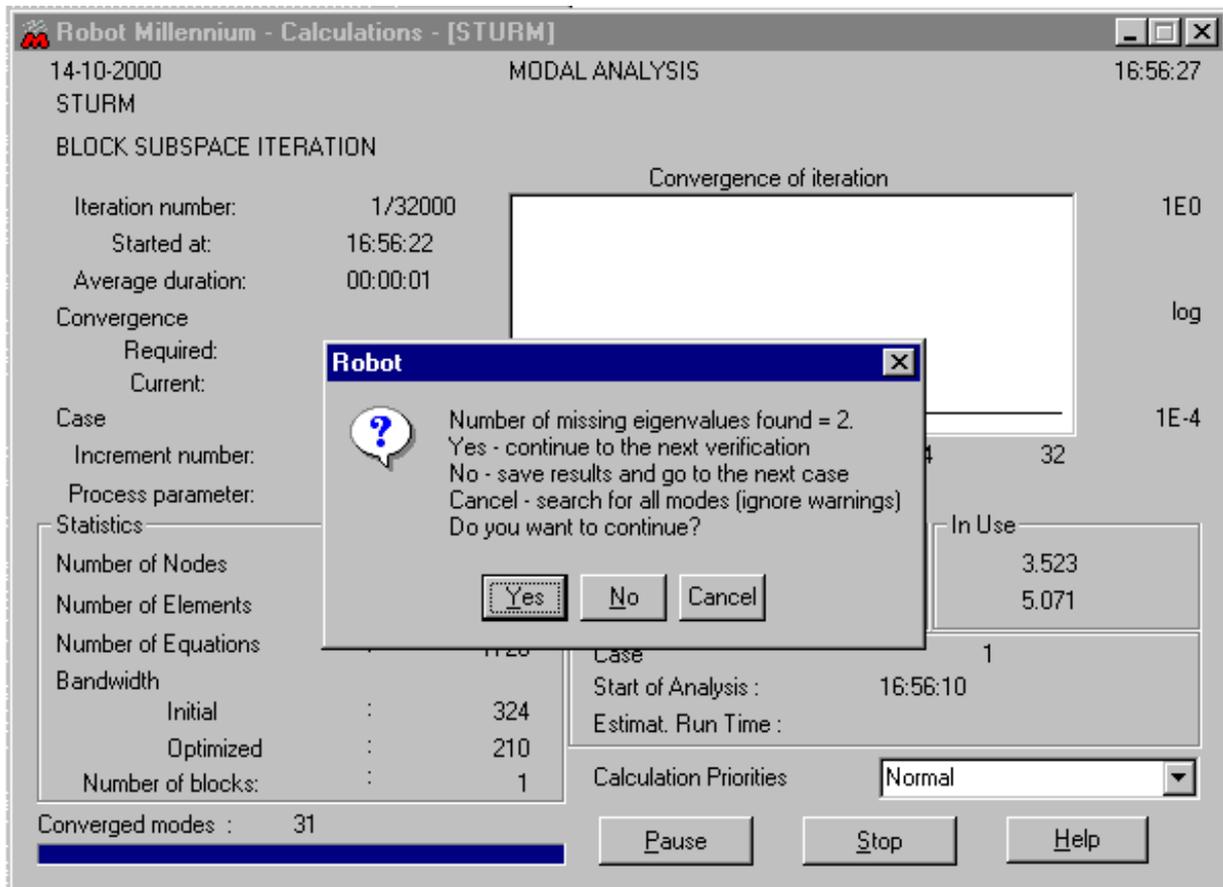


Fig. A1 Discontinuity of converged eigenvalues is detected while running BLSI method. Yes – computations will be continued until the next converged eigenvalue appears. Afterwards, the next verification will be performed. No – results will be saved and computations will proceed to the next case. Cancel – computations continue as long as the full continuity of converged eigenvalues is ensured. Warning will be ignored.

These are not all the recommendations: apply the shift accelerations or do not do it. The user should remember, that application of the appropriate shift is a most powerful tool of convergence acceleration. Otherwise, each factorization of the updated \mathbf{K}_σ matrix may be a time-consuming procedure, especially for a large-scale problem. Thus, the final decision about application of shift should be made on the basis of experience and intuition of the user. The following example illustrates the benefit of shift application. The computation model is shown in Fig.A2. There are 50 eigenmodes extracted by BLSI method. Solver skyline is selected. Tolerance $1.0e-09$ is accepted. It turns out that convergence beginning with 38 mode is still so slow that for 20 minutes of computations no results are obtained. Once acceleration by shift (update of a shift was accepted over each of the 5 “unconverted” iteration steps) has been activated, computation time still amounts to 50 seconds. Obviously, it is possible to present numerous examples, when application of shift reduces the number of iterations, however, it increases the computation time. We recommend activation of the shift accelerations, when conventional approach (shifts are turned off) leads to a large number of iterations at some stages of the BLSI run.

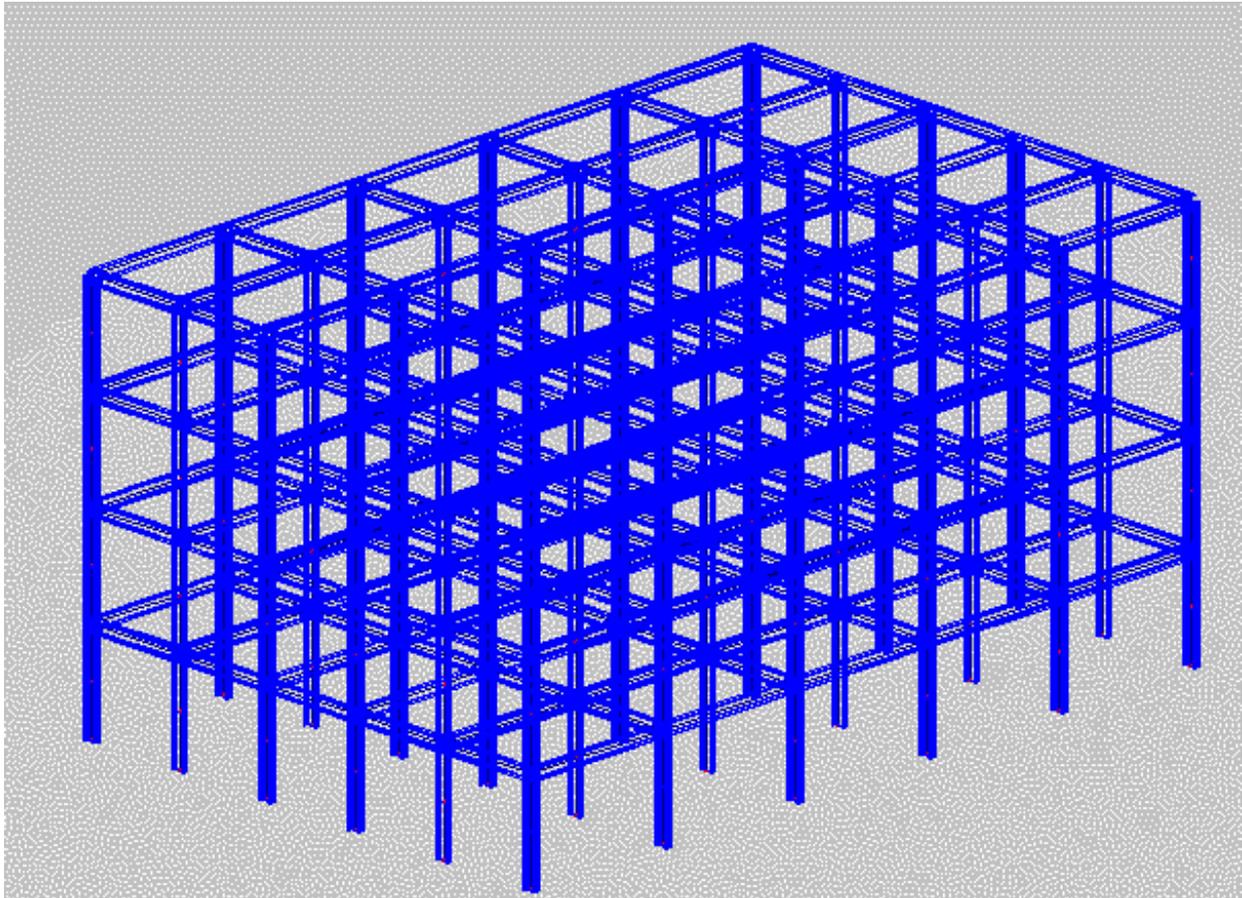


Fig.A2 Spatial frame structure

Modified Lanczos Method

It is an adjustment of Lanczos method in pseudo mode to iterative solver. Usual Lanczos method requires factorization of a stiffness matrix (see A3). When a large-scale problem is met, factorization of the stiffness matrix is still very time-consuming. In case of large problems (over 100 000 equations), usually, not only factorization of a stiffness matrix requires enormous computational effort, but also solution of an equation set of appropriately factorized matrix is expensive.

The modified Lanczos method is based on the iterative approach. It allows one to avoid storage, assembling and factorization of a large-scale stiffness matrix. Evaluation of each Lanczos vector requires approximately as much computational effort as solution of a static problem with single right-hand side. As regards the pseudo mode, it reduces the required number of Lanczos vectors compared to the modal mode which is applied when running the modified Lanczos method.

Iterative solver AEBEIS (see [7,8]) is applied for generation of Lanczos vectors. It is recommended to use ICCF (incomplete Cholesky factorization) technique for both multilevel aggregation preconditioning [7,8,18-20] and usual (non-multilevel) one. It ensures fast operations during evaluation of matrix-vector product and fast resolution of correspondence preconditioning. It should be noted that tolerance adopted for iterative solver (Job preferences | Structure Analysis | Parameters) determines the precision of evaluation of Lanczos vectors. Usually it is sufficient to accept

1.0e-04. The greater Number of Modes will be taken into account, the closer low Ritz vectors will be to the corresponding eigenmodes and the fuller sum of modal masses will be achieved. See Help (about parameters of iterative solver for static and dynamics) for more details.

Preconditioned Conjugate Gradient Method (PCG)

PCG method [9-13] is recommended for definition of a small number of eigenmodes in the modal mode, when iterative solver is applied. It may prove very useful for assigning a wind load or for checking a few low modes, obtained by PCG_Ritz method. All types of preconditioning (see Tools / Job Preferences / Iterative / Parameters), defined for static analysis, are available. All types of mass matrix (consistent, lumped with rotations and lumped without rotations) can be used.

Preconditioned conjugate gradient method is based on direct minimization of Rayleigh quotient

$$\lambda_k = \frac{(\mathbf{K} \bar{\mathbf{x}}_k, \bar{\mathbf{x}}_k)}{(\mathbf{M} \bar{\mathbf{x}}_k, \bar{\mathbf{x}}_k)} \quad (\text{A11})$$

by means of the gradient approach where: k – number of iteration, λ_k - corresponding approximation of an eigenvalue. The gradient approach searches such value of parameter α_k , which ensures the minimum value of λ_k from (A11):

$$\bar{\mathbf{x}}_{k+1}^* = \bar{\mathbf{x}}_k + \alpha_k \bar{\mathbf{p}}_k \quad (\text{A12})$$

where $\bar{\mathbf{p}}_k$ is a vector of conjugate direction. Search of the appropriate value of α_k [see 9-13] leads to:

$$\begin{aligned} a &= (\mathbf{K} \bar{\mathbf{x}}_k, \bar{\mathbf{p}}_k) \\ b &= (\mathbf{K} \bar{\mathbf{p}}_k, \bar{\mathbf{p}}_k) \\ c &= (\mathbf{M} \bar{\mathbf{x}}_k, \bar{\mathbf{p}}_k) \\ d &= (\mathbf{M} \bar{\mathbf{p}}_k, \bar{\mathbf{p}}_k) \\ m &= (\mathbf{M} \bar{\mathbf{x}}_k, \bar{\mathbf{x}}_k) \\ n &= (\mathbf{K} \bar{\mathbf{x}}_k, \bar{\mathbf{x}}_k) \\ \Delta &= (nd - mb)^2 - 4(bc - ad)(ma - nc) \\ \alpha_k &= \frac{nd - mb + \sqrt{\Delta}}{2(bc - ad)} \end{aligned}$$

Preconditioning \mathbf{B} is applied to accelerate the convergence

$$\mathbf{Bz}_{k+1} = \mathbf{r}_{k+1} \Rightarrow \mathbf{z}_{k+1} \quad (\text{A13})$$

Gradient direction is defined as

$$\vec{g}_{k+1} = -2(\lambda_{k+1} \mathbf{M} \vec{x}_{k+1} - \mathbf{K} \vec{x}_{k+1}) / (\mathbf{M} \vec{x}_{k+1}, \vec{x}_{k+1}) \quad (\text{A14})$$

New conjugate direction is defined as

$$\vec{p}_{k+1} = -\vec{z}_{k+1} + \beta_k \vec{p}_k \quad (\text{A15})$$

where $\beta_k = \frac{(\vec{z}_{k+1}, \vec{g}_{k+1})}{(\vec{z}_k, \vec{g}_k)}$.

Iterations are performed until

$$\|\vec{r}_{k+1}\| / \|\lambda_{k+1} \mathbf{M} \vec{x}_{k+1}\| = \|\lambda_{k+1} \mathbf{M} \vec{x}_{k+1} - \mathbf{K} \vec{x}_{k+1}\| / \|\lambda_{k+1} \mathbf{M} \vec{x}_{k+1}\| > tol, \quad (\text{A16})$$

where *tol* is a desired tolerance. Usually $tol = 1.0e - 02$ ensures very good precision for engineering purposes. It should be remembered, that the convergence ratio (A16) is computed in very strong norm (see the part covering precision of computations). The tolerance mentioned above provides precision of eigenvalues not worse than $1.0e - 04$.

When a first eigenpair is converged, it is stored as a final result, and iterations begin to compute the next one. The orthogonalization procedure of the previously defined eigenvectors on each iteration step is employed to avoid doubling of eigenpairs. Such process is applied until all desired eigenpairs are obtained.

The most efficient way of convergence acceleration for PCG method is implementation of good preconditioning. All types of preconditioning presented for iterative solver are available for PCG method. It is strictly recommended to apply the multilevel preconditioning [18-20] or non-multilevel preconditioning with ICCF [9-12] smoothing from AEBEIS solver [7,8]. For more details see Help.

Ritz-gradient Method (PCG Ritz)

PCG_Ritz method [8] is a fast method of definition of a set of Ritz vectors in pseudo mode when iterative solver is selected. Such an approach may be very fruitful for seismic and spectral analysis of a medium-size structures including (10 000 – 60 000) equations. It is based on generation of the orthogonal system of basis vectors. The gradient approach with multilevel aggregation preconditioning on the basis of element-by-element technique is applied to minimize the Rayleigh quotient for each step of basis vector preparation. It ensures evolution of the consequence basis vector toward the lowest eigenmode without aggregation and decomposition of a large-scale stiffness matrix. Such method is often more effective for dynamic response analysis compared to classic modal superposition method, especially for seismic response analysis. The proposed method allows one to apply arbitrary types of finite elements due to aggregation approach and ensures fast solution and inexpensive requirement concerning disk storage, caused by using EBE technique. This method is particularly effective when the consistent mass matrix is used.

The given eigenvalue problem is as follows:

$$\mathbf{K}\varphi - \lambda\mathbf{M}\varphi = 0 \quad (\text{A17})$$

where \mathbf{K}, \mathbf{M} are the stiffness and mass matrices respectively, φ is the eigenvector and λ is the eigenvalue. The procedure of evolution of the basis vector's set $\mathbf{x}_0, \mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_n$ toward the lowest eigenmode will be described. The preconditioned gradient approach is applied to minimize the Rayleigh quotient

$$\lambda_k = \frac{(\mathbf{K}\mathbf{x}_k, \mathbf{x}_k)}{(\mathbf{M}\mathbf{x}_k, \mathbf{x}_k)} \quad (\text{A18})$$

where $k \in [0, n]$, k is the evolution step number; $n+1$ is the number of basis vectors, which define the size of the subspace $span \in (\mathbf{x}_0, \mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_n)$; $n+1 \ll N$, where N is the number of degrees of freedom for the considered problem (A17). It very often appears that the considered eigenvalue problem is ill-conditioned. In such a case the evolution of the consequence basis vector \mathbf{x}_k toward the lowest eigenmode will be very slow. The preconditioning operator \mathbf{B} is applied to improve such a situation. The expression $\mathbf{B}\mathbf{z}_k = \mathbf{r}_k \Rightarrow \mathbf{z}_k$ denotes the resolution of a given equation set of correspondence vector \mathbf{z}_k , where \mathbf{B} is a preconditioning operator and $\mathbf{r}_k = \mathbf{K}\mathbf{x}_k - \lambda_k\mathbf{M}\mathbf{x}_k$ is a corresponding residual vector.

The basis vectors satisfy the following conditions of orthogonality:

$$(\mathbf{M}\mathbf{x}_k, \mathbf{x}_p) = \begin{cases} 1, & k = p \\ 0, & k \neq p \end{cases}, k, p = 0, 1, 2, \dots, n \quad (\text{A19})$$

The source large-scale eigenproblem (A17) is reduced to the subspace eigenproblem

$$\{k_{i,j}\}\vec{q} - \omega^2 \{m_{i,j}\}\vec{q} = 0 \quad (\text{A20})$$

The matrices of subspace projection are defined as $\{k_{i,j}\} = (\mathbf{K}\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j)$ and $\{m_{i,j}\} = (\mathbf{M}\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \mathbf{U}$, where \mathbf{U} is a unit matrix.

The Ritz vectors $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_{n+1}$ for the derived basis vectors $\mathbf{x}_0, \mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_n$ and the corresponding approximations of frequencies $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{n+1}$ are utilized for superposition of the structural dynamic response.

The procedure of the evolution of the basis vectors $\mathbf{x}_k, k = 0, 1, \dots, n$ toward the lowest eigenmode is very close to the corresponding step of preconditioned gradient iteration method for eigenproblem solution. It is a well-known fact that convergence of the preconditioned iteration methods depends considerably on the properties of the preconditioned operator \mathbf{B} . This operator should be positively definite; it allows inexpensive solution $\mathbf{B}\mathbf{z}_{k+1} = \mathbf{r}_{k+1}$ and satisfies the condition number $\mathbf{C}(\mathbf{B}^{-1}\mathbf{K}) \mapsto 1$ in the best possible manner.

The last requirement in case of Ritz-gradient method ensures good approximation of the low part of eigenmodes.

Such a method is available only for the multilevel iterative approach, which ensures a good quality of preconditioning. Both EBE (element-by-element) preconditioning technique and ICCF technique one are used. The quality of Ritz vectors generated in such way depends considerably on the properties of the preconditioning operator \mathbf{B} (see A13 and [8]). Since the coarse level model approximates well the low vibration modes, the Ritz vectors on the fine level are a good approximation of the corresponding eigenvectors (see [8]). Thus, the quality of results, obtained using such a method, depends considerably on the ability of the coarse level model to maintain similarity to the given FEM model (so-called fine level). Usually a single aggregation level ensures good approximation. When the number of aggregation levels is larger than one, quality of results is not guaranteed. It is a main limitation of this method application for analysis of a large-scale problem, when the number of equations exceeds ~60000.

If preconditioning matrix $\mathbf{B} = \mathbf{K}$ (the coarse level is identical to the fine level), the proposed Ritz-gradient method passes exactly to Lanczos method (see [8]). Mathematical background is presented in [8]. For more details see Help.

Modal Analysis – Precision of Computations

The generalized eigenvalue problem is defined as

$$\mathbf{K}\varphi - \lambda\mathbf{M}\varphi = 0, \quad (\text{A17})$$

where \mathbf{K}, \mathbf{M} are the stiffness and mass matrices respectively, $\{\varphi, \lambda\}$ - eigenpairs (natural vibration mode and eigenvalue). Two types of residual vectors are defined:

$$\mathbf{r} = \mathbf{K}\hat{\varphi} - \hat{\lambda}\mathbf{M}\hat{\varphi} \quad (\text{A18})$$

$$\mathbf{f} = \hat{\varphi} - \hat{\lambda}\mathbf{K}^{-1}\mathbf{M}\hat{\varphi}, \quad (\text{A19})$$

where $\{\hat{\varphi}, \hat{\lambda}\}$ are really computed eigenpairs which contain some computational errors. The first expression defines the residual vector in terms of forces and the second one – in terms of displacements.

Four different criteria are used to estimate the computational error of eigenvectors.

1. $\varepsilon = \|\mathbf{r}\| / \|\hat{\lambda}\mathbf{M}\hat{\varphi}\|$. It is a very stiff criterion. Usually $\varepsilon \leq 0.01$ means that first four digits in the eigenvalue are defined exactly. It is applied only for PCG method, when iterative solver is selected.
2. $\varepsilon = (\mathbf{r}, \varphi)$. It is a slightly softer criterion than the previous one. It is applied for modified Lanczos method, when iterative solver is selected.
3. $\varepsilon = \|\mathbf{f}\| / \|\hat{\varphi}\|$. It is a soft criterion because convergence of displacements in given realization of FEM is usually faster than convergence of internal forces. It is used for BLSI, SI and Lanczos method, when direct solvers (skyline or sparse) are selected.
4. $\left| \frac{\lambda_k - \lambda_{k-1}}{\lambda_k} \right| < tol$, where λ_k, λ_{k-1} - two successive eigenvalues on k, k-1 iteration steps and tol denotes the tolerance for eigenvalues, adopted in the Modal Analysis Parameters dialog box. It is used as intermediate criterion while the following methods are being run: BLSI, SI and Lanczos method (skyline or sparse direct solvers) in the modal mode. Such a criterion is not robust, however, it is very fast. The use of (4) allows one to reduce

considerably computation time for BLSI, SI, Lanczos methods, especially for large-scale problems. When an eigenvalue analysis is completed, criterion (3) is applied as the final verification of precision. The user should look at the “Precision” column in the table where the value $\varepsilon = \|\mathbf{f}\|/\|\hat{\phi}\|$ is presented. If insufficient precision is met for an eigenmode, it is necessary to repeat the eigenvalue analysis with a higher tolerance for eigenvalues tol .

The following table summarizes the considerations mentioned above. The symbol N/A means that the corresponding convergence check is not produced. Results of the final verification are obtained only once and are presented in the “Precision” column of the table. The convergence check during computations is performed several times.

	Direct solvers		Iterative solver		
Type of criterion	BLSI, SI, Lanczos method	Basis reduction method	Modified Lanczos	PCG_Ritz	PCG
During computations	$\left \frac{\lambda_k - \lambda_{k-1}}{\lambda_k} \right < tol$	N/A	N/A	N/A	$\varepsilon = \ \mathbf{r}\ /\ \hat{\lambda}\mathbf{M}\hat{\phi}\ $
Final verification	$\varepsilon = \ \mathbf{f}\ /\ \hat{\phi}\ $	N/A	$\varepsilon = (\mathbf{r}, \varphi)$	N/A	$\varepsilon = \ \mathbf{r}\ /\ \hat{\lambda}\mathbf{M}\hat{\phi}\ $

It should be noted, that Lanczos method for seismic mode produces convergence check $\varepsilon = \|\mathbf{f}\|/\|\hat{\phi}\|$ through each of the 20 Lanczos steps. Basis reduction method and PCG_Ritz method are the Ritz methods. Since it is not the iterative approach, verification of precision is not performed.

If precision of some modes after computation appears to be insufficient, it is necessary to do the following:

Direct solvers		Iterative solver		
BLSI, SI, Lanczos method – modal mode	Basis reduction method	Modified Lanczos	PCG_Ritz	PCG
Decrease tol from Modal Analysis Parameters dialog box	Increase the number of basis nodes and basis directions	Increase the number of modes; Decrease the tol in Iterative Solver Parameters dialog box	Increase the number of modes; decrease the number of aggregation levels; increase the number of inner iterations	Decrease tol in Modal Analysis Parameters dialog box

12.5.Appendix 3B – Analyse Pushover

NON-LINEAR PUSHOVER ANALYSIS

Introduction

The static nonlinear pushover analysis is a simplified approach that allows an engineer to understand the performance of building structure for various design earthquakes.

The following restrictions are applied in current version:

- All non-linear properties, which define the eventual structural failure during design earthquake, are concentrated in so-called nonlinear pushover hinges. Other nonlinear effects (longitudinal forces, P-Delta effect, traction-compression bars, etc.) is possible to be consider together with non-linear hinges, but its do not play the decisive role in the damage behavior of building structures.
- The non-linear hinges are possible to be taken into account only for frame elements of structures and for non-linear restrictions. The wall elements, modeled by shell finite elements (FE) and solid ones, are not covered by the option.
- Non-linear hinges are considered as an independent non-linear links for each degree of freedom in given node. It is neglected the interaction between different degrees of freedom. For example, bending of bar in one plane does not depend on bending in another plane and longitudinal forces. Such limitation will be removed in the next version.
- Location of each non-linear hinge is defined by the user.

Pushover analysis consists of following stages:

- Introduction of non-linear hinges in computational FE model.
- Assignment of non-linear properties for hinges (force-displacement or moment-rotation diagrams)
- Run modal analysis to activate of mass matrix (1 mode is enough).
- Definition of lateral forces specimen. Note: Push lateral forces depend on type of mass matrix.
- Assignment of control node and direction and ultimate push displacement value (when displacement in control node and direction exceeds such threshold, nonlinear analysis is finished).
- Assignment of parameters for non-linear analysis.
- Run step-by-step non-linear analysis. Equilibrium state curve “shear forces versus controlling displacement” $V = V(D)$ is a result of non-linear analysis. Shear forces is defined as a sum of reactions for given push direction caused by corresponding lateral force specimen.
- Conversion equilibrium states curve $V = V(D)$ to ADRS format (acceleration displacement response spectra) – derivation of capacity curve $S_a^{cap} = S_a^{cap}(S_d)$, where S_a^{cap} is a spectral acceleration and S_d is a spectral displacement.

- Capacity curve smoothing. Smoothed capacity curve is used for analysis of performance point.
- Taking into account the reduction of vibration period due to hysteretic damping caused by strong non-linear deformations of structure. Conversion of capacity curve to the axis “effective damping versus period” $\beta_{eff} = \beta_{eff}(T)$.
- Step-by-step search of the performance point as an intersection point between capacity curve $S_a^{cap} = S_a^{cap}(S_d)$ and selected demand curve.

LATERAL LOAD DEFINITION

It often happens for 3-D structures that first vibration mode produces a local vibration of a small part of structure (local vibrations of single or few bars, local mode of plate, etc.). Such a vibration mode usually is not representative for analysis of seismic response because makes small contribution into seismic motion (has a small modal mass percentage). Therefore following algorithm is applied to prepare a push mode - shape vector, which predefines a displacement vector during pushover analysis. In general, future consideration is based on [2] with partial adaptation to computer implementation.

- $\mathbf{K}\tilde{\Phi}_{dir} = \mathbf{M}\mathbf{I}_{dir} \Rightarrow \tilde{\Phi}_{dir}$, where \mathbf{K} , \mathbf{M} - stiffness and mass matrices respectively, \mathbf{I}_{dir} - unitary direction vector (has “1” on positions of translation displacements of direction dir = x ↔ y,z and zeros on all other ones; x, y, z - push directions); Φ_{dir} is taken as a push mode.

- Normalize push mode: $\Phi_{dir} = \frac{1}{\rho}\tilde{\Phi}_{dir}$, where $\rho = \sqrt{(\mathbf{M}\tilde{\Phi}_{dir}, \tilde{\Phi}_{dir})}$

- Mass participation factor: $\Gamma_{dir} = (\mathbf{M}\mathbf{I}_{dir}, \Phi_{dir})$

- Search lateral forces as: $F_{dir} = \gamma_{dir}\mathbf{M}\Phi_{dir}$, where γ_{dir} is a scalar multiplier. Shear force $V_{dir} = (F_{dir}, \mathbf{I}_{dir}) = \gamma_{dir}(\mathbf{M}\mathbf{I}_{dir}, \Phi_{dir}) = \gamma_{dir}\Gamma_{dir}$.

Therefore $\gamma_{dir} = \frac{1}{\Gamma_{dir}}V_{dir}$ and $F_{dir} = \frac{1}{\Gamma_{dir}}\mathbf{M}\Phi_{dir} * V_{dir}$. Take $V_{dir}=1$ because V_{dir} play a role of load parameter in non-linear pushover analysis and only spatial specimen of lateral forces presents interest for us now. So $F_{dir} = \frac{1}{\Gamma_{dir}}\mathbf{M}\Phi_{dir}$. In follows we will omit subscript dir because each push direction requires specific pushover analysis.

EQUILIBRIUM STATES CURVE. NONLINEAR ALGORITHM.

Usually characteristics of non-linear hinges are complex (see [1,2]) and contain a degradation branches. It often leads to like-tooth shape of equilibrium states curves. Arc-length algorithm is applied to overcome such difficulties.

The dialog-box of pushover analysis appears.

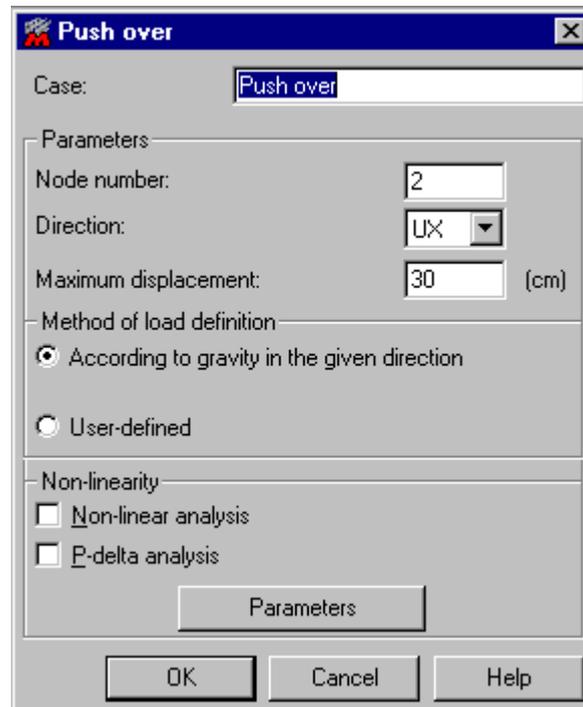


Fig. 10.5.1 Pushover analysis parameters: Node number, direction - number of nodes and direction, in which the controlling displacement is set; Maximum displacement - maximum value of controlling displacement to be pushed; Non-linearity parameters - see non-linear analysis.

If non-linear analysis or P-delta check boxes are checked, the nonlinear properties of each finite element are taken into account in addition to non-linear hinges. Otherwise only non-linear hinges and other specific non-linear elements (traction-compression, cable and non-linear connections) define the non-linear properties of structure.

CAPACITY CURVE. ADRS FORMAT

So, equilibrium states curve $V = V(D)$, where V is a shear force and D is a controlling displacement, is derived. The next step is a convergence of equilibrium states $V = V(D)$ to so-called acceleration-displacement response spectra format (ADRS):

$V = V(D) \Rightarrow S_a^{cap} = S_a^{cap}(S_d)$, where S_a , S_d - spectral acceleration and spectral displacement.

The function $S_a^{cap} = S_a^{cap}(S_d)$ is a capacity spectrum. Conversion procedure consists of following: for each point $\{D, V\} \in V = V(D)$ is derived corresponding point for capacity spectra $\{S_d, S_a\} \in S_a^{cap} = S_a^{cap}(S_d)$ by means

$$S_a = \frac{V}{\alpha W} = \frac{V}{\alpha M_{tot} g} = \frac{V}{\Gamma^2 g} \quad (10.5.1)$$

where $\alpha = \frac{\Gamma^2}{M_{tot}}$ - mass percentage for push mode, $M_{tot} = M_{tot}^{dir} = (MI_{dir}, I_{dir})$ - total mass of structure; W - weight of structure; g - ground acceleration.

$$S_d = \frac{D}{\Gamma \Phi_D}, \quad (10.5.2)$$

where Φ_D - such component of push mode vector Φ , which corresponds to (possesses the same node and direction) controlling displacement D .

In general, $V = V(D)$ usually is a non-linear function. The $S_a^{cap} = S_a^{cap}(S_d)$ equation is also a non-linear function (see Fig.10.5.2). Each point on such curve is associated with period T . Evolution of non-linear deformations leads to change of free vibration period. It is known that $T = \text{const}$ on ADRS diagram is a straight line, which pass through origin of coordinates. Therefore, for all points of linear part of capacity spectrum period is the same and is denote T_{lin} . This value is defined from solution of linear equation set $\mathbf{K}X_{dir} = F_{dir}$, where \mathbf{K} is a stiffness matrix, describing the linear behavior of structure, and F_{dir} is a specimen of lateral forces. Let us denote: D_{lin} - component of solution vector X_{dir} , which has the same degree of freedom as controlling displacement D ; V_{lin} - sum of reactions (shear force), caused by action of F_{dir} . According to [2],

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{S_d}{S_d g}} \quad (10.5.3)$$

After substitution (10.5.1), (10.5.2) to (10.5.3) it yields:

$$T_{lin} = 2\pi \sqrt{\frac{\Gamma D_{lin}}{V_{lin} \Phi_D}} \quad (10.5.4)$$

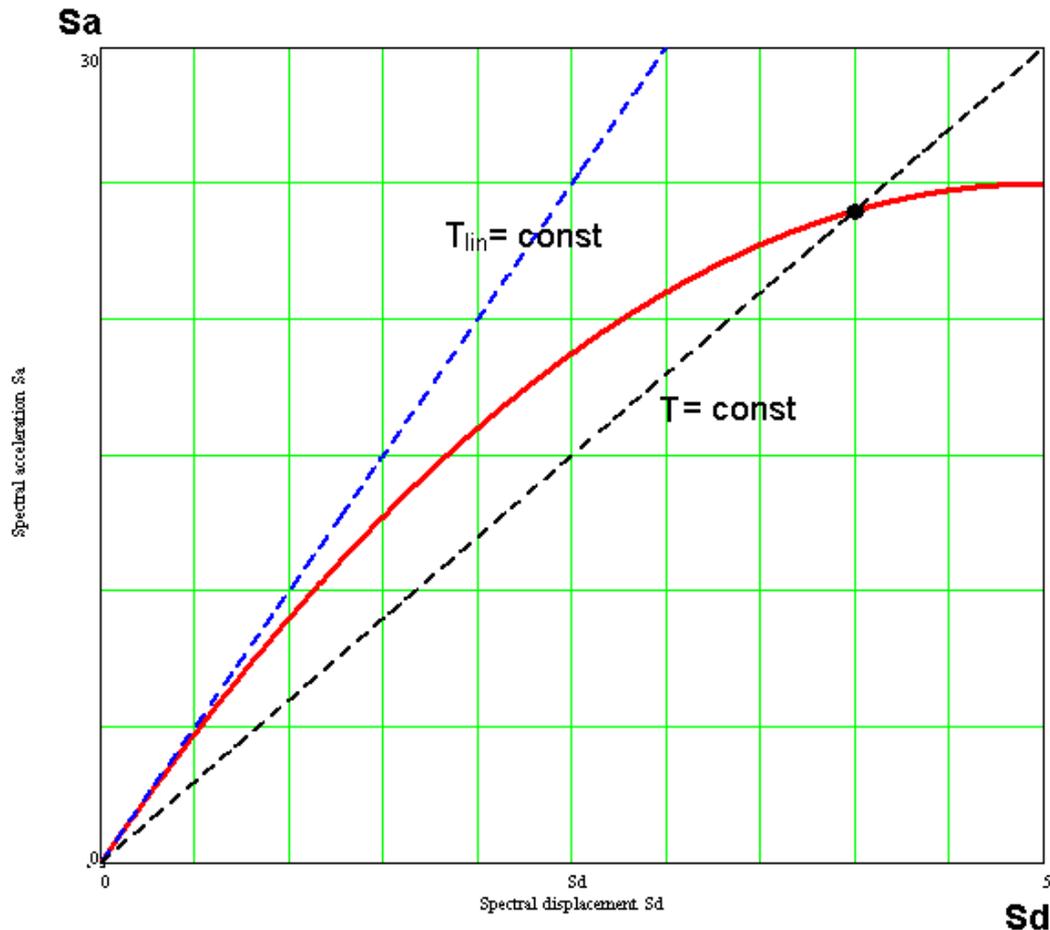


Fig. 10.5.2 Capacity spectrum in ADRS format

HYSTERETIC DAMPING. THE $\beta_{eff} = \beta_{eff}(T)$ CURVE

Appearance of non-elastic deformations leads to arising of hysteretic damping. The corresponding areas, shown on Fig.10.5.3, illustrate the energy dissipated per loop and maximum strain one. If the vibration of given system associates with vibration of single degrees of freedom system with viscous damping then equivalent viscous damping per full hysteresis loop is:

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S0}}, \quad (10.5.5)$$

where: E_D – energy dissipated per loop; E_{S0} - maximum strain energy. Energy dissipated per loop E_D and maximum strain energy E_{S0} is possible to define from consideration of Fig. 10.5.3:

$$E_D = 4 \left(\int_0^A S_a dS_d - Area(\Delta ABK) \right); \quad E_{S0} = Area(\Delta OAB) \quad (10.5.6)$$

Effective damping is defined as:

$$\beta_{eff} = \kappa\beta_0 + 0.05 \quad (10.5.7)$$

where: 0.05 is a viscous damping, κ - factor is taken according to Fig.8-15 from [2].

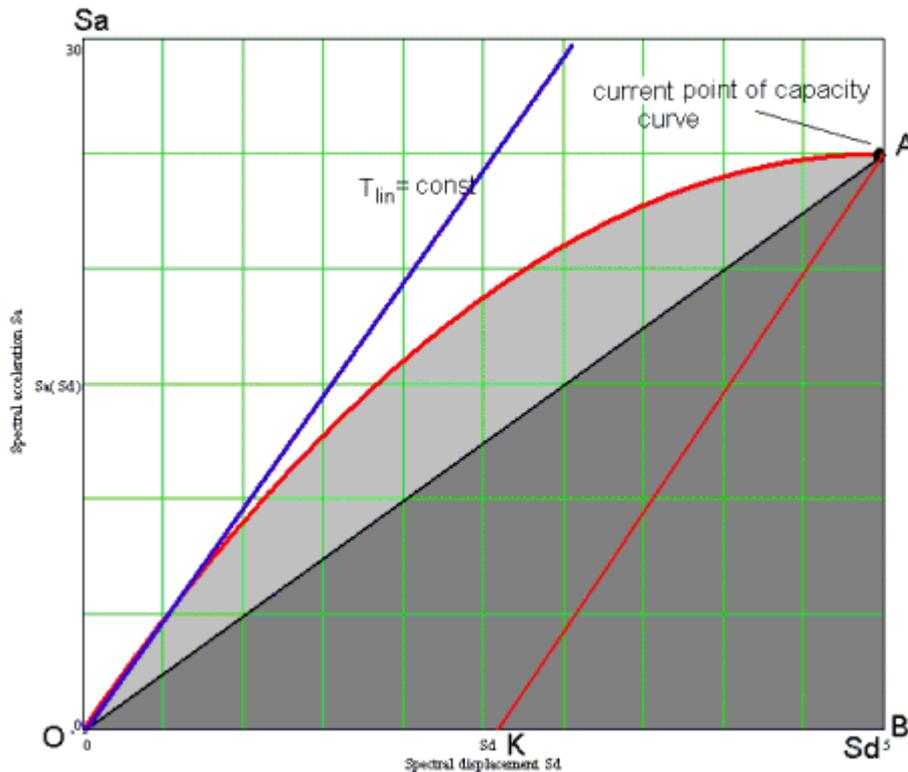


Fig. 10.5.3 Area of curvilinear figure, restricted by capacity curve $S_a^{cap} = S_a^{cap}(S_d)$ and lines AKO, is a $\frac{1}{4}$ of hysteresis parallelogram area and presence energy dissipated per loop by damping. Area of triangle OAB presents maximum strain energy. AK is parallel to constant period line $T_{lin} = \text{const}$.

Capacity curve is possible to present not only as $S_a^{cap} = S_a^{cap}(S_d)$, but as $\beta_{eff} = \beta_{eff}(T)$, because each point of $S_a^{cap} = S_a^{cap}(S_d)$ possesses by period T (see equation 10.5.3) and effective damping β_{eff} (see 10.5.5-10.5.7).

Integral from (10.5.6) is evaluated numerically for each point $A \in S_a^{cap} = S_a^{cap}(S_d)$.

Application of arc-length algorithm allows one to derive the very complex capacity curves with tooth-like reversible branches, caused by degradation paths of non-linear hinge characteristics (see Fig. 10.5.4). Therefore capacity curve $S_a^{cap} = S_a^{cap}(S_d)$ is subjected to smoothing procedure before numerical evaluation of (10.5.5-10.5.7). Smoothed capacity spectrum curve is defined on regular mesh; it is a single-valued function in contrast to initial capacity curve. Such property is very important for correct evaluation of (10.5.5-10.5.7). Therefore for following analysis only smoothed capacity spectrum curve is used.

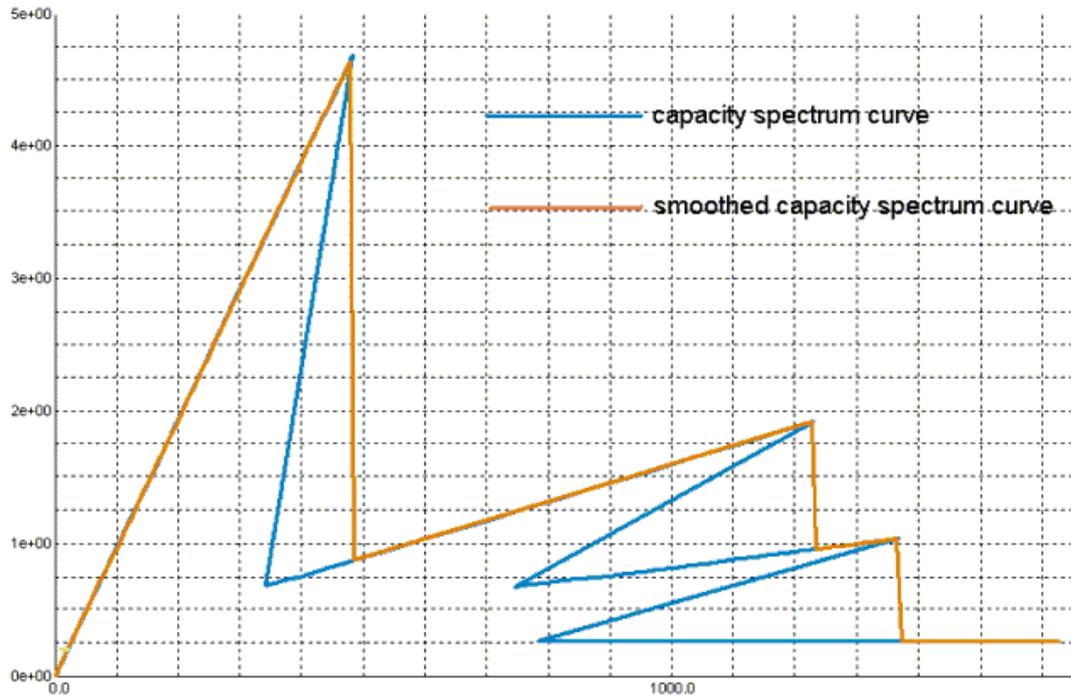


Fig. 10.5.4 Capacity spectrum and smoothed capacity spectrum curves. It is obtained from real example.

DEMAND CURVE. SELECTED DEMAND CURVE. PERFORMANCE POINT

When moving along non-linear capacity curve $S_a^{cap} = S_a^{cap}(S_d)$ ($S_d \in [0, S_d^{MAX}]$, where $S_d^{MAX} = \sup\{S_d\}$ is defined by last point of equilibrium states curve), period T and effective damping $\beta_{eff}(T)$ are changing. Therefore each point on capacity curve $S_a^{cap} = S_a^{cap}(S_d)$ ($\beta_{eff} = \beta_{eff}(T)$) defines the corresponding reduced (demand) response spectra curve $S_a^{red} = S_a^{red}(S_d)$. The $S_a^{red} = SR_A \times S_a^{elastic}$ in constant acceleration range of spectrum and $S_a^{red} = SR_V \times S_a^{elastic}$ in constant velocity range of spectrum (see Fig. 8-14 from [2]). The $S_a^{elastic}$ is an acceleration spectra from elastic response spectrum (5% damped).

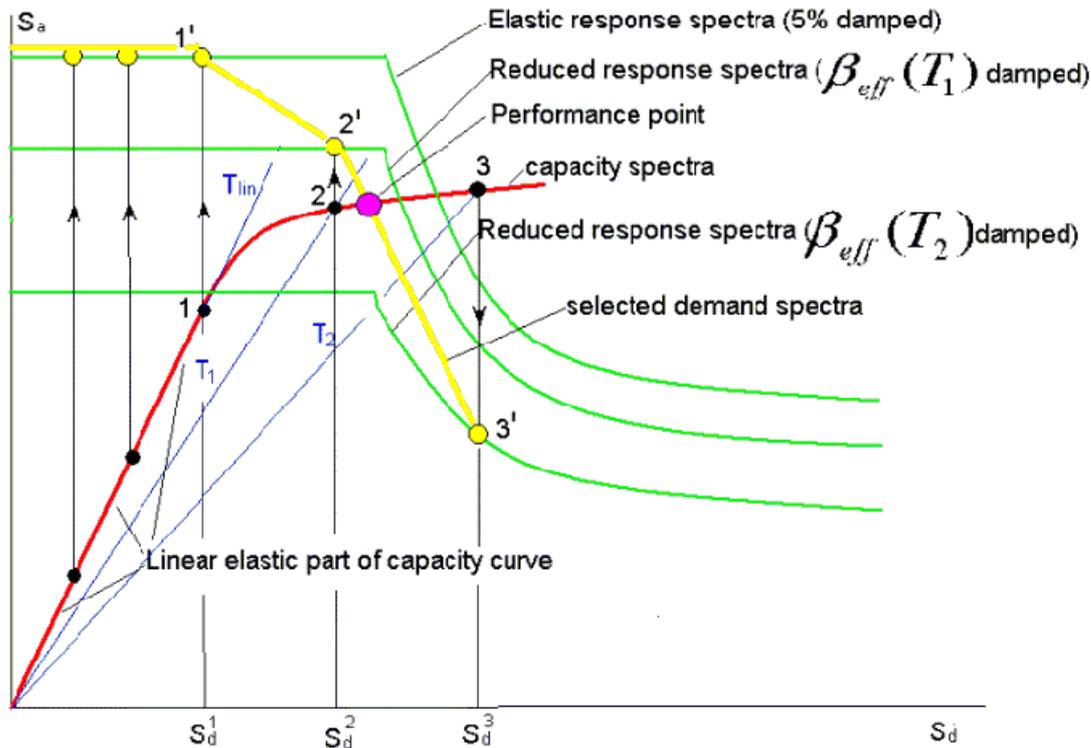


Fig. 10.5.5 Evaluation of capacity, reduced and selective demand spectrum curves. Performance point is an intersection of capacity and selective demand curves.

The point $\{S_a^{red}, S_d\} \in S_a^{red} = S_a^{red}(S_d)$, defined by given S_d from capacity spectra $S_a^{cap} = S_a^{cap}(S_d)$, we call as a selected point. Therefore the motion along capacity curve $S_a^{cap} = S_a^{cap}(S_d)$ give rises the collection of selected points $\{S_a^{red}, S_d\}$ for $S_d \in [0, S_d^{MAX}]$, which is called a selected demand spectrum curve $S_a^{dem} = S_a^{dem}(S_d)$. The intersection between capacity curve and selected demand one defines a performance point. The scheme explanation is presented on Fig. 10.5.5. Until points $\{S_d, S_a^{cap}\}$ belong to linear part of capacity spectrum diagram, $T = T_{lin} \Rightarrow \beta_{eff} = 0.05 = 5\%$. Point 1 is projected to elastic response spectra as 1'. The demand spectra for such points are a part of elastic response spectra from zero to limit of linear behavior. It is necessary to define for non-linear part of capacity spectra:

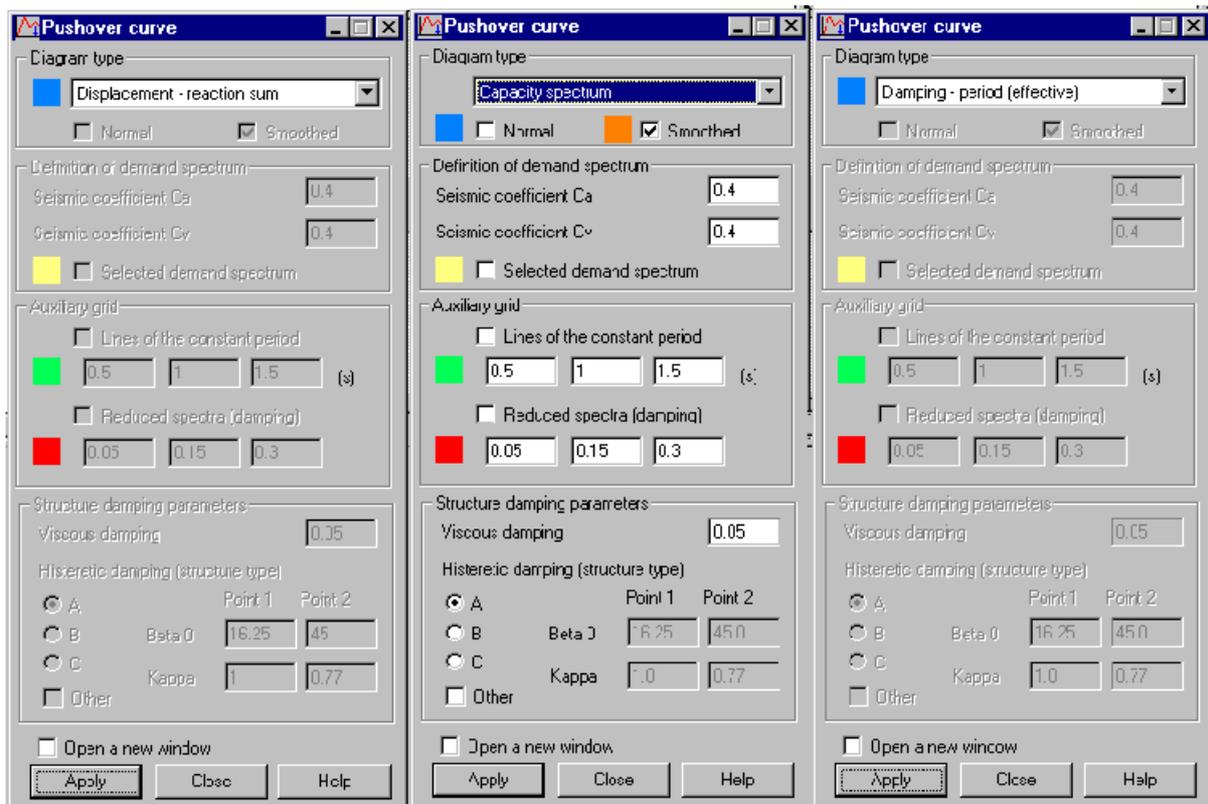
$$\{S_d, S_a^{cap}\} \Rightarrow \{T, \beta_{eff}\} \Rightarrow SR_A, SR_V \Rightarrow \{S_d, S_a^{red}\}.$$

Points 2, 3 define the corresponding projections 2', 3' on appropriate reduced spectrum curves. The collection of such points creates the selective demand spectra curve. Intersection between capacity and selective demand curves defines a performance point.

PUSHOVER CURVE DIALOG BOX

Press *Results / Advanced / Pushover curve* to display pushover curve dialog box. Choose Displacement - reaction sum option to show shear force - controlling displacement diagram $V = V(D)$ (Fig. 10.5.6.A).

Selection of capacity spectrum option (Fig. 10.5.6.B) leads to computations of capacity spectrum curve $S_a^{cap} = S_a^{cap}(S_d)$, smoothed capacity spectrum curve, $\beta_{eff} = \beta_{eff}(T)$ curve, selected demand spectrum curve $S_a^{dem} = S_a^{dem}(S_d)$ and search of performance point. The *Normal* and *Smoothed* options allow one to display capacity spectrum curve and smoothed capacity spectrum curve, respectively. The *Selected demand* option handles by appearance of selected demand spectrum one, which is computed on the base of seismic coefficients C_a , C_v and smoothed capacity spectrum curve.



A

B

C

Fig. 10.5.6 Pushover curve dialog box

Structure damping parameters allows one to set the structural behavior type (see [2]) and assign the kappa-factor (see 10.5.7) according to [2, Fig. 8-15] or given by the user. If you want to assign your own dependencies $\kappa = \kappa(\beta_0)$, check the *Other* option and correct the default values of κ , β_0 . The meaning of Point1 and point2 is presented on the figure below.

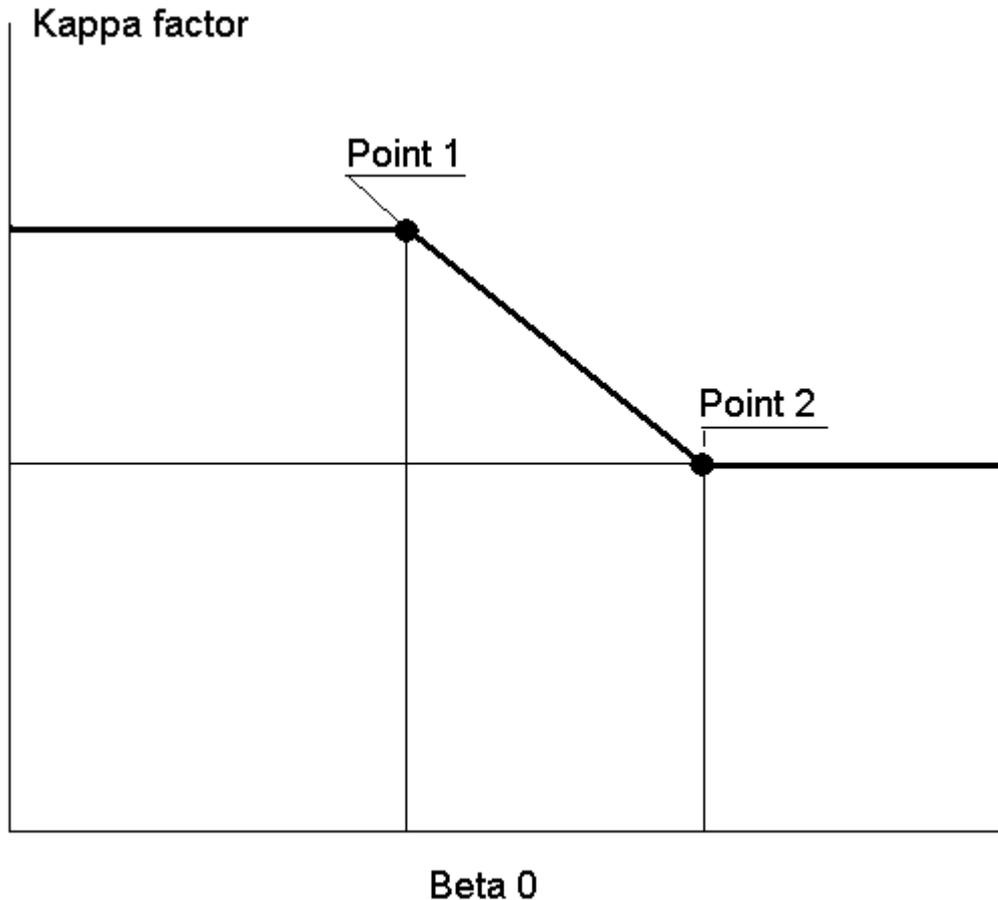


Fig. 10.5.7 Point1 and point 2 interpretation

In current version viscous damping is taken as 5% (constant value).

Auxiliary grid parameters allows one to display the lines of constant period (period values are assigned in appropriate edit boxes) and the reduced spectra curves for given effective damping (effective damping values are assigned in appropriate edit boxes). Such curve-linear grid must simplify the orientation on S_a , S_d plane.

The coordinates of performance point are presented under separator, if performance point is found. Otherwise, zeros values appear. To display all coordinates of performance point click right mouse button mouse and select *Table columns* option. Another useful management of graphics is still available for you, when right mouse button is pressed.

The *Damping-effective period* option allows one to display $\beta_{\text{eff}} = \beta_{\text{eff}}(T)$ curve (Fig.10.5.6.C). Pay attention to the fact, that all points from linear part of capacity spectrum curve are mapped to single point of $\beta_{\text{eff}} = \beta_{\text{eff}}(T)$ with coordinates: $T = T_{\text{lin}}$, $\beta_{\text{eff}} = 0.05$.

REFERENCES

[1] FEMA 273, 1997, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Developed by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency (Report No. FEMA 273), Washington, D.C.

[2] ATC-40, Seismic evaluation and retrofit of concrete building, 1996.

ARC-LENGTH CONTROLLING METHOD FOR NON-LINEAR ANALYSIS

When top point of equilibrium states curve is met the force-controlling incremental algorithm is fault.

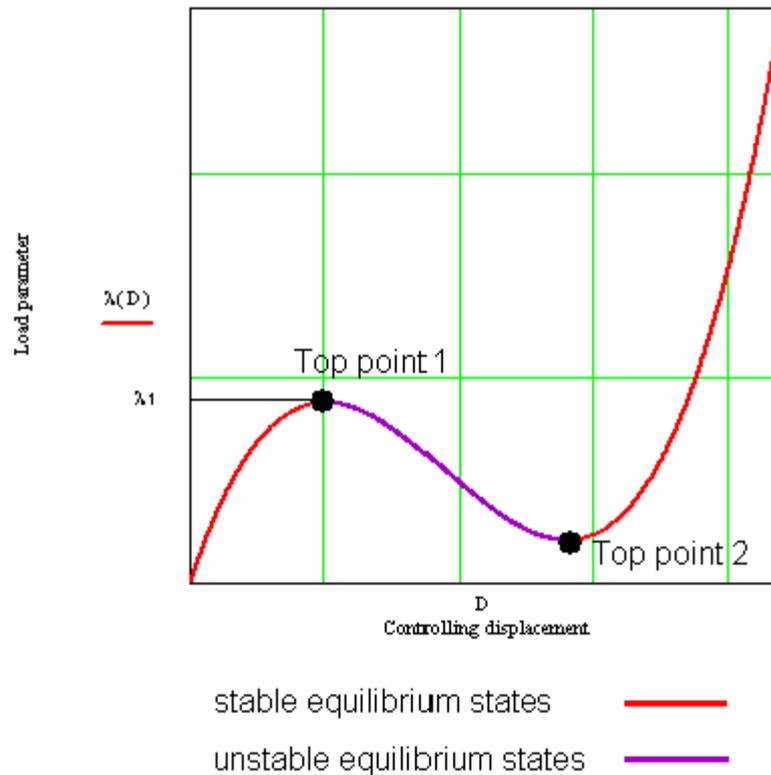


Fig. 10.5.8 Typical view of equilibrium states curve with top points

The force controlling approach is possible to apply when $0 \leq \lambda < \lambda_1$, where λ_1 corresponds to top point 1. If $\lambda > \lambda_1$ force controlling iterative process is still non-convergent.

Arc-length algorithm allows one to pass all branches of equilibrium states without any serious problem. The normal plane method [1,2] is applied. The non-linear algorithm with developed arc-length strategy is presented below.

Input parameters: λ_{\max} - maximum value of load parameter; D_{\max} - maximum value of controlling displacement; NoSteps – number of assumed increments; NoIter – number of equilibrium iterations; tol_F – tolerance for residual vector norm, tol_L – tolerance for load parameter.

- Start initialization

$$\lambda = 0$$

- Loop over load increments: $n = 0, 1, \dots$

$$i = 0$$

$$\mathbf{R}_0 = 0$$

$$\Delta \tilde{\mathbf{d}}^0 = 0$$

$$\mathbf{d}_{n+1}^0 = \mathbf{d}_n$$

where: $\mathbf{R}_i = \lambda_{n+1}^i \mathbf{F}_{ext} - \mathbf{N}(\mathbf{d}_{n+1}^i)$ - residual vector, λ_{n+1}^i - current value of load parameter, \mathbf{F}_{ext} - external load, $\mathbf{N}(\mathbf{d}_{n+1}^i)$ - vector of internal forces; \mathbf{d}_{n+1}^i - current displacement vector.

- Loop over equilibrium iterations: $i = 0, 1, 2, \dots < \text{NoIter}$

if ($i == 0$ *_or_* *_update_* *_tan* *_gent_* *_matrix_* *_on_* *_each_* *_iteration*)

$$\mathbf{K}\tau = \mathbf{K}\tau(\mathbf{d}_{n+1}^i)$$

$$\mathbf{K}\tau\Delta\mathbf{d}_L = \mathbf{F}_{ext}$$

if ($i > 0$)

$$\mathbf{R}_i = \lambda_{n+1}^i \mathbf{F}_{ext} - \mathbf{N}(\mathbf{d}_{n+1}^i)$$

Check _convergence : $\frac{\|\mathbf{R}_i\|}{\|\mathbf{F}_{ext}\|} \leq \text{tol}_F$ *_and_* $\frac{|\lambda_{n+1}^i - \lambda_{n+1}^{i-1}|}{|\lambda_{n+1}^i|} \leq \text{tol}_L \Rightarrow \text{break_loop_over_i}$

$$\mathbf{K}\tau\Delta\tilde{\mathbf{d}}^i = \mathbf{R}_i \Rightarrow \Delta\tilde{\mathbf{d}}^i$$

Set $\Delta\lambda_i$

Update $\mathbf{d}_{n+1}^{i+1}, \lambda_{n+1}^{i+1}$ to the next iteration

$$\mathbf{d}_{n+1}^{i+1} = \mathbf{d}_{n+1}^i + \Delta\tilde{\mathbf{d}}^i + \Delta\lambda_i\Delta\mathbf{d}_L$$

$$\lambda_{n+1}^{i+1} = \lambda_{n+1}^i + \Delta\lambda_i$$

End loop over i

if ($\lambda_{n+1}^{i+1} > \lambda_{max}$ *_or_* $D^* > D_{max}$) *_break_* *_loop_* *_over_* *_n*

D^* - *_controlling_* *_displacement*

End loop over n

The arc-length strategy sets the increment of load parameter on each iteration step. At the start of solution (n=0; i=0) $\Delta\lambda_0 = \lambda_{\max} / NoSteps$; $\Delta S = \Delta\lambda_0 \sqrt{1 + \Delta\mathbf{d}_L^T \Delta\mathbf{d}_L}$ is adopted where ΔS is an arc-length increment. At the start step of each iteration (i=0; n>0)

$$\Delta\lambda_0 = \Delta S / \sqrt{1 + \Delta\mathbf{d}_L^T \Delta\mathbf{d}_L} \text{ and when } i > 0 \text{ normal plane method gives } \Delta\lambda_i = - \frac{\Delta\tilde{\mathbf{d}}_i^T \Delta\mathbf{d}_L^0}{1 + \Delta\tilde{\mathbf{d}}_L^T \Delta\mathbf{d}_L^0}.$$

The Fig.10.5.9 illustrates the normal plane method with updating of matrix only in each increment (as it is in modified Newton-Raphson method).

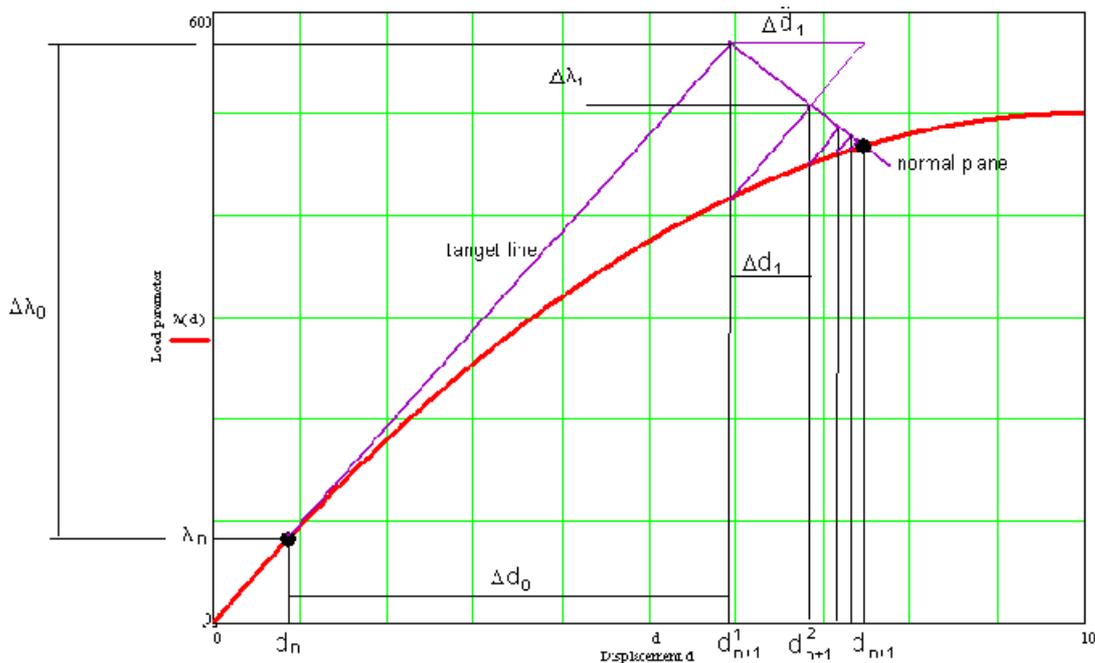


Fig.10.5.9 The normal plane method

Let us denote: $\vec{\tau} = \begin{pmatrix} \Delta\lambda_0 \\ \Delta\mathbf{d}_0 \end{pmatrix}$ - tangent line vector; $\vec{n} = \begin{pmatrix} \Delta\lambda_i \\ \Delta\mathbf{d}_i \end{pmatrix}$ - normal line vector. According to normal plane method plane, which is normal to tangent line on zero iteration step, defines the constraint for computation of load increment $\Delta\lambda_i$. Condition of orthogonality is: $\vec{\tau} \cdot \vec{n} = 0$ or $\Delta\lambda_0 \Delta\lambda_i + \Delta\mathbf{d}_0 \Delta\mathbf{d}_i = 0$ where $\Delta\mathbf{d}_i = \Delta\tilde{\mathbf{d}}_i + \Delta\lambda_i \Delta\mathbf{d}_L$ and $\Delta\mathbf{d}_0 = \Delta\lambda_0 \Delta\mathbf{d}_L^0$; $\Delta\mathbf{d}_L^0 = \Delta\mathbf{d}_L$ for zero iteration (i=0).

Such a condition of orthogonality allows one to define $\Delta\lambda_i$, when $i = 1, 2, \dots$

It is possible to show that determinant of $|\mathbf{K}\tau| = 0$ when singular point (limit top point or bifurcation one) is achieved. The following condition is fulfilled: $\mathbf{K}\tau\Delta\tilde{\mathbf{d}}_i = \mathbf{R}_i$. When given point of plate load parameter – controlling displacement belongs to equilibrium state curve, $\mathbf{K}\tau\Delta\tilde{\mathbf{d}}_i = 0$ because residual vector $\mathbf{R}_i = 0$ (equilibrium conditions are satisfied exactly).

Last expression is a homogeneous linear equation set. Thus, if in some point $|\mathbf{K}\tau| = 0$, it means that except for trivial solution $\Delta\tilde{\mathbf{d}}_i = 0$ exists nontrivial one. The determinant $|\mathbf{K}\tau|$ changes the sign the singular point is passed. Developed algorithm controls the changing of

sign of $|\mathbf{K}\tau|$ determinant. If singular point is passed appropriate warning informs the user that current equilibrium state is unstable.

Parameters for arc-length method can be set in the dialog box shown below.

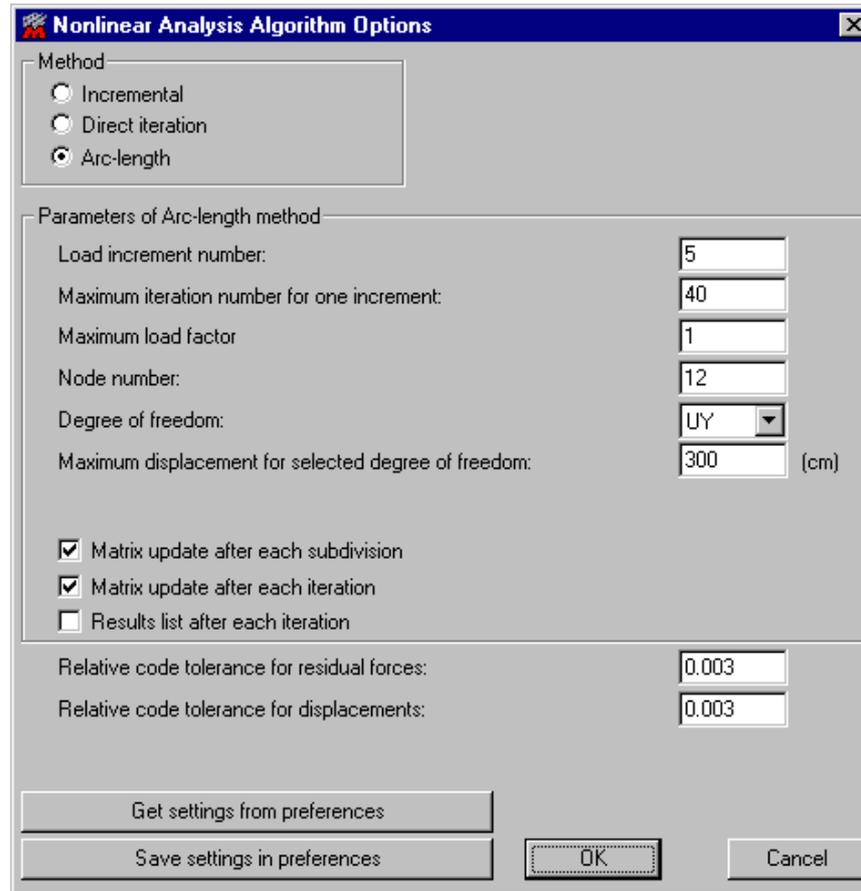


Fig.10.5.10 Parameters of arc-length method

Where: load increment number - NoSteps; maximum iteration number for one increment - NoIter; maximum load factor - λ_{\max} ; node number, degree of freedom - assign node number and direction for controlling displacement; maximum displacement for selected degree of freedom - D_{\max} ; relative tolerance for residual forces – tol_F; relative tolerance for displacements – tol_L.

Arc-length method is applied for non-linear pushover analysis and is strongly recommended when FE model has the non-linear connections. The example illustrates the possibilities of arc-length method which automatically allows us to get so complex equilibrium state curve (Fig.10.5.13) caused by degradation branches of non-linear hinge characteristics (Fig.10.5.12).

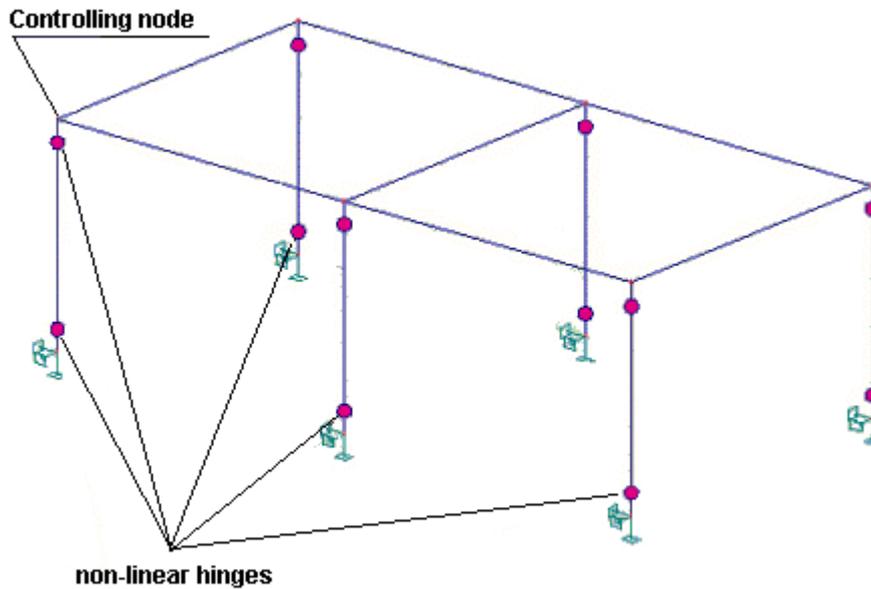


Fig. 10.5.11 Example of frame structure loaded by lateral seismic forces

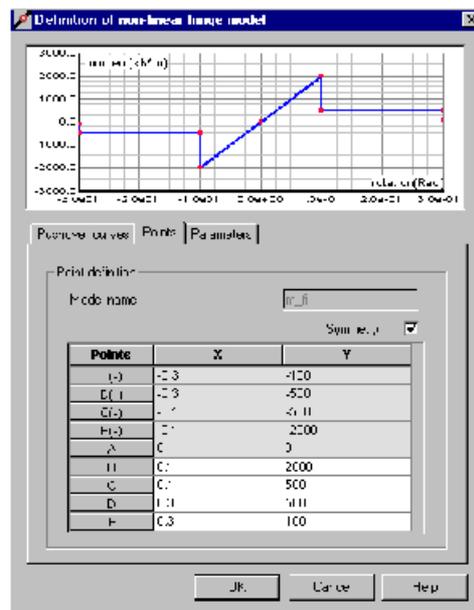


Fig. 10.5.12 Bending moment-rotation characteristic of non-linear hinges.

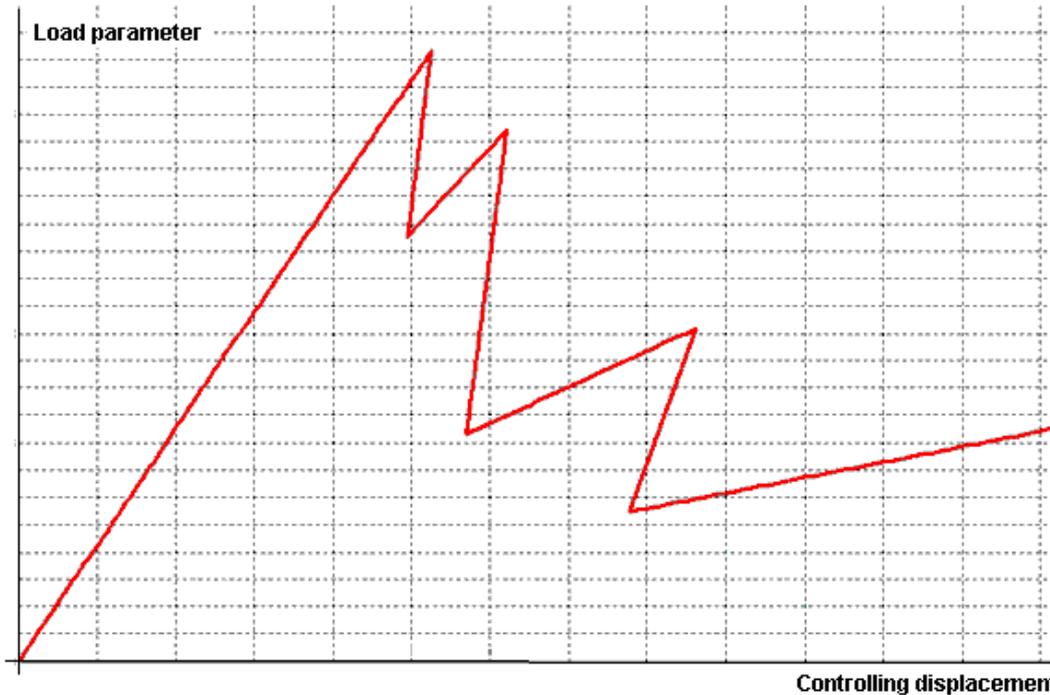


Fig. 10.5.13 Equilibrium states curve. Like-tooth paths are caused by degradation branches of non-linear hinge characteristics.

REFERENCES

1. E.Hinton, NAFEMS. Introduction to nonlinear finite element analysis, Glasgow, 1992
2. E.Ramm, Strategies for tracing non-linear responses near limit points. Non-linear finite element analysis in structural mechanics, (Eds. W.Wunderlich, E.Stein and K.J.Bathe), Springer-Verlag, New York, 1981

12.6.Appendix 3C

12.6.1. The Pseudo Mode Approach

The source motion equations for seismic loads take the following form:

$$\mathbf{K}\vec{X} + \mathbf{M}\ddot{\vec{X}} = \vec{P}(t) = -\mathbf{M}\vec{I}_{dir}\varphi(t) \quad (\text{B1})$$

\mathbf{K}, \mathbf{M} - the stiffness and mass matrices;

\vec{I}_{dir} - direction unit vector; $\varphi(t)$ - time history of the ground acceleration

The solution is searched as:

$$\vec{X}(t) \approx \sum_{i=1}^N \beta_i(t)\vec{q}_i \quad (\text{B2})$$

where \vec{q}_i are the basis vectors of the size Neq – number of equations of the source FE model. These vectors should satisfy the following requirements:

- kinematics and static boundary conditions;
- linear independence
- basis completeness.

It is possible to adopt either Lanczos vectors or any vectors obtained for unit concentrated nodal forces (basis reduction method for direct solvers or Ritz-gradient PCG_Ritz method).

The subspace projection is described as:

$$\begin{aligned}
 \{k_{ij}\}\vec{\beta} + \{m_{ij}\}\ddot{\vec{\beta}} &= \{\vec{P}\}, \\
 \{k_{ij}\} &= (\mathbf{K}\vec{q}_i, \vec{q}_j); \\
 \{m_{ij}\} &= (\mathbf{M}\vec{q}_i, \vec{q}_j); \\
 \{\vec{P}\} &= \vec{P}(t)\vec{q}_i = -\mathbf{Q}^T \mathbf{M} \vec{I}_{dir} \varphi(t); \\
 \mathbf{Q} &= \{\vec{q}_1, \vec{q}_2, \dots, \vec{q}_N\}
 \end{aligned} \tag{B3}$$

Let us note that $\vec{\beta}$ is of the N size; the \mathbf{Q} matrix is of the NeqxN size.

The subspace equations (B3) will be solved by means of decomposition of the eigenvectors (on the subspace which is defined by $\mathbf{Q} = \{\vec{q}_1, \dots, \vec{q}_N\}$).

$$\vec{\beta} = \sum_{k=1}^N \alpha_k(t) \vec{v}_k, \text{ where} \tag{B4}$$

$$\{k_{ij}\}\vec{v}_k - \omega_k^2 \{m_{ij}\}\vec{v}_k = 0;$$

Let us note that decomposition (4) is an exact expression, because the k subscript assumes values from 1 to N – over the entire size of subspace \mathbf{Q} .

The substitution (B4) to (B3) leads to the uncoupled set of equations

$$\begin{aligned}
 \ddot{\alpha}_k(t) + \omega_k^2 \alpha_k(t) &= -\vec{v}_k^T \mathbf{Q}^T \mathbf{M} \vec{I}_{dir} \varphi(t) \\
 k &= 1, 2, \dots, N \\
 \vec{v}_k^T \{m_{ij}\}\vec{v}_k &= 1
 \end{aligned} \tag{B5}$$

Let us consider

$$\vec{v}_k^T \mathbf{Q}^T = \sum_{s=1}^N v_{k,s} \vec{q}_s = \vec{\Phi}_k^T \tag{B6}$$

Thus, (B5) can be presented as

$$\ddot{\alpha}_k(t) + \omega_k^2 \alpha_k(t) = -\vec{\Phi}_k^T \mathbf{M} \vec{I}_{dir} \varphi(t) \tag{B7}$$

where $k=1, 2, \dots, N$

Let us apply the response spectra method to the uncoupled equations (B7)

$$\alpha_{k,\max} = \frac{1}{\omega_k^2} \vec{\Phi}_k^T \mathbf{M} \vec{I}_{dir} S_a^{dir}(\omega_k) \tag{B8}$$

where $\alpha_{k,\max}, S_a^{dir}(\omega_k)$ are the maximum response for k subspace mode and spectra acceleration function, respectively.

Let us substitute (B8) to (B4) and then to (B2):

$$\bar{X}_{k,\max} \approx \frac{1}{\omega_k^2} \bar{\Phi}_k^T \bar{\mathbf{M}}_{dir} \bar{\Phi}_k S_a^{dir}(\omega_k) = \frac{1}{\omega_k^2} \tilde{\Gamma}_k^{dir} \tilde{\Phi}_k S_a^{dir}(\omega_k) \quad (\text{B9})$$

It should be noted that for $N \rightarrow Neq$:

$$\begin{aligned} \tilde{\Phi}_k^T &\rightarrow \bar{\Phi}_k^T, \\ \omega_k &\rightarrow \Omega_k \end{aligned}$$

where $\Omega_k, \bar{\Phi}_k^T$ are the exact eigenpair of the source FEs eigenproblem

$$K\bar{\Phi}_k - \Omega_k^2 \bar{\mathbf{M}}\bar{\Phi}_k = 0 \quad (\text{B10})$$

and $\tilde{\Gamma}_k^{dir} = \tilde{\Phi}_k^T \bar{\mathbf{M}}_{dir} \tilde{\Phi}_k \rightarrow \Gamma_k^{dir} = \bar{\Phi}_k^T \bar{\mathbf{M}}_{dir} \bar{\Phi}_k$, where Γ_k^{dir} is the mass participation factor for k eigenmode.

12.6.2. Conclusions

1. The proposed approach does not require the “good” approximations $\tilde{\Phi}_k^T \rightarrow \bar{\Phi}_k^T, \omega_k \rightarrow \Omega_k$. It is possible that $\tilde{\Phi}_k^T, \omega_k$ approximate the $\bar{\Phi}_k^T, \Omega_k$ with the arbitrary precision.
2. The proposed approach is not worse than the well-known modal decomposition (superposition) method. Both of these methods constitute particular cases of the common projection method and converge to the “exact” solution when $N \rightarrow \text{Neq}$. (This statement is not valid exactly for response spectra method, because this method is of the statistical character and its convergence to the exact solution takes place when $N \rightarrow \infty$. It is obvious that for $N > \text{Neq}$ there will arise a computational conflict due to the fact that the number of basis vectors cannot exceed Neq . Therefore, it is possible to get different solutions for different basis vectors when $N = \text{Neq}$. It is a particularity of the response spectra method. For methods other than the response spectra method, the full convergence takes place when $N = \text{Neq}$. The convergence for the case of response spectra method should be considered in the statistical sense only, because this method constitutes a statistical approach aimed at getting an average solution once the time history has been lost. Due to that the term “exact solution” should be applied with caution).
3. Which basis is better: Ritz vectors or eigenvectors? There should be such a basis which will ensure better convergence to the “exact” solution ($N = \text{Neq}$) by means of the smallest number of basis functions N . The question should be solved by examining practical examples.
4. Usually, the first part of pairs $\tilde{\Phi}_k^T, \omega_k$ provide good approximations to the correspondence eigenpairs $\bar{\Phi}_k^T, \Omega_k$ (It is possible to determine the precision of each pair in the “Precision” column of the output listing). Only the last part of pairs $\tilde{\Phi}_k^T, \omega_k$ provide bad approximations to the exact eigenpairs and may be considered to be “pseudo modes” (from the viewpoint of the French seismic code PS-92).
5. The use of the entire subspace $Q = \{\bar{q}_1, \dots, \bar{q}_N\}$ ensures fast increase of mass percentage. In case of Modal and Seismic modes, only a part of this subspace is used.

12.7.Appendix 3D

The examples of application of the Seismic mode and Pseudo mode

1. It is obvious that there are many kinds of seismic and spectral problems where it is difficult to get sufficient (70%- 90%) percentage of masses. It is possible to solve the so-called “good” problems using well-known methods: the user assigns an arbitrary number of N modes and computes the first sequential N modes by means of the Modal mode. However, for “hard” problems this approach may turn out to be unreachable. Let us consider, for example, the “Coreal” or “Museum” problems. They are FEM models which have been prepared by French engineers. A mass percentage for different number of defined eigenmodes is presented. The Modal mode (Lanczos method) is used.

The “convergence history” for problem “Coreal”

Number of Converged Modes	Mass %
44	< 1%
62	12%
75	38%
89	60%
116	74%
154	77%
179	80%

The “convergence history” for problem “Museum”

Number of Converged Modes	Mass %
41	20%
106	40%
119	42%

For example, 80% means that for two directions sums of masses are not smaller than the given number. The Modal mode generates eigenmodes, while either the adopted mass percentage is achieved or the assigned top limit number of modes is exhausted. **The final solution of the response spectra method is obtained in the form of statistical superposition of eigenvectors.**

2. In both problems under consideration, the number of degrees of freedom is smaller than 2000. Such problems are considered to be the small ones (with respect to the number of degrees of freedom). In case of medium-sized and large-scale (“tough”) problems, it is possible that both the Modal and the Seismic mode remain still inapplicable in practice, due to the expansive character of the computation process. In such cases, application of the Pseudo mode is recommended. Below, the convergence history for “Coreal” and “Museum” problems is presented.

There “convergence history” for problem “Coreal”

Number of Basis Vectors	Mass %
10	58%
20	67%
40	70%
80	80%

There “convergence history” for problem “Museum”

Number of Basis Vectors	Mass %
10	60%
20	66%
40	71%

Note: It is necessary to define approximately 130 – 150 Lanczos vectors to obtain 80 eigenvectors for the Modal mode. The computational effort in the Pseudo mode is considerably smaller (approximately 3 – 5 times).

The convergence of results in the Pseudo mode is illustrated in the next problem. The following table presents the resultant max/min values of CQC combination for the Modal mode and Pseudo mode :

Mode	UX (cm)	UY (cm)	UZ (cm)	Mass percent.
Modal	5.52002e-00	5.88293e-00	5.83013e-00	81%
Pseudo, Nvect = 10	5.58710e-00	5.89055e-00	5.00224e-00	80%
Pseudo, Nvect = 20	5.52937e-00	5.88870e-00	6.08661e-00	91%

Nvect – the number of basis vectors.

12.8.Appendix 3E

12.8.1. Examples Application of Modal Analysis Methods to Solution of Large-scale Problems

Example 1 presents the comparison of computation time for BLSI and Lanczos methods. Different numbers of eigenmodes are considered. Applied solver: sparse direct solver. Mass matrix type: "Lumped with rotations".

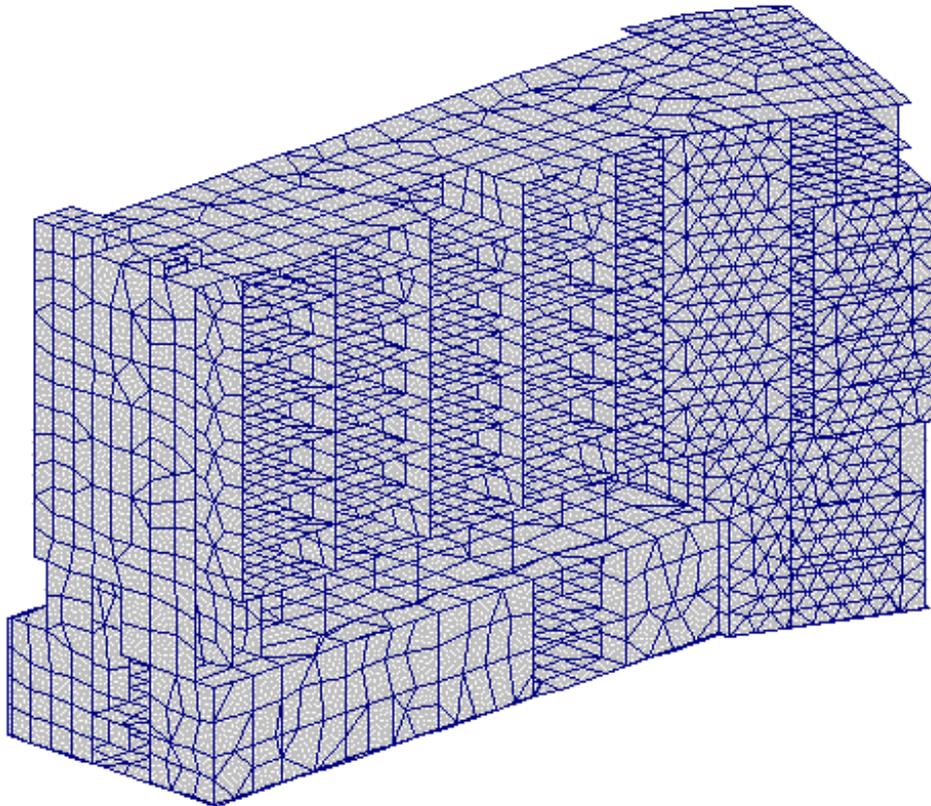


Fig. D1. Model of a hotel. Number of nodes: 6 359; Number of elements: 7 264; Number of equations: 37 806

Table D1. Result Comparison

BLSI		Lanczos	
f (Hz)	Precision	F (Hz)	Precision
2,794e-001	1,082e-006	2,794e-001	5,680e-015
1,388e+000	1,389e-004	1,388e+000	2,199e-013
1,520e+000	7,847e-004	1,520e+000	8,193e-012
1,644e+000	2,469e-004	1,644e+000	4,497e-013
1,747e+000	2,691e-004	1,747e+000	5,455e-014

1,776e+000	3,092e-004	1,776e+000	9,127e-013
1,806e+000	3,153e-004	1,806e+000	6,621e-013
1,818e+000	6,383e-004	1,818e+000	3,656e-012
2,622e+000	1,565e-003	2,343e+000	2,047e-011
2,634e+000	1,383e-003	2,622e+000	1,223e-005

Since Sturm check is not performed, skipped eigenpair occurs between 8th and 9th modes, when BLSI is applied.

Table D2. Duration of mode extraction (in seconds)

Method	10 modes	50 modes	100 modes
BLSI	735	6029	23572
Lanczos	1472	12637	25271

Factorization of matrix: 841 s.

Advanced methods (BLSI, Lanczos) on the basis of powerful sparse direct solver allows one to produce - in the short time - not only matrix factorization, but also to extract a large number of eigenmodes. Computations were performed on P-350 (256 MB RAM) computer.

Example 2 illustrates application of different methods to the solution of PJG203 problem. The model contains rigid links which leads to the use of a consistent mass matrix. 25 pseudo modes were extracted.

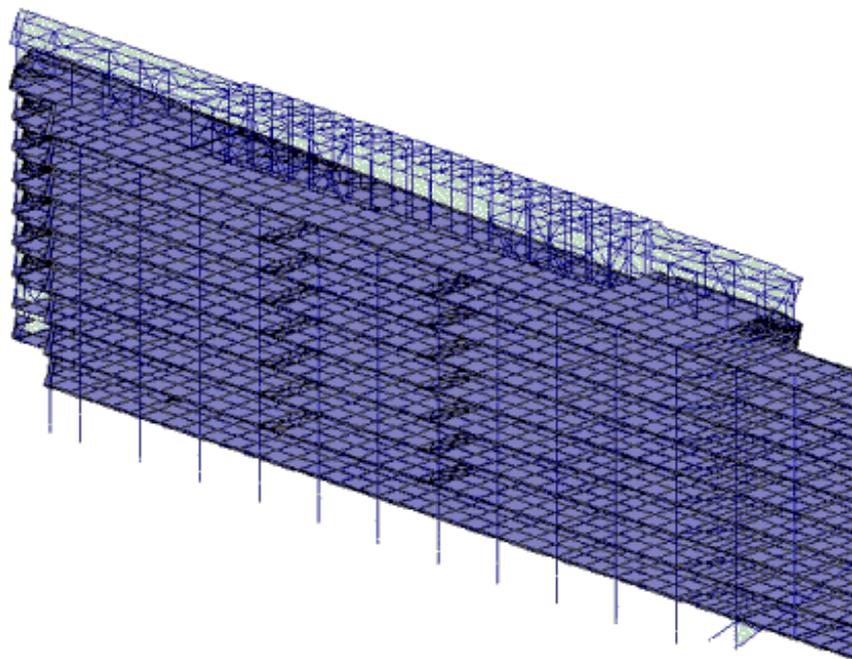


Fig. D2. PJG203 problem. Number of nodes: 5 945; number of element: 11 471; number of rigid links: 22; number of compatible nodes: 302; number of equations: 34 266

Table D3. Computation time, disk storage, the first ten frequencies and corresponding precision for different methods.

Method	Time (s)	HDD (MB)	Frequencies (Hz)	Precision
Skyline	61 633	597	1.175e+000 1.337e+000 1.454e+000 2.445e+000 2.445e+000 2.628e+000 2.829e+000 3.033e+000 3.209e+000 3.595e+000	8.043e-015 1.025e-013 1.031e-013 1.712e-006 5.566e-006 6.331e-008 3.538e-001 3.052e-005 9.086e-005 4.498e-003
Sparse	4 435	99	1.175e+000 1.337e+000 1.454e+000 2.445e+000 2.445e+000 2.628e+000 2.825e+000 3.033e+000 3.209e+000 3.595e+000	3.522e-012 2.689e-011 1.159e-010 1.735e-006 5.639e-006 6.419e-008 3.520e-001 3.034e-005 9.938e-005 4.386e-003
Modif. Lanczos	3 459	24	1.175e+000 1.337e+000 1.454e+000 2.445e+000 2.445e+000 2.628e+000 2.791e+000 3.033e+000 3.209e+000 3.595e+000	3.719e-004 3.891e-004 6.601e-004 1.454e-003 1.875e-003 2.946e-003 3.364e-003 3.923e-003 2.175e-002 1.580e-001
PCG_Ritz	1 521	24	1.266e+000 1.350e+000 1.467e+000 2.445e+000 2.446e+000 2.446e+000 2.805e+000 3.035e+000 3.381e+000 3.566e+000	N/A – PCG_Ritz is not an iterative method, it is a Ritz method. Therefore, pseudo modes are obtained instead of the “exact” eigenmodes

1. The following parameters have been used for modified Lanczos method: iterative solver AEBEIS (multilevel mode); ICCF preconditioning; 2 aggregation levels; 4 inner iterations, $\text{tol} = 1.0\text{e-}04$ – precision of generation of Lanczos vectors.
2. The following parameters have been adopted for PCG_Ritz method: iterative solver AEBEIS multilevel; ICCF preconditioning; 1 aggregation level; 4 inner iterations
3. The converged frequencies are marked in yellow. If the precision (see Appendix 3A) of a relative norm of a residual vector for a given mode is less than $5.0\text{e-}02$, such a norm can be considered as fully converged to the corresponding eigenvector. Therefore, the frequencies marked in yellow are considered to be the “exact” values for a given discrete model. Error estimation for PCG_Ritz method is presented in table D4. It can be concluded, that results obtained by PCG_Ritz method provide sufficiently good approximation for engineering purposes and such an approach can be used for fast estimation of seismic behavior.
4. The advanced methods allow one to reduce drastically the computation time and disk storage requirements without any serious loss of result correctness.

Table D4. Error estimation for PCG_Ritz method

“exact” frequency	PCG_Ritz results	Error (%)
1.175e+000	1.266e+000	7.7
1.337e+000	1.350e+000	1.0
1.454e+000	1.467e+000	0.9
2.445e+000	2.445e+000	0.0
2.445e+000	2.446e+000	0.0
2.628e+000	2.446e+000	7.0
2.791e+000	2.805e+000	0.5
3.033e+000	3.035e+000	0.1
3.209e+000	3.381e+000	5.4
3.595e+000	3.566e+000	0.8

Computations were performed on PC-450 (128 MB RAM) computer.

Example 3. A thin square plate with a consistent mass matrix clamped along one edge is considered. The 4-noded shell element and mesh 128x128 (number of equations N_{eq} is 99072) are used. The 40 pseudo modes are extracted.

The computation time and disk space storage for Lanczos method (skyline solver and sparse one), modified Lanczos method (iterative solver) and Ritz-gradient (PCG_Ritz) methods are presented in table D5.

Table D5. Computation time and disk storage requirements for several methods.

Method	Time (s)	HDD (MB)
Lanczos, solver skyline	141 559	7 367
Lanczos, solver sparse	15 615	157
Modified Lanczos, iterative solver	18 978	0 – in core
PSG_Ritz	9 651	192

Computations were performed on PC-450 (128 MB RAM) computer.

First ten frequencies, obtained by Lanczos method (for both skyline solver or sparse solver) and modified Lanczos method (iterative solver, ICCF preconditioning, 3 aggregation levels, 8 inner iterations, tolerance 1.0e-03 for generation of Lanczos vectors were adopted) are identical. As the precision of computations was very high, it was possible to consider such values to be “exact” within the given discrete model. They are adopted as etalon values for error estimation for frequencies obtained by PCG_Ritz method. The multilevel approach with ICCF preconditioning (one aggregation level, 4 inner iterations) was selected when PCG_Ritz method was being applied. The corresponding results are presented in table D6.

Table D6. Comparison of frequencies for PCG_Ritz and Lanczos methods

Frequencies by Lanczos (Hz)	Precision	Frequencies by PCG_Ritz (Hz)	Error (%)
3.722e+000	5.918e-014	3.725e+000	0.08
9.112e+000	4.474e-014	9.115e+000	0.03
2.282e+001	2.424e-012	2.284e+001	0.09
2.915e+001	5.866e-013	2.915e+001	0.00
3.315e+001	1.795e-013	3.318e+001	0.09
5.801e+001	2.373e-011	5.803e+001	0.03
6.565e+001	3.028e-011	6.571e+001	0.09
6.873e+001	6.907e-014	6.875e+001	0.03
7.602e+001	1.549e-012	7.609e+001	0.09
9.949e+001	3.302e-013	9.953e+001	0.04

Example 4. Large building is presented in Fig. D3

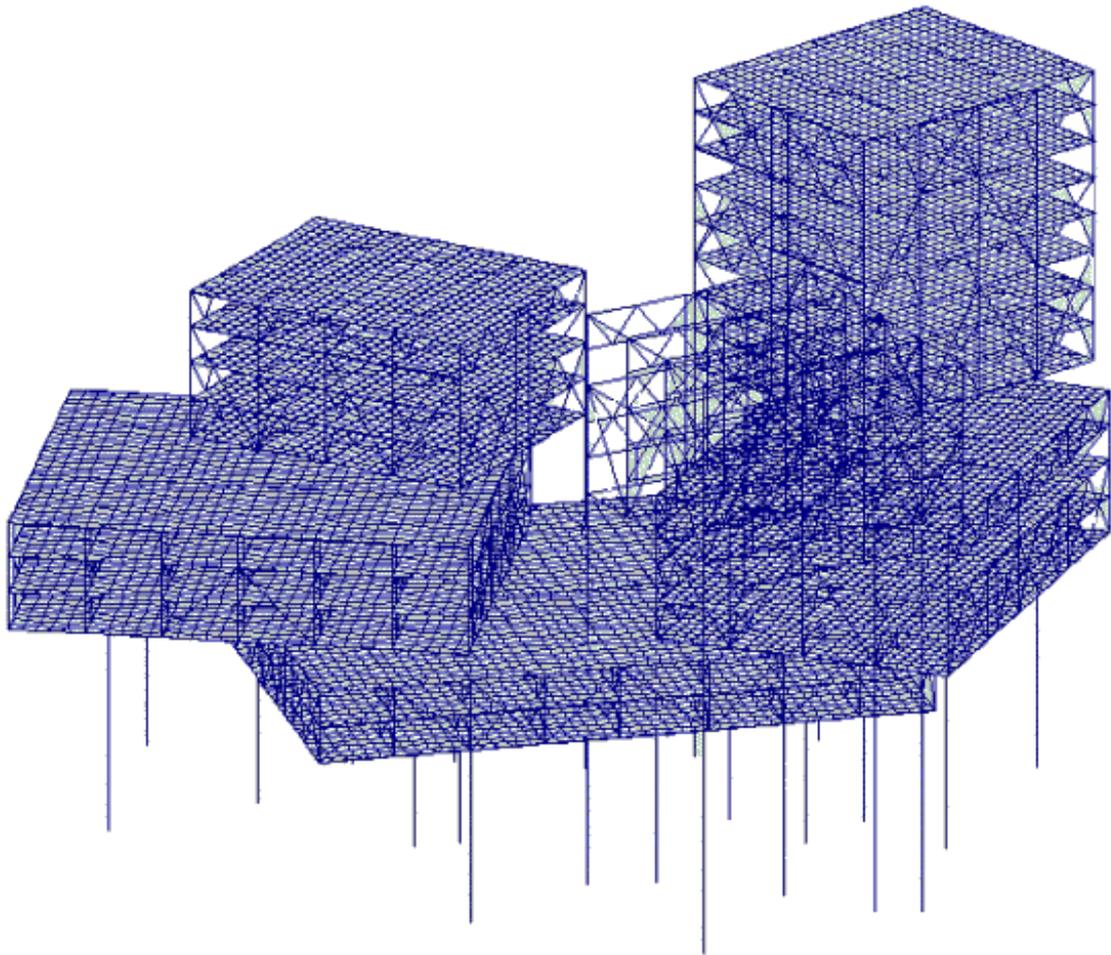


Fig. D3. Large building. Number of nodes: 26126, number of elements: 30272, number of equations: 155920.

Linear static analysis (a single load case) and extraction of 10 eigenmodes are considered. The tolerance adopted for iterative solver equals $1.0e-04$. For skyline solver Lanczos method is used. For sparse direct solver both Lanczos and BLSI methods are applied. Modified Lanczos method is used for iterative solver (multilevel method with 3 aggregation levels, 4 inner iterations, preconditioning ICCF). Mass matrix type: lumped with rotations is adopted.

Table D7. Computation time and disk space for several methods

Method	Disk space (MB)	Linear static (single rhs) (s)	Extraction of 10 eigenmodes (s)	Total time (s)
Skyline	5 702	136 065	65 052	203 878
AEBEIS	52	2 442	25 793	28 355

Sparse (Lanczos method)	773	10 253	24 500	35 762
Sparse NS (BLSI method)	773	10 253	11 534	22 604

Computations were performed on PC-450 (128 MB RAM) computer.

12.8.2. Conclusions

Advanced methods: BLSI, Lanczos on the base of sparse direct solver and high-performance iterative solver AEBEIS with ICCF preconditioning are the powerful tools for solution of large-scale linear static and eigenvalue problems. They reduce considerably the computation time and disk storage requirements compared to conventional skyline solver. Ritz-gradient method PCG_Ritz is a fast approach which allows one to estimate seismic behavior of the given structure. When a single aggregation level is accepted, the corresponding results, obtained by PCG_Ritz method, are close to the ones obtained by Lanczos or BLSI method.

12.8.3. References

1. E.L.Wilson. An eigensolution strategy for large systems. *Computers&Structures*, Vol.16, No. 1-4, pp.259-265, 1983.
2. E.L. Wilson. A new method of dynamic analysis for linear and nonlinear systems. *Finite Elements in Analysis and Design*, 1, 1985, 21-23, North-Holland.
3. E.L.Wilson, Three dimensional dynamic analysis of structures, *Computers and Structures, Inc.*, Berkeley, California, USA, 1996.
4. R.W.Clough, J.Penzien. *Dynamics of Structures*. McGraw-Hill Book Comp., 1975, 634 p.
5. Fialko S. Yu. Investigations of the Initial Imperfections Influence to Natural Vibrations of Ribbed Conical Shells, *Soviet Applied Mechanics*, 1982, 18, N11, pp.118 - 122. (In Russian)
6. Fialko S. Yu. Nonsteady vibrations of ribbed conical shells under the influence of local loads, *Soviet Applied Mechanics*, 1987, v23, N6, p. 547-552.
7. Fialko S.Yu. High-performance aggregation element-by-element iterative solver for large-scale complex shell structure problems. *Archives of Civil Engineering*, XLV, 2, 1999. P.193-207.
8. Fialko S.Yu. High-performance aggregation element-by-element Ritz-gradient method for structure dynamic response analysis. *CAMES (Computer assisted mechanics – engineering sciences)*, IV, 2000



9. Gambolati G., Pini G., Sartoretto F., An improved iterative optimization technique for the leftmost eigenpairs of large symmetric matrices, *J. Comp. Phys.*, **74**: 41 – 60, 1988.
10. Sartoretto F., Pini G., Gambolati G., Accelerated simultaneous iterations for large finite element eigenproblems, *J. Comp. Phys.*, **81**: 53 – 69, 1989.
11. M. Papadrakakis. A partial preconditioned conjugate gradient method for large eigenproblems, *Comp. Meth. Appl. Mech. Eng.*, **62**: 195 – 207, 1987.
12. M. Papadrakakis, Solving large –scale problems in mechanics, John Wiley & Sons Ltd., 1993.
13. S.Bitzarakis, M.Papadrakakis, A.Kotsopoulos. Parallel solution techniques in computational structural mechanics. *Comp. Methods Appl. Mech. Engrg.* 1997, 148, p.75-104.
14. Hughes T.J.R., Ferencz M. Implicit solution of large-scale contact and impact problems employing an EBE preconditioned iterative solver, *IMPACT 87 Int. Conference on Effects of Fast Transient Loading in the Context of Structural Mechanics*, Lausanne, Switzerland, August 26-27, 1987.
15. Hughes T.J.R., R.M.Ferencz, and j.O.Hallquist. Large-scale vectorized implicit calculations in solid mechanics on a CRAY X-MP/48 utilizing EBE preconditioned conjugate gradients, *Comput. Meths. Appl. Mech. Engrg.*, **61**
16. Hughes Th. J. R. “The Finite Element Method. Linear Static and Dynamic. FEM Analysis.”
17. Parlett B.N., 1980. “The Symmetric Eigenvalue Problem”. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632.
18. Bulgakov, V.E., Belyi, M.E., Mathisen, K.M. Multilevel aggregation method for solving large-scale generalized eigenvalue problems in structural dynamics, *Int. j. Numer. Methods Eng.*, **40**: 453 - 471, 1997.
19. Bulgakov, V.E. Iterative aggregation technique for large-scale finite element analysis of mechanical systems, *Comput. Struct*, **52**: N4, 829-840, 1994.
20. Bulgakov, V.E., G. Kuhn. High-performance multilevel iterative aggregation solver for large finite-element structural analysis problems, *Int. j. Numer. Methods Eng.*, **38**: 3529-3544, 1995.
21. Regulatory Guide
22. I.Ja.Amiro, V.A.Zarucky, V.N.Revutsky, Yu.V.Skosarenko, A.I.Telalov, S.Yu.Fialko. *Oscillations of Ribbed Shells of Revolution*, Kiev, Naukova Dumka, 1988, 169 p. (In Russian).

23. S.Yu.Filako. Natural Vibration Modes of Ribbed Conical Shells, Soviet Applied Mechanics, 1984, v20, N11, p. 1033-1037. (In English)

12.9.Types d'instabilité dans Robot

Types d'instabilité pouvant se manifester lors des calculs de la structure

Lors de l'analyse de la structure, les messages suivants relatifs à l'instabilité peuvent être générés :

- type 1 - un valeur nulle se trouve sur la diagonale de la matrice de rigidité
- type 2 - une élément à valeur nulle se trouve sur la diagonale de la matrice de rigidité invertie
- type 3 – la disproportion entre certaines valeurs de l'élément de la matrice de rigidité est trop grande.

Le premier, le deuxième et, parfois, le troisième type d'instabilité sont généralement provoqués par l'instabilité mécanique de la structure, par exemple, si une partie de la structure est un mécanisme ou bien si les paramètres d'appui de la structure (numéro, type et positions des appuis) sont insuffisants. Le troisième type d'instabilité peut aussi se manifester s'il y a de grandes différences de section dans certains éléments.

Tous les types d'instabilité peuvent apparaître pour la méthode skyline. Pour la méthode frontale, seuls le premier et le troisième type d'instabilité peuvent se manifester. Si le message est affiché lors de l'analyse frontale, il est conseillé de recalculer l'exemple après avoir sélectionné la méthode skyline. Dans le cas du solveur skyline, le nombre de nœuds et de degrés de liberté dans lesquels l'instabilité a été détectée est indiqué de façon précise.

Les solveurs itératifs ne rapportent pas de messages d'instabilité et l'instabilité du modèle peut entraîner une lente convergence de l'analyse. Dans un tel cas, il est conseillé qu'une vérification détaillée du modèle de la structure précède les calculs.

La méthode de résolution peut être changée dans la boîte de dialogue *Préférences de l'affaire* (option *Analyse de la structure*).

12.10. Exemples de génération du maillage par éléments finis surfaciques (plaques et coques)

12.10.1. Méthode de Coons

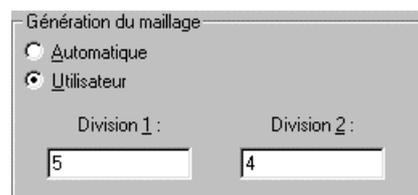
La méthode en question consiste à créer les surfaces de Coons sur un contour dont les côtés opposés sont divisés en un nombre de segments donné. Les côtés opposés sont reliés par des lignes droites dont les intersections définissent les éléments finis. La méthode de Coons est utilisée dans Robot 97 pour les surfaces tridimensionnelles 3D et pour les contours plans triangulaires ou quadrangulaires. Pour les panneaux avec trous, l'utilisation de la méthode de Delaunay est conseillée (la description détaillée de cette méthode est donnée plus loin).

2.1 Option de définition des divisions du contour – Division 1 et Division2.

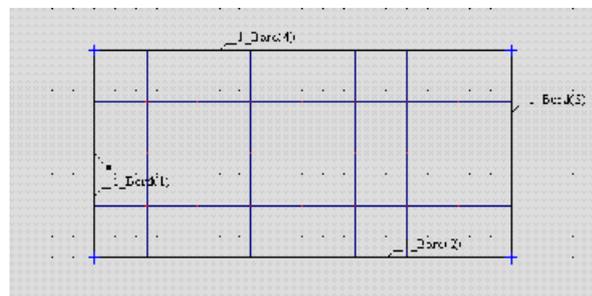
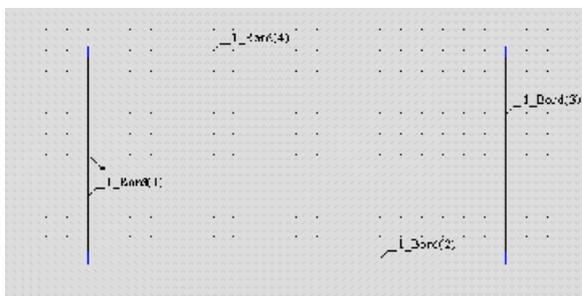
Les paramètres déterminant le mode de division du contour se trouvent dans la boîte de dialogue *Options de maillage* discutée plus haut, dans le champ *Génération du maillage*, à savoir :

Division 1 – définit le nombre de segments sur le premier côté

Division 2 – définit le nombre de segments sur le deuxième côté.

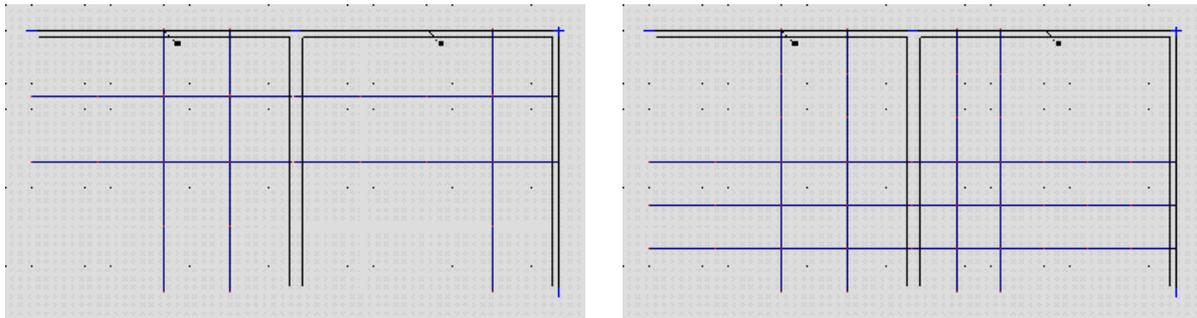


Les côtés du contour sont déterminés par la séquence de la saisie, le premier côté prend le numéro 1, les côtés suivants prennent les numéros successifs avec le pas égal à 1. Par exemple, l'utilisateur saisit un contour rectangulaire comme sur la figure ci-dessous et définit **Division1 = 8** et **Division2 = 4**, le bord n° 2 sera divisé en 8 segments et le bord n° 1 sera divisé en 4 segments, ce qui déterminera les divisions sur les côtés opposés – respectivement, le nombre des segments des bords 4 et 2 sera égal (c'est-à-dire 8 segments), il en sera de même pour les bords 3 et 1.



Contour et maillage générés pour les paramètres : *Division1 = 8* et *Division2 = 4*

Si d'après les conditions de compatibilité il s'ensuit que la division initiale utilisateur est trop faible, le logiciel augmentera automatiquement le nombre de segments sur le côté donné. Par exemple, pour deux panneaux à un côté commun, l'utilisateur définit les paramètres **Division1 = 4** et **Division2 = 4**. Ensuite pour le panneau droit, il agrandit le nombre de divisions en **Division1 = 6** et **Division2 = 6**, le panneau gauche reste inchangé. Par conséquent, le logiciel agrandit le nombre de divisions sur le côté commun pour le panneau gauche afin de conserver sa compatibilité.



Les paramètres déterminant le type de maillage généré.

A côté de la définition des valeurs des divisions des côtés des contours, le logiciel permet à l'utilisateur de contrôler le type du maillage généré. Les options relatives à la sélection du type de surface sont disponibles dans la zone *Paramètres de la méthode de Coons*. Lors de la définition des options dans ce champ, il ne faut pas oublier de sélectionner le type d'éléments finis convenable. Dans le cas contraire, si l'utilisateur définit le *Type de division : Carrés* (Contour rectangulaire) et sélectionne Triangle dans la zone *Eléments finis*, il obtiendra un maillage triangulaire au lieu du maillage quadrangulaire attendu.

Exemples :

Les paramètres communs pour tous les cas :

Méthodes de maillage admissibles

Coons : Fréquente

Utilisation : Recommandée

Exemple 1

Zone Génération du maillage

Division1 = 4, **Division2 = 5**

Zone Paramètres de la méthode de Coons

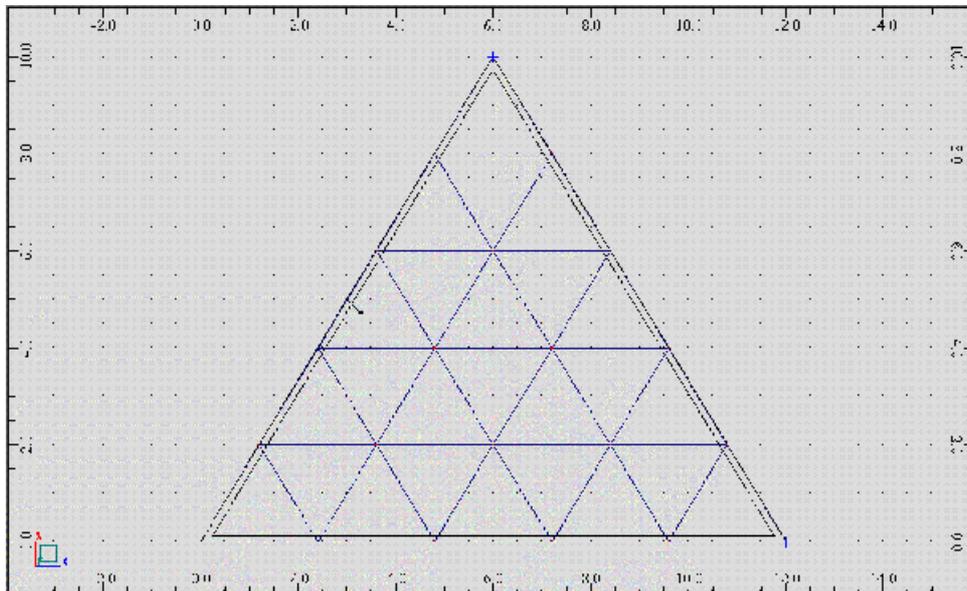
Type de division : Triangles (contour triangulaire)

Utilisation : *Recommandée*

Zone *Eléments finis*

Type : *Triangle (3 nœuds)*

Utilisation : *Recommandée*



Pour le *Type de division : Triangles (contour triangulaire)* et *triangles et carrés (contour triangulaire)*, le logiciel génère des maillages réguliers (le nombre de segments est le même pour chaque côté du panneau triangulaire). C'est pourquoi, si l'utilisateur saisit deux valeurs de division *Division1* et *Division2* différentes, le logiciel prendra la valeur plus grande (dans le cas discuté, *Division2 = 5*).

ATTENTION : *Si pour ce type de maillage, l'utilisateur sélectionne les éléments finis quadrangulaires dans la zone Eléments finis, leur utilisation imposée doit être au plus égale à l'utilisation imposée du type de maillage. Dans le cas contraire, le logiciel générera un maillage composé d'éléments quadrangulaires et triangulaires c'est-à-dire un maillage qu'on obtient près la sélection du Type de division : Triangles et carrés (contour triangulaire).*

Exemple 2

Zone Génération du maillage

Division1 = 5, **Division2 = 6**

Zone Paramètres de la méthode de Coons

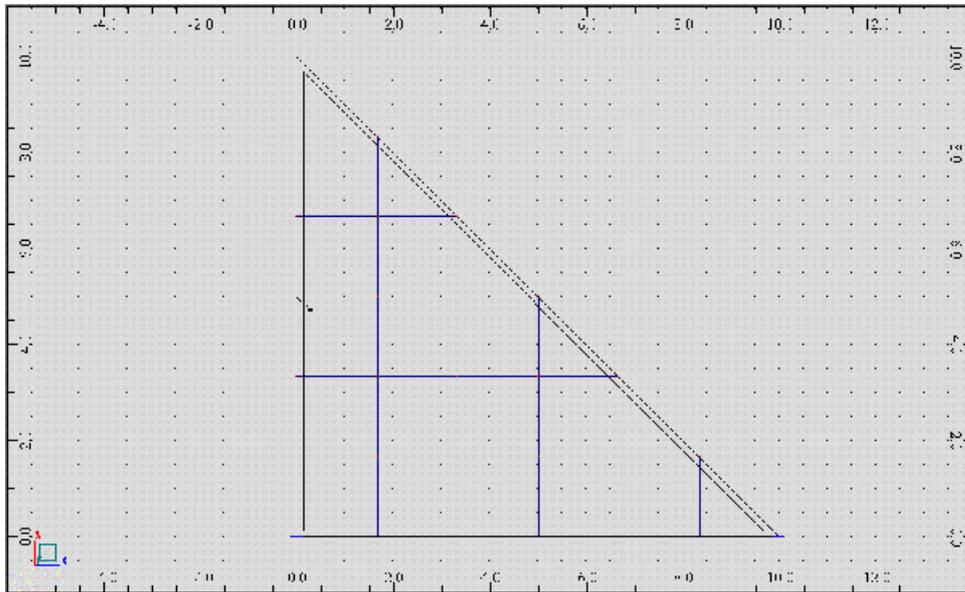
Type de division : Triangles et carrés (contour triangulaire)

Utilisation : **Recommandée**

Zone Eléments finis

Type : **Triangle (3 nœuds)**

Utilisation : **Proposée**



Dans ce cas l'utilisation imposée des éléments finis (*Proposée*) est plus faible que l'utilisation imposée du type de maillage (*Recommandée*). Cela est dû au fait que les éléments triangulaires et quadrangulaires doivent être utilisés dans ce cas, par conséquent la génération d'un type d'éléments (triangulaires) entraînerait la génération du maillage contenant seulement ce type d'éléments.

Exemple 3

Zone Génération du maillage

Division1 = 5, Division2 = 4

Zone Paramètres de la méthode de Coons

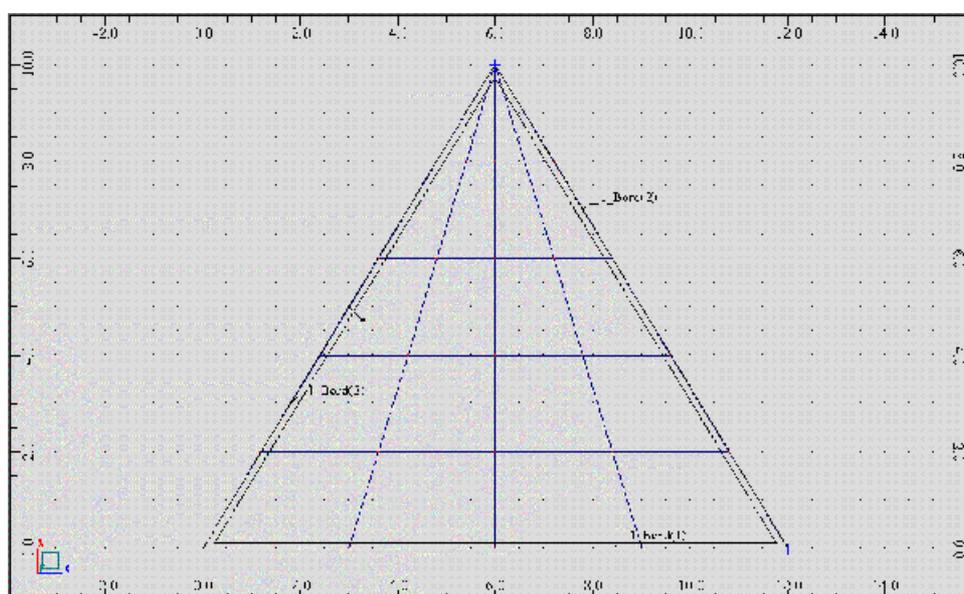
Type de division : **Triangles et trapèzes (contour triangulaire)**

Utilisation : **Recommandée**

Zone Eléments finis

Type : **Quadrangle (4 nœuds)**

Utilisation : **Proposée**



Dans ce cas, on a à faire à une situation semblable à celle décrite dans l'exemple précédent. Si on utilisait des éléments triangulaires avec un degré d'utilisation imposé supérieur au degré d'utilisation imposé du type de maillage, on obtiendrait un maillage composé de triangles seuls. Comme on veut obtenir un maillage composé d'éléments de type différent, on peut sélectionner les quadrangles en tant que type d'éléments finis. Dans ce cas, la sélection d'un degré d'utilisation imposé plus fort que le type de maillage n'entraînera pas la génération des éléments finis quadrangulaires seuls. Néanmoins, il peut arriver que le maillage ne sera pas du tout généré, par conséquent il est mieux de définir un degré d'utilisation imposé plus faible.

Comme cela est représenté sur la figure ci-dessus, à la différence des types de maillage précédents (triangles, triangles et carrés), la division peut être différente pour un des côtés. La division des côtés s'effectue de sorte que le côté numéro 2 est divisé en *Division1* segments, par contre, l'affectation de la *Division2* aux côtés 3 ou 1 (ou à ces deux côtés simultanément) découle de l'orientation du maillage. L'orientation est déterminée de la façon suivante : le sommet dont l'angle est le plus grand est l'origine des rayons du maillage.

Une bonne illustration en est l'exemple suivant - 3 panneaux triangulaires à paramètres de maillage identiques mais dont la numérotation des côtés est différente.

Exemple 4

Zone Génération du maillage

Division1 = 5, Division2 = 3

Zone Paramètres de la méthode de Coons

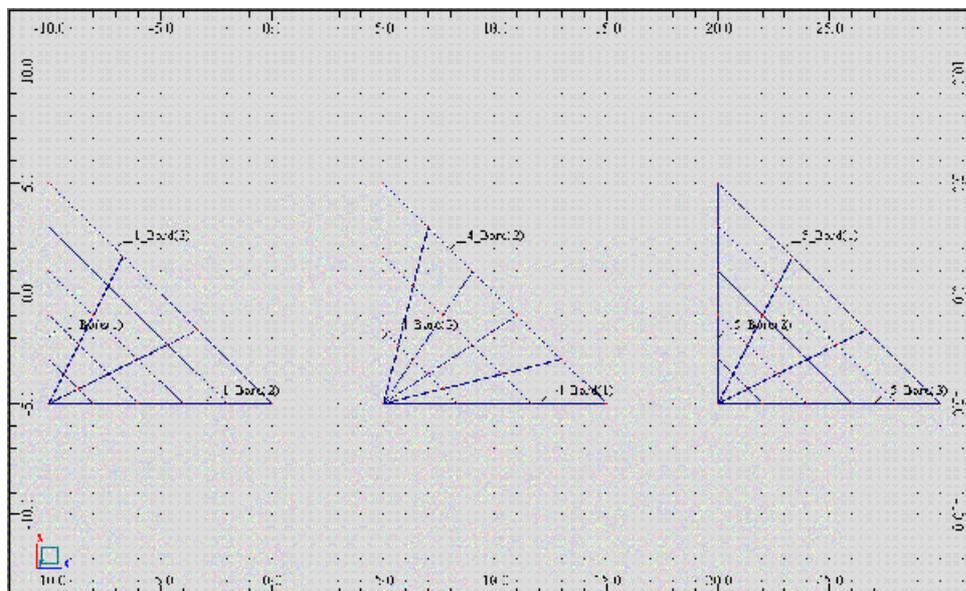
Type de division : **triangles et trapèzes (contour triangulaire)**

Utilisation : **Recommandée**

Zone Eléments finis

Type : **Quadrangle (4 nœuds)**

Utilisation : **Proposée**



Exemple 5

Zone Génération du maillage

Division1 = 3, Division2 = 6

Zone Paramètres de la méthode de Coons

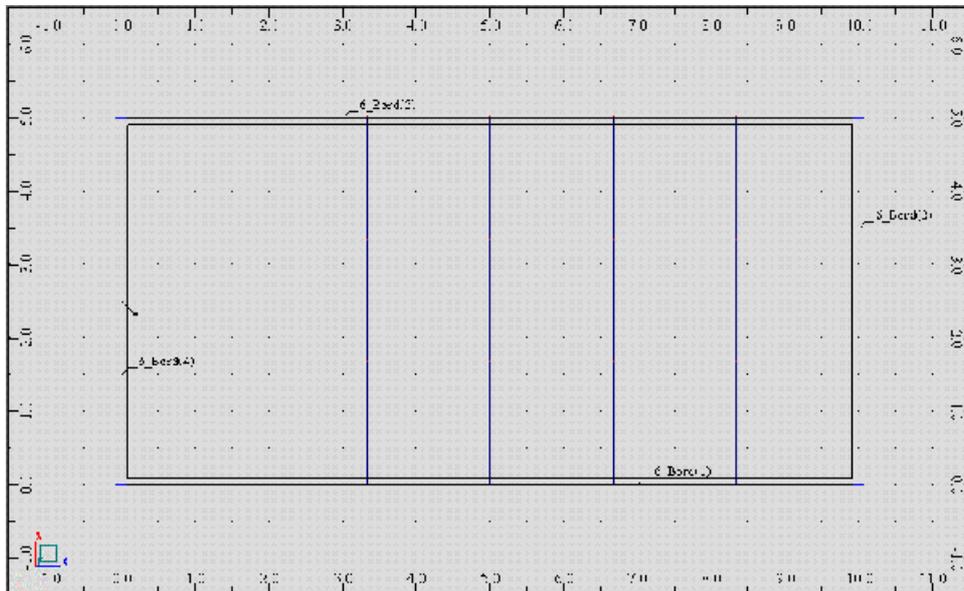
Type de division : **Carrés (contour rectangulaire)**

Utilisation : **Libre**

Zone Eléments finis

Type : **Quadrangle (4 nœuds)**

Utilisation : **Libre**



Dans ce cas des valeurs relativement basses (Libre) du degré d'utilisation imposé sont suffisantes, car la zone à mailler est régulière. Comme cela a déjà été dit plus haut, il faut faire attention au type d'éléments finis. Si on sélectionnait ici les éléments triangulaires sans aucune contrainte du degré d'utilisation (Non imposée), même la valeur *Utilisation : Imposée* pour ce type de maillage n'assurerait pas la génération des quadrangles. Il en est de même *Type de division : triangles (contour rectangulaire)*.

Exemple 6

Zone Génération du maillage

Division1 = 3, Division2 = 6

Zone Paramètres de la méthode de Coons

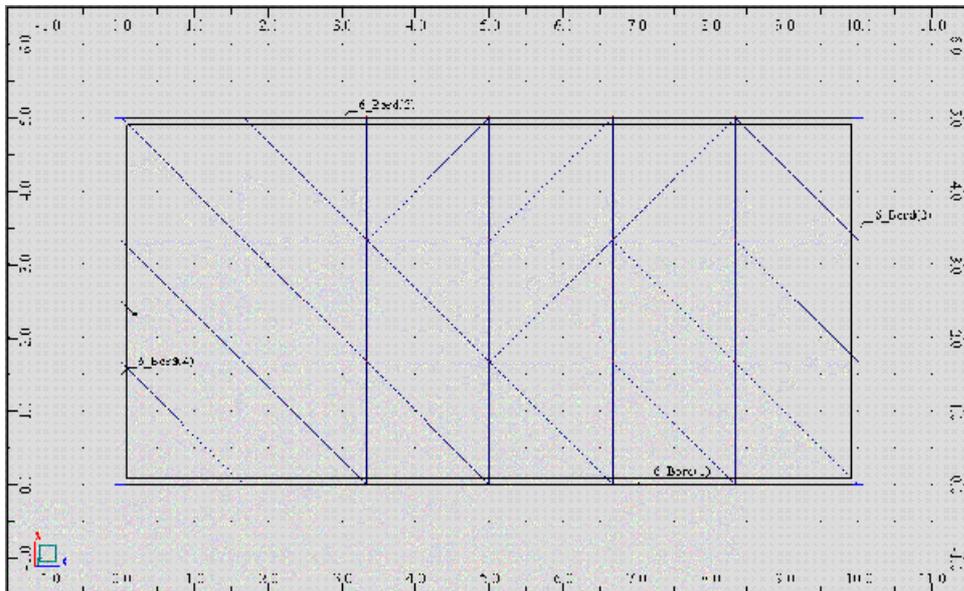
Type de division : **Triangles (contour rectangulaire)**

Utilisation : **Libre**

Zone Eléments finis

Type : **Triangle (3 nœuds)**

Utilisation : **Libre**



Exemple 7

Zone Génération du maillage

Division1 = 2, Division2 = 5

Zone Paramètres de la méthode de Coons

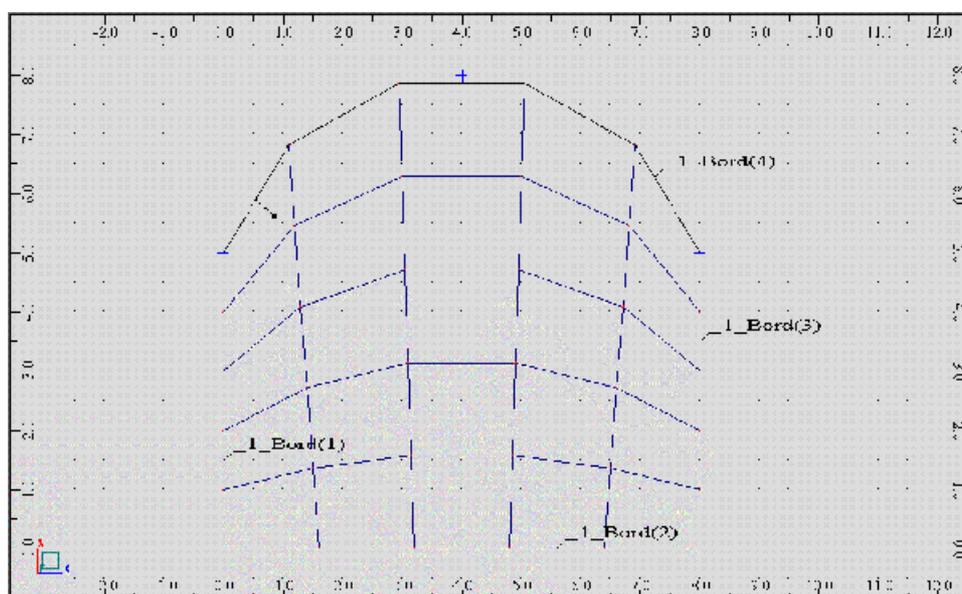
Type de division : **Carrés (contour rectangulaire)**

Utilisation : **Recommandée**

Zone Eléments finis

Type : **Quadrangle (4 nœuds)**

Utilisation : **Libre**

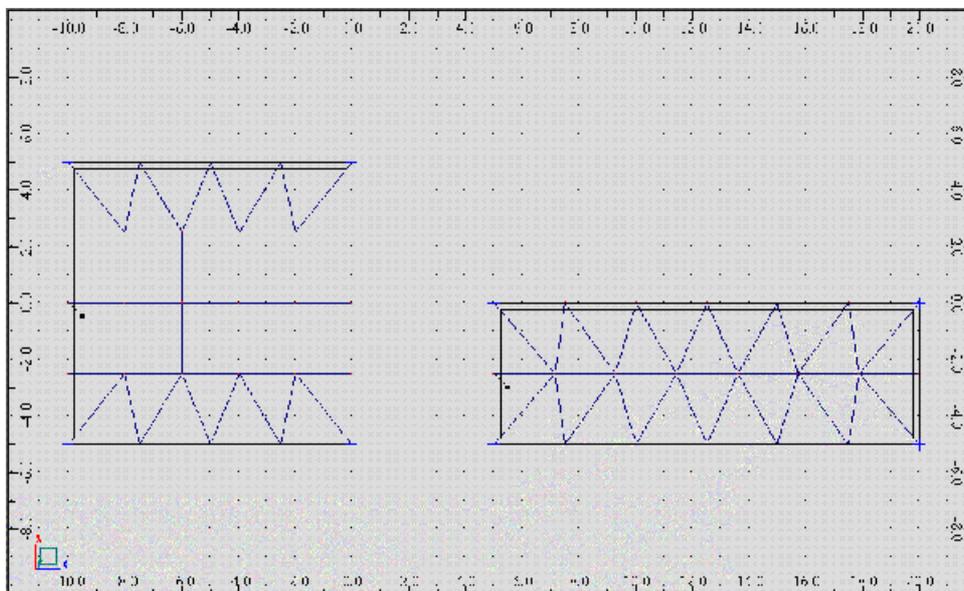


Pour les dalles dont un des côtés est un objet avec une division effectuée préalablement (par exemple, un arc) il ne faut pas oublier que le logiciel ne générera pas de maillage plus fin que celui déterminé par la définition de l'objet. Par exemple, le dessin ci-dessus représente un contour dont un des côtés est un arc division égale à 5 (*Arc – Paramètres* – dans le champ *Discretisation*, il faut saisir *Angle* : 5). Bien que dans les options de maillage la valeur *Division1* = 2 ait été définie, le logiciel générera 5 segments. Si un nombre de divisions plus grand a été saisi, cela entraînera l'agrandissement du nombre de segments en 2 et puis en 4. Cela est dû au fait que l'arc est créé à partir d'un nombre donné de nœuds reliés par des segments et l'algorithme de maillage ajuste le nombre de divisions au nombre de nœuds lors de la génération du maillage. La création d'une division inférieure à celle déterminée par la définition de l'arc, entraînerait la suppression des nœuds existants mais cette opération est interdite.

12.10.2. Méthode de Delaunay et de Kang

Méthode de Delaunay

La méthode de triangulation consiste à diviser une surface 2D quelconque en un maillage composé de triangles. Le maillage de Delaunay gère très bien les trous dans les contours, pourtant il faut les définir préalablement en tant que bords du contour. Pour générer le maillage suivant cette méthode, seulement un paramètre est utilisé, à savoir – *Division1*. La division du contour est effectuée de la façon suivante : on considère un carré à périmètre égal à celui de la zone étudiée. Ensuite chaque côté du carré est divisé en *Division1* segments, de cette façon la longueur de base est calculée pour effectuer une division égale des bords du contour étudié. Cette division est bien illustrée sur la figure ci-dessous, pour les deux panneaux le paramètre *Division1* = 4. A la suite de la division du carré ayant le même périmètre que la dalle rectangulaire, la longueur du segment égale à 2.5 a été calculée, par conséquent le rectangle est divisé en 16 segments égaux ($16 \times 2.5 = 40 = \text{périmètre de la dalle}$).



Dans la méthode de Delaunay, l'utilisateur peut influencer sur le type du maillage généré, pour cela les options de la zone *Eléments finis* sont utilisées. L'utilisateur peut sélectionner le type d'éléments finis et définir le *coefficient pour la conversion des triangles en rectangles* (*Attention* : Dans la zone *Eléments finis*, l'option *Utilisation* n'est pas prise en compte pour la méthode de Delaunay).

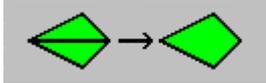
Le coefficient pour la conversion a une signification importante, car à la suite de la conversion en éléments carrés, on obtient un nombre d'éléments moins élevé. De plus, habituellement, l'utilisation des éléments carrés donne des résultats plus exacts.

Le coefficient est une grandeur pondérée prenant les valeurs incluses dans l'intervalle -1 a $+1$.

-1 signifie que le logiciel convertira seulement les triangles qui forment ensemble des figures très semblables à des carrés.



+1 signifie que le logiciel créera des éléments quadrangulaires dans toutes les positions possibles (ATTENTION : cela peut provoquer la génération d'éléments mal conditionnés)



Attention : Pour que la conversion des éléments triangulaires soit possible, les éléments quadrangulaires doivent être sélectionnés dans le champ *Eléments finis*.

Exemples : Les paramètres communs pour tous les cas :

Méthodes de maillage admissibles

Delaunay : Fréquente

Utilisation : Recommandée

Exemple 8

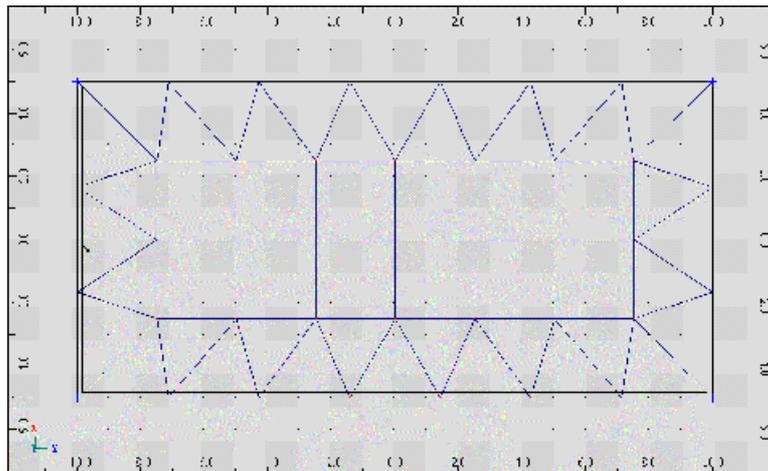
Zone Génération du maillage

Division1 = 5

Zone Eléments finis

Type : **Quadrangle (4 nœuds)**

Coefficient : **-1**



Exemple 9

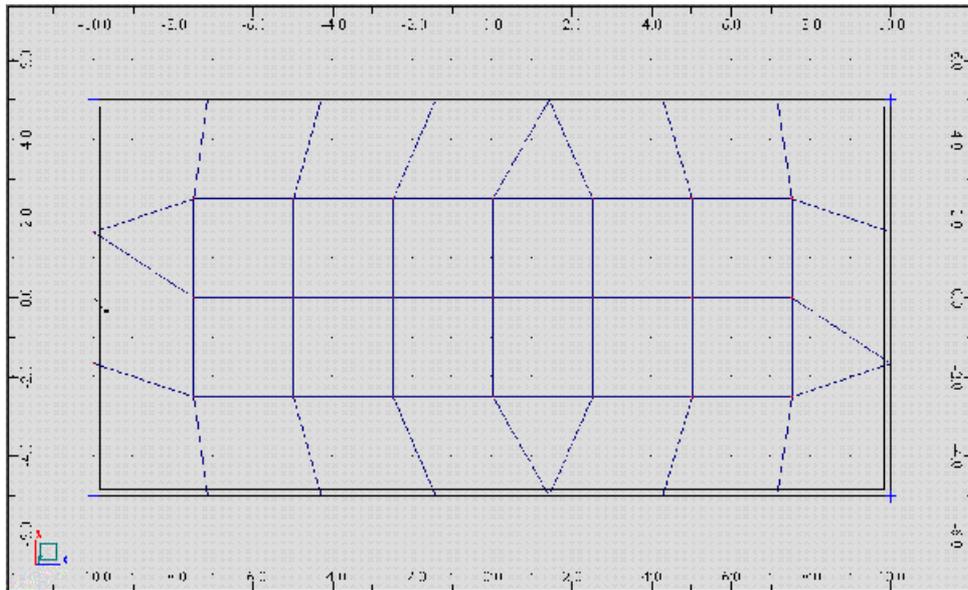
Zone Génération du maillage

Division1 = 5

Zone *Eléments finis*

Type : **Quadrangle (4 nœuds)**

Coefficient : **+1**



Les exemples 8 et 9 présentent très bien l'influence du coefficient pour la conversion, pour la valeur -1 seuls les triangles au milieu de la dalle ont été convertis car ils formaient des carrés. Par contre, pour $+1$, le logiciel a converti les triangles dans toutes les positions possibles. Il faut ajouter que la conversion est effectuée après la génération du maillage c'est-à-dire qu'il s'agit d'un simple post-processing.

Si on veut générer un maillage composé seulement de triangles, il faut sélectionner les éléments triangulaires dans le champ *Eléments finis*, dans ce cas le coefficient pour la conversion ne sera pas pris en compte.

Exemple 10

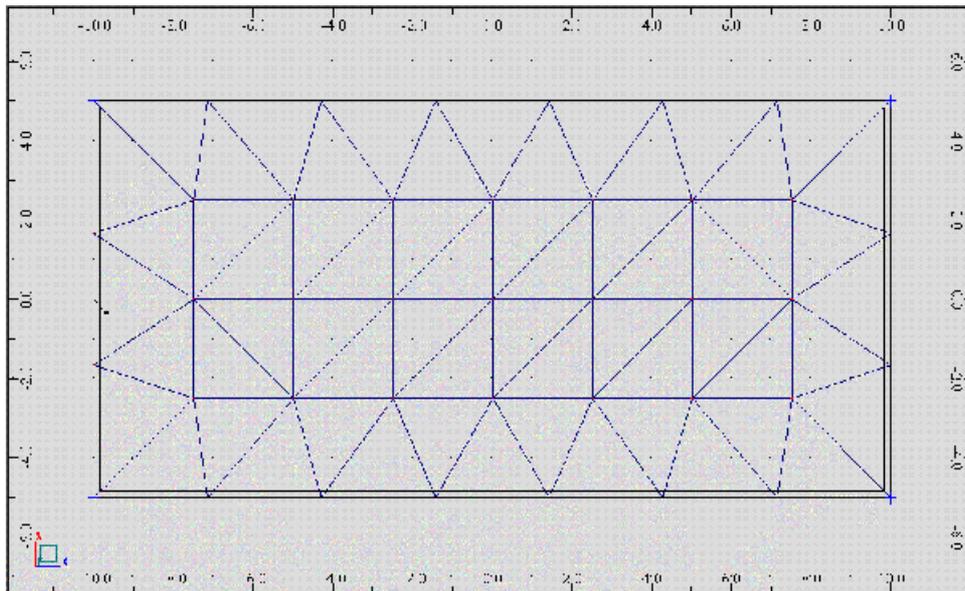
Zone Génération du maillage

Division1 = 5

Zone Eléments finis

Type : **Triangle (3 nœuds)**

Coefficient : aucune influence car les éléments triangulaires sont sélectionnés

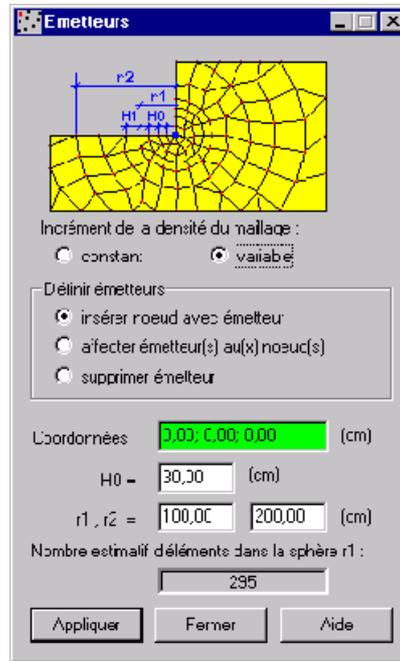


Delaunay + Kang

La méthode de Kang consiste à raffiner le maillage dans la proximité des émetteurs. Les émetteurs sont des nœuds spéciaux définis dans la structure pour agrandir l'exactitude des calculs.

Deux types d'émetteurs sont disponibles :

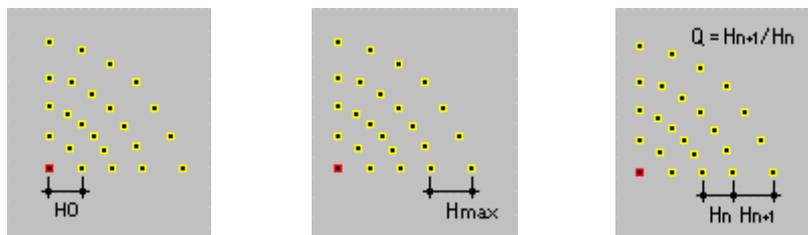
- *émetteurs utilisateur* – ces émetteurs définis par l'utilisateur sont disponibles après l'activation de l'option *Emetteurs : Utilisateur* dans la zone *Paramètres de la méthode de Delaunay* dans la boîte de dialogue *Options de maillage*. Les points dans lesquels les émetteurs sont définis sont déterminés dans la boîte de dialogue *Analyse > Modèle de calcul > Emetteurs* :



- *émetteurs par défaut* – ces émetteurs sont créés automatiquement par le logiciel dans les sommets des contours et des trous. Ces émetteurs sont disponibles après l'activation de l'option *Emetteurs : Par défaut*.

Le raffinement du maillage suivant la méthode de Kang consiste à générer une onde qui se propage de l'émetteur vers le milieu de la zone à mailler. Les paramètres suivants sont disponibles :

- ***H0*** – longueur de la première onde (onde la plus proche de l'émetteur)
- ***Hmax*** – longueur de la dernière onde
- ***Q*** – coefficient définissant la relation entre les ondes successives. Cela veut dire que les longueurs des ondes successives forment la progression ***H0, H0*Q, H0*Q², ..., Hmax***. Pour des raisons évidentes, le coefficient *Q* doit satisfaire la condition $Q > 1$.



Exemple 11

Zone Génération du maillage

Division1 = 5

Zone Eléments finis

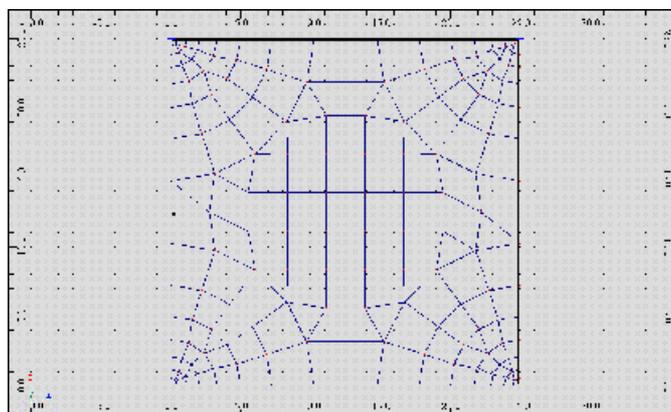
Type : **Quadrangle (4 nœuds)**

Coefficient : **+1**

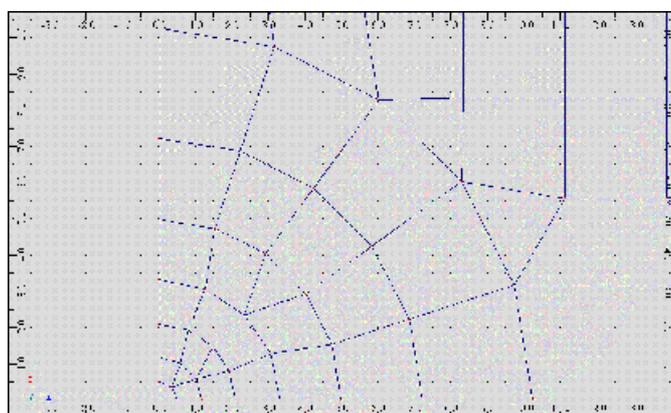
Paramètres de la méthode de Delaunay

Emetteurs : **Par défaut**

Delaunay + Kang : **H0 = 0.5, Hmax = 3, Q = 1.35**



Comme les émetteurs par défaut ont été sélectionnés, le logiciel a généré les ondes dans les sommets du contour. En dehors de la zone du maillage raffiné, la génération du maillage a été effectué suivant la méthode de Delaunay. De plus, la valeur du coefficient pour la conversion +1 a été définie, ce qui a assuré la conversion maximale des éléments triangulaires en éléments quadrangulaires. La définition des paramètres $H0=0.5$, $Hmax=3$, $Q=1.35$ a entraîné la génération de six ondes de longueurs : 0.5, 0.68, 0.91, 1.23, 1.66, 2.24, 3.03. Pour bien l'illustrer, le zoom du sommet gauche en bas de la dalle est présenté sur la figure suivante.



Paramètres : $H0=0.5$, $Hmax=3$, $Q=1.35$. Longueurs des ondes 0.5, 0.68, 0.91, 1.23, 1.66, 2.24, 3.03

Pour générer le maillage avec des émetteurs utilisateur il faut activer l'option *Emetteurs : Utilisateur* dans la boîte de dialogue *Options de maillage*, zone *Paramètres de la méthode de Delaunay*. Pour définir un émetteur utilisateur, il faut sélectionner dans le menu texte la commande *Analyse > Modèle de calcul > Emetteurs*. Pour définir l'émetteur, il faut donner le nœud/point de la dalle et saisir la longueur de la première onde $H0$. Les autres paramètres, à savoir Q et $Hmax$ sont définis dans la boîte de dialogue *Options de maillage*. L'exemple ci-dessous contient un émetteur utilisateur placé dans le coin gauche en bas de la dalle. Les émetteurs par défaut sont désactivés.

Exemple 12

Zone Génération du maillage

Division1 = 5

Zone Eléments finis

Type : **Quadrangle (4 nœuds)**

Coefficient : **-0.6**

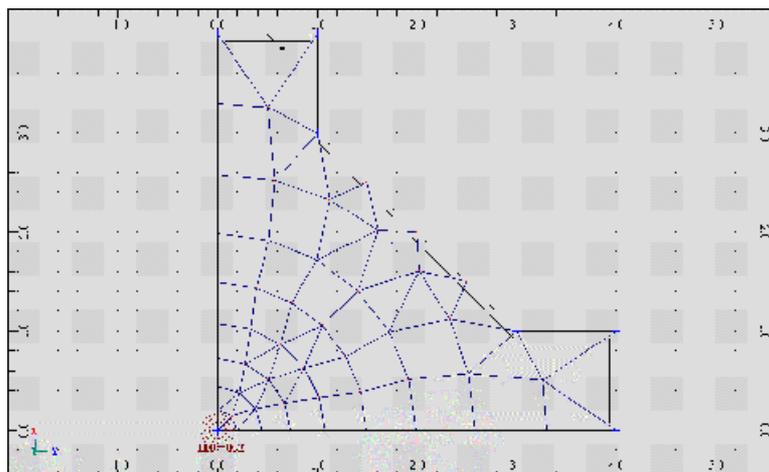
Paramètres de la méthode de Delaunay

Emetteurs : **Utilisateur**

Delaunay + Kang : **$H0 = 0.2$** (défini dans la boîte de dialogue Emetteur), **$Hmax = 1000$** ,

$Q = 1.2$

Les émetteurs par défaut sont désactivés, c'est pour cette raison que le paramètre $H0$ disponible dans la boîte de dialogue *Options de maillage* n'exerce aucune influence sur l'émetteur utilisateur défini. La définition de la valeur $Hmax = 1000$ signifie que l'onde de Kang générée se propagera à l'intérieur de la dalle.



Exemple 13

Zone Méthodes de maillage admissibles

Coons : Fréquente (activé)

Delaunay : Fréquente

Utilisation : Proposée

Zone Génération du maillage

Division1 = 6, Division2 = 6

Paramètres de la méthode de Coons

Type de division : **Carrés (contour rectangulaire)**

Zone Eléments finis

Type : **Quadrangle (4 nœuds)**

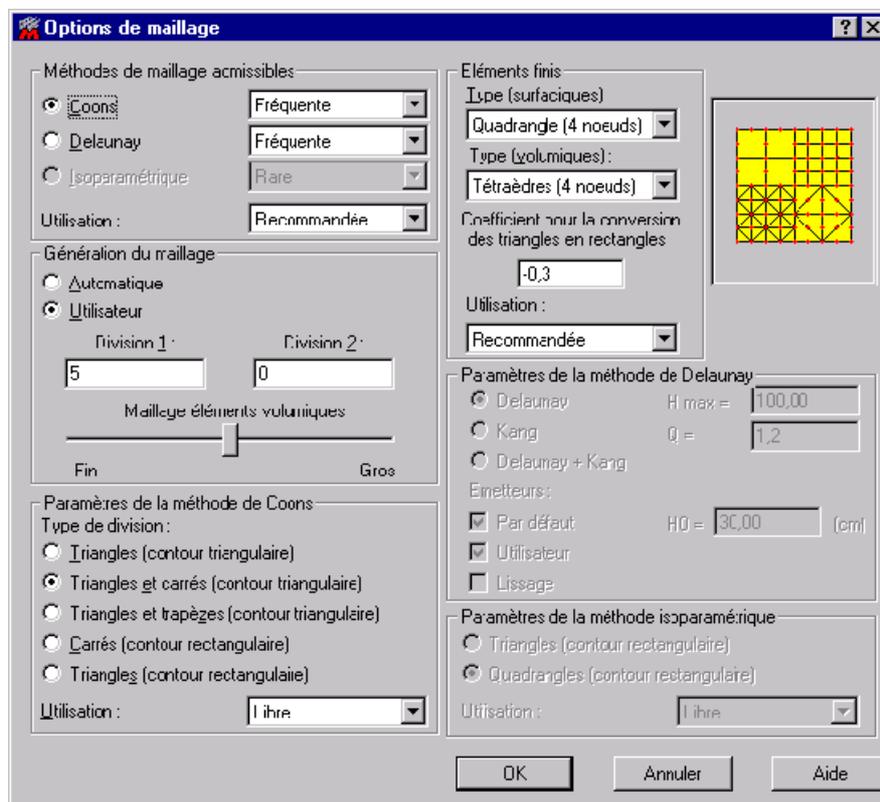
Coefficient : **-0.8**

Utilisation : Recommandée

Paramètres de la méthode de Delaunay

Emetteurs : **Par défaut**

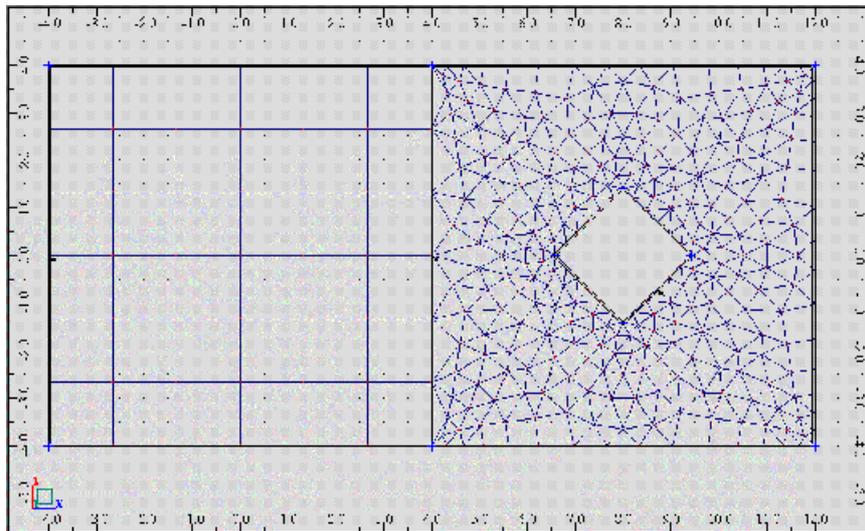
Delaunay + Kang : $H0 = 0.3$, $Hmax = 1000$, $Q = 1.2$



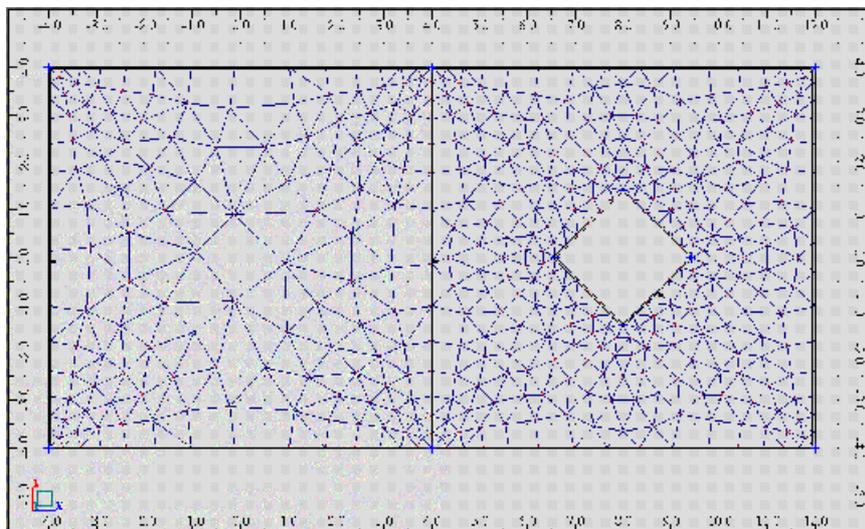
L'exemple ci-dessous présente l'utilisation des paramètres globaux pour la génération du maillage : la boîte de dialogue en question s'ouvre après la sélection de la commande *Outils > Préférences de l'affaire > Maillage EF > Modifier* disponible dans le menu. A partir de ces paramètres, deux dalles carrées ont été maillées, c'est-à-dire que pour le panneau gauche, le

maillage de Coons a été généré, par contre, pour le panneau de droite, le maillage de Delaunay a été généré.

Les options de maillage ont été définies de sorte que l'utilisation d'aucune des méthodes disponibles ne soit forcée, c'est à dire que dans la zone *Méthodes de maillage admissibles* l'utilisation *Proposée* est sélectionnée. C'est pour cette raison que le logiciel reconnaît les zones régulières (panneau de gauche) auxquelles il applique la méthode de Coons, par contre, pour les zones avec des irrégularités (panneau de droite avec trou), la méthode de Delaunay est utilisée.



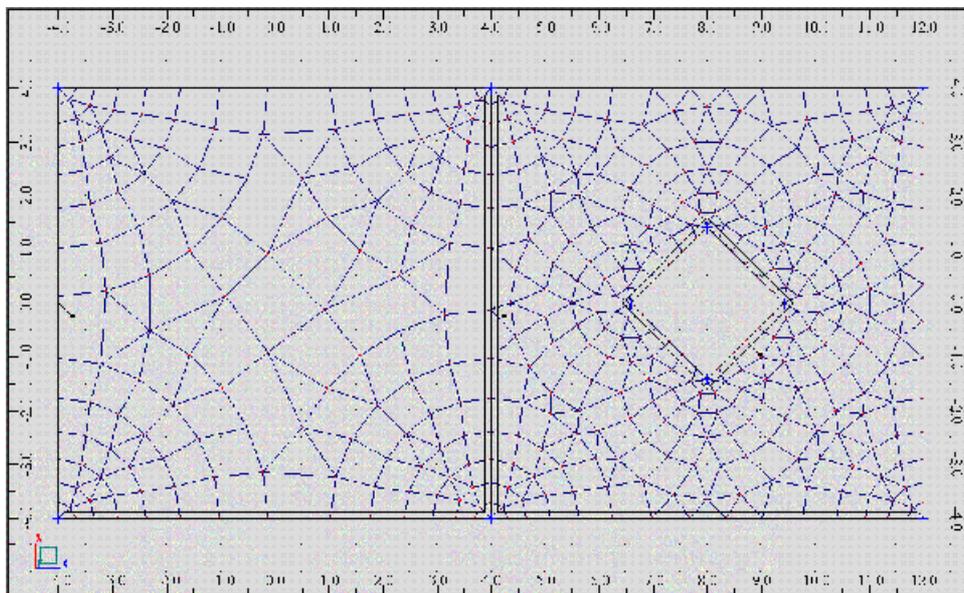
Si l'utilisateur ne veut pas utiliser la méthode de Coons, dans la zone *Méthodes de maillage admissibles* il suffit de sélectionner *Jamais* dans le combobox Coons et garder les valeurs précédentes de tous les autres paramètres. Pour les paramètres en question, le maillage de Delaunay sera effectué pour les deux panneaux.



Le même effet sera obtenu si l'utilisation de la méthode de Delaunay est imposée :



Pour vérifier quelle est l'influence du coefficient pour la conversion des éléments triangulaires en éléments quadrangulaires, changeons sa valeur de **-0.8** en **-0.5**, les autres paramètres restent inchangés (y compris l'utilisation imposée de la méthode de Delaunay pour les deux panneaux).



A la suite de la définition de la nouvelle valeur, on obtient un beau maillage régulier avec des éléments quadrangulaires bien conditionnés. Dans ce cas, le coefficient égal à **-0.5** est optimal.

12.10.3. Exemples de l'utilisation de la consolidation et du raffinement du maillage

Les boîtes de dialogue *Consolidation du maillage* et *Raffinement du maillage* discutés dans le chapitre 1.2 servent à modifier le maillage après la génération du modèle. Respectivement, elles permettent de convertir les éléments triangulaires en quadrangulaires et de raffiner le maillage pour le panneau ou pour une partie sélectionnée du maillage.

Exemple 14

Zone Méthodes de maillage admissibles

Delaunay : Fréquente (activé)

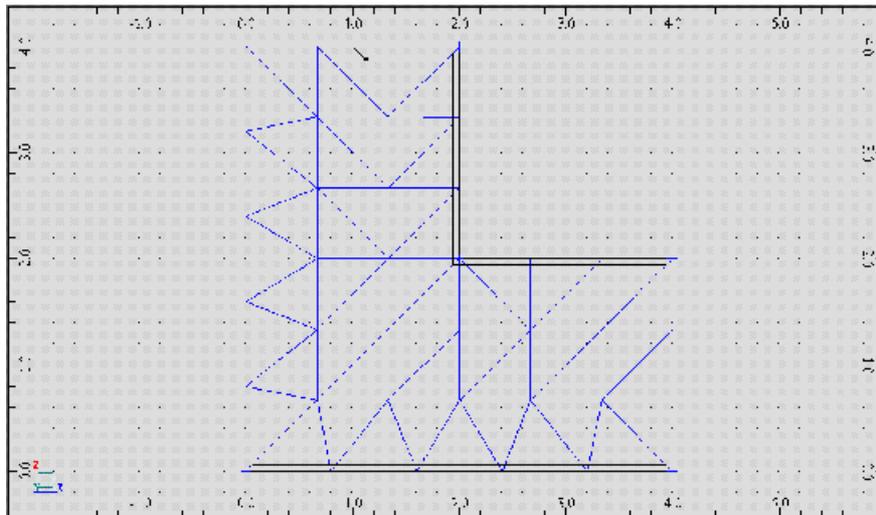
Zone Génération du maillage

Division1 = 5

Zone Eléments finis

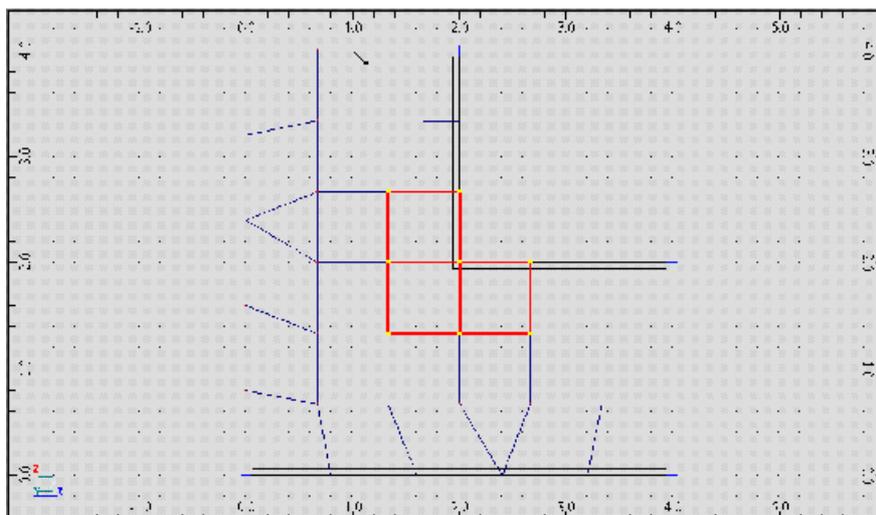
Type : **Triangle (3 nœuds)**

Pour les paramètres ci-dessus, le maillage Delaunay composé uniquement d'éléments triangulaires sera généré.

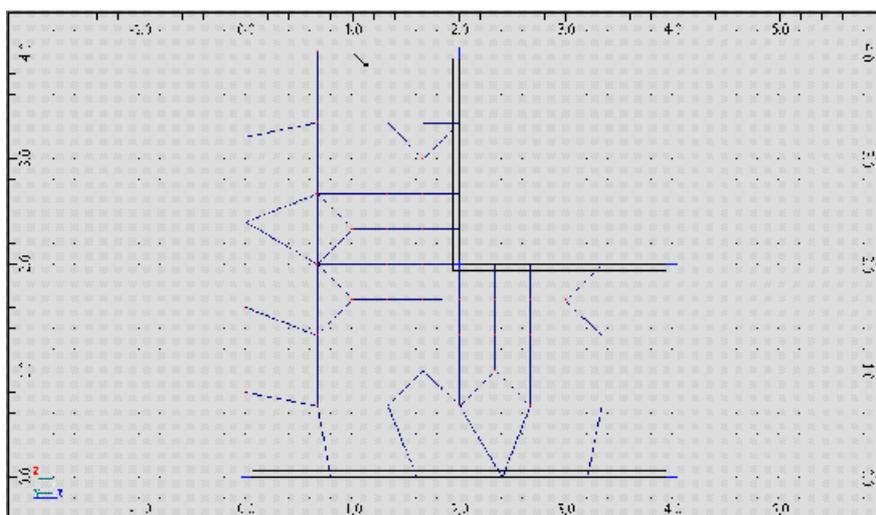


Effectuons maintenant la consolidation du maillage. Pour cela, il faut mettre en surbrillance le panneau entier et, ensuite, ouvrir la boîte de dialogue *Consolidation du maillage*, pour cela, dans le menu sélectionnez la commande *Analyse > Modèle de calcul > consolider le maillage*. Définissez la valeur **-0.4** pour le coefficient pour la conversion et désactivez la fixation du maillage pour que la modification ultérieure de la structure soit possible.

Après la validation des paramètres sélectionnés, on obtient le maillage représenté sur la figure ci-dessous.

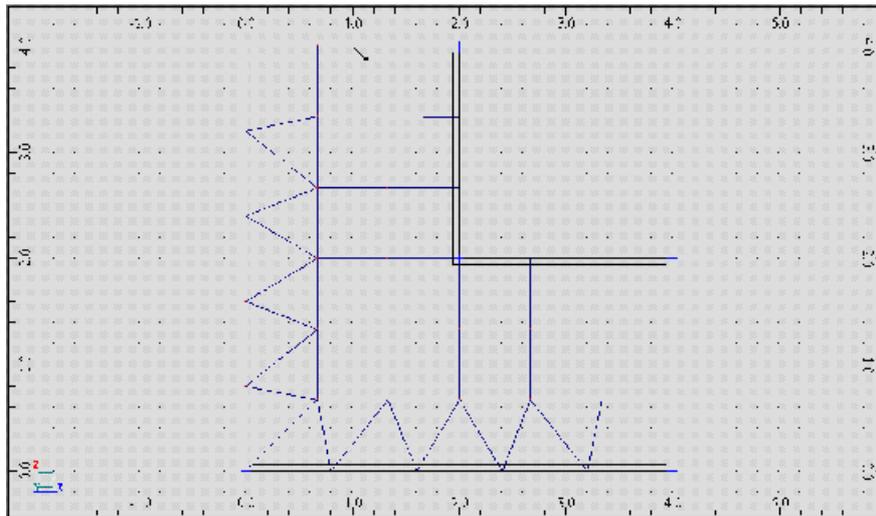


Effectuons maintenant le raffinement des éléments situés dans les coins de la dalle (cf. la figure ci-dessus). Pour cela, il faut sélectionner les éléments donnés et ouvrir la boîte de dialogue *Raffinement du maillage* (menu *Analyse > Modèle de calcul > Raffiner de maillage*). Les numéros des éléments sélectionnés sont transférés automatiquement dans le champ *Éléments*. Ensuite il faut sélectionner le raffinement double (*Type de raffinement : Double*). De même que dans le cas précédent, il faut désactiver l'option *Figurer le maillage*.

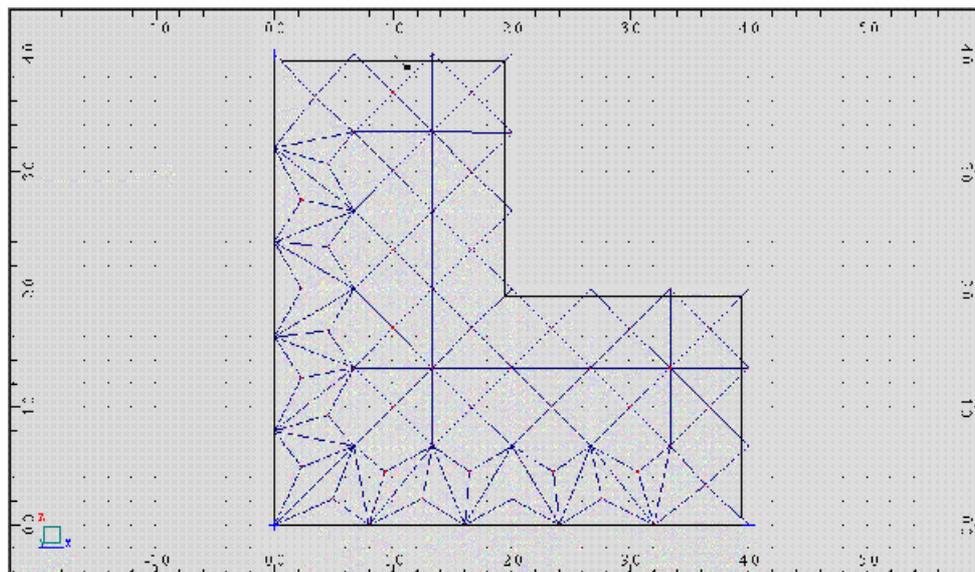


La figure ci-dessus montre que les côtés des éléments sélectionnés ont été divisés en deux segments, par conséquent chaque quadrangle a été divisé en quatre quadrangles de taille inférieure. En même temps, pour conserver la continuité des degrés de liberté, les éléments adjacents aux éléments sélectionnés ont été divisés.

Effectuez la génération du modèle de calcul pour obtenir encore une fois un maillage composé uniquement de triangles. Dans le menu texte, sélectionnez la commande *Analyse > Modèle de calcul > Générer*. Sélectionnez le panneau entier et utilisez la boîte de dialogue *Consolidation du maillage* pour effectuer la conversion en éléments quadrangulaires, cette fois ci, prenez le coefficient égal à **-0.8**.



Pour le maillage obtenu, on effectuera le raffinement sans diviser les côtés des éléments finis. Pour cela sélectionnez le panneau entier, ouvrez la boîte de dialogue *Raffinement du maillage* dans laquelle sélectionnez le *Type de raffinement : Simple*. Validez les paramètres sélectionnés, par conséquent le maillage suivant sera créé.



13. EXEMPLE D'UN FICHER DE DONNEES

FICHER ROBMODEL

' ROBMODEL: modèle de fichier de données ROBOT

' CONSEILS: ce fichier vous servira de guide; pour votre
 ' calcul, créez dans le dossier c:\ROBOT\USR le fichier de données
 ' portant le nom Nom_fic, pour cela chargez l'éditeur (F9)
 ' et enregistrez le fichier sous le Nom (Alt+S).
 ' Les nouveautés de ROBOT Millennium sont marquées dans le texte en italique, en gras et mises en vert

Rappels:

- ' - les commentaires sont précédés de " " ou " ; " (les commentaires ne sont pas analysés)
- ' - le caractère " = " n'est pas obligatoire et peut être remplacé par une espace
- ' - le caractère ":" permet de séparer les commandes dans une même ligne physique
- ' - le caractère "_" permet de continuer la commande dans plusieurs lignes physiques
- ' - LABEL : mot-clé de ROBOT
- ' - <valeur>: introduire la valeur du label
- ' - <liste>: introduire une liste de noeuds, éléments ou cas
 - ' <=> <n1> <n2>...<nn>
 - ' <=> <n1> A <nn> PAS <pas> SANS <nk>
 - ' <=> <n1> Répéter <n2> Pas <pas>
 - ' <=> <nom_groupe>
- ' - <nom>: introduire un nom (étiquette)
- ' - [...] : bloc
- ' - (...) : le bloc entre parenthèses est FACULTATIF
- ' - {...} : le bloc entre parenthèses est REPETITIF
- ' - [LABEL1 / LABEL2 /.../ LABELN]: choix multiple, chaque mot-clé une fois
- ' - [LABEL1 | LABEL2 | ... | LABELN]: choix multiple exclusif
- ' - Les noms utilisés dans ROBOT ne doivent pas contenir des chiffres.
 Néanmoins, dans des parties de la syntaxe on peut utiliser des noms quelconques mis entre guillemets p. ex. "Nom_groupe056"
- ' Abréviations: (choix selon ddl accessibles pour le type de la structure analysée)
 - ' [F] <=> [FX / FY / FZ / MX / MY / MZ]
 - ' [F=<f>] <=> [FX=<fx> / FY=<fy> / FZ=<fz> / MX=<mx> / MY=<my> / MZ=<mz>]
 - ' [F=<fc>] <=> [FX=<fx> / FY=<fy> / FZ=<fz> / CX=<cx> / CY=<cy> / CZ=<cz>]
 - ' [K=<k>] <=> [KX=<kx> / KY=<ky> / KZ=<kz> / HX=<hx> / HY=<hy> / HZ=>hz]
 - ' [M=<m>] <=> [MX=<mx> / MY=<my> / MZ=<mz>]
 - ' [P] <=> [PX / PY / PZ]
 - ' [P=<p>] <=> [PX=<px> / PY=<py> / PZ=<pz>]
 - ' [R=<r>] <=> [ALpha=<al> / BEta=<bê> / GAMma=<ga>]
 - ' [U] <=> [UX / UY / UZ / RX / RY / RZ]
 - ' [U=<u>] <=> [UX=<ux> / UY=<uy> / UZ=<uz> / RX=<rx> / RY=<ry> / RZ=<rz>]
 - ' [X=<x>] <=> [X=<x> / Y=<y> / Z=<z>]
 - ' [A=<a>] <=> [AX=<ax> / AY=<ay> / AZ=<az> / BX=<bx> / BY=<by> / BZ=<bz>], où :
 ' ax,ay,az,bx,by,bz - valeurs appartenant à l'intervalle [0:1]

' Calculatrice.

' Pour les valeurs numériques, il est possible d'utiliser
 ' les opérations arithmétiques de type:
 ' +, -, *, /, ^, Sin, Cos, Tg, ArcTg, ABS, SQRT
 ' exemple : 5 IZ=((5*6^3)/12)

' Remarques:

- ' 1/ les arguments des fonctions trigonométriques sont toujours en DEGRES
- ' Attention : la valeur de la fonction ArcTg est donnée en degrés.
- ' 2/ les formules doivent être toujours mises entre parenthèses ()
- ' 3/ on peut utiliser des parenthèses multi-niveaux
- ' 4/ on peut utiliser des formules dans les champs numériques
 ' dans tous les modules de ROBOT

' Unités:

' Toutes les grandeurs physiques sont définies dans les unités de bloc des unités correspondant.
 ' (global ou local). Les exceptions sont marquées formellement.



```

'-----< BLOC GENERAL>-----
ROBOT97      ' <<-- AJOUTER LE TITRE DU PROBLEME
              '
              '   syntaxe:
              '   ROBOT97 <titre_problème>

PORTique PLAn ' <<-- CHOISIR PARMIS LES 9 OPTIONS SUIVANTES
              ;   ET ENLEVER ";" DEVANT L'OPTION CHOISIE
              ; TREillis PLAn
              ; GRillage de poutres
              ; TREillis SPAtial
              ; PORTique SPAtial
              ; PLAque
              ; COQue
              ; CONtraite PLAn
              ; DEFOrmation PLAn
              ; AXIsymétrique
              ;   Par défaut: PREFERENCES

              ; (VERifier (RIEn | TOut) )
              ;   Par défaut: PREFERENCES
              ; (NUMérotation DIScontinue)
              ;   Par défaut: numérotation continue

; (RECURSIF) ' <<-- insère la structure en tant qu'objet.
; Sauvegarde le contenu de toutes les variables du fichier
; et permet la lecture du fichier en conservant les valeurs des variables.

; (DEL)      ' <<--pendant l'insertion du modèle chargé, la structure actuelle est supprimée
              ;   Par défaut: inactif

; (EXE)      ' <<--pendant l'insertion du modèle chargé, le calcul est lancé automatiquement
              ;   Par défaut: inactif
; (EXE "<nom_de_l'application>") ' <<--lors de l'insertion du modèle, l'application
; "<nom de l'application>" est lancée automatiquement. Si la syntaxe est utilisée dans le bloc
; DIMensionnement, l'application est lancée synchroniquement avec la séquence des calculs
; de dimensionnement.
; ATTENTION : l'application doit être placée dans le dossier ROBWIN\SYSTEM\EXE .

NOEuds=2 ELEments=1 ' <<-- METTRE LES NOMBRES DE NOEUDS ET D'ELEMENTS-
                    ' FACULTATIF SI LA NUMEROTATION EST DISCONTINUE
                    '
                    '   syntaxe:
                    ' (NOEuds= <nombre_noeuds>)
                    ' (ELEments= <nombre_éléments>)
                    ' EPSilon = <distance_minimale_entre_les_noeuds_différents>
                    ;   Par défaut: EPS = 0.001 de l'unité de longueur

'----- BLOC GROUPES -----

; {GROupes (NOE | ELE | CAS)} ' <<-- active la procédure de définition des groupes avec des types
; <$nom> <liste>              ' <<-- nom de groupe commençant toujours par "$,@,#,&"
;                               ' et contenant jusqu'à 7 lettres (les chiffres ne peuvent pas
;                               ' être utilisés dans le nom de groupe).
; $ <liste>                    ' <<-- continuation éventuelle de la liste lors de l'introduction
;                               ' du groupe de manière multi-linéaire.
;                               '
;                               '   ou
; "$<nom_groupe>" (TITre "<description_groupe>")
; $ <liste>
;                               '
;                               '   ou
; "$<nom_groupe>" (TITre "<description_groupe>") ( COUleur »<nom_groupe>» )
; $ <liste>
;
;

;GROupes FIN
;                               ' ATTENTION: Si un nom de groupe est mis entre guillemets, il peut contenir

```




```

;      '      "" sont obligatoires; variable_b doit être définie avant
;      '      5) Le type de la variable LIST n'est pas encore implémenté.
;      '      6) Le nom du "fichier avec image" doit être donné avec extension, sans chemin,
;      '      '      Le fichier en question doit être au format *.pcx. Ce fichier doit être placé
;      '      '      dans le répertoire PATHDATUSR spécifié dans les registres
;      '      '      (mis par défaut sur ...\\PROJECTS)
;      '

```

:VARIABLES FIN

```

;      ' Variables système pouvant être utilisées dans la partie de la définition de la
;      '      structure
;      '      %prof_h (i)                %coord_x (j)
;      '      %prof_b (i)                %coord_y (j)
;      '      %prof_ea (i)               %coord_z (j)
;      '      %prof_es (i)
;      '      %prof (i)
;      '      où
;      '      i - le numéro de l'élément
;      '      j - le numéro du noeud
;      '      Les variables de système renvoient les valeurs pour les profilés
;      '      _h - la hauteur du profilé
;      '      _b - la largeur du profilé
;      '      _ea - l'épaisseur de l'âme
;      '      _es - l'épaisseur de la semelle
;      '      - la définition du profilé
;      '      et les coordonnées des noeuds.
;      '      Il existe la possibilité de sauvegarder les valeurs de toutes les variables données
;      '      au cours de l'analyse du fichier texte, ainsi que de répéter l'analyse avec les
;      '      valeurs sauvegardées. Il est également possible de convertir le fichier
;      '      avec les variables en un nouveau fichier avec les valeurs entrées de façon fixe.
;      '      (les variables %fichierA et %fichierB doivent être définies dans le bloc variables)

```

-----<INSTRUCTIONS CONDITIONNELLES>-----

```

;      ' Les instructions conditionnelles servent à analyser les parties du fichier
;      '      texte dont le choix dépend des valeurs actuelles des variables.
;      '      Syntaxe - variante 1:
;      '      #IF [expression logique]>
;      '      ...
;      '      (#ELSE
;      '      ...)
;      '      #ENDIF
;      '      où:
;      '      [expression logique]
;      '      <=> %<nom_variable_A> [opérateur] <expression>
;      '      <=> ([expression logique]) #AND ([expression logique])
;      '      <=> ([expression logique]) #OR ([expression logique])
;      '
;      '      [opérateur]
;      '      <=> [=|>|<|<<|>=| ] ; pour les valeurs numér. (nombre entier, réel, liste)
;      '      <=> [=|<>] ; pour les autres (textes)
;      '      [expression] <=> %<nom_variable> | "<expression_quelconque>"
;      '
;      '      Syntaxe - variante 2:
;      '      [#IFDEF | #IFNOTDEF] %<nom_variable>
;      '      ...
;      '      (#ELSE
;      '      ...)
;      '      #ENDIF

```

-----< BLOC TEXTE >-----

- ' *Le bloc texte sert à transférer les commentaires utilisateur*
- ' *entre les phases de lecture et d'enregistrement du fichier *.STR*

```
{
```

TEXTe "nom du bloc texte"

```
<texte_quelconque_ligne_1>
```

```
...
```

```
...
```

```
<texte_quelconque_ligne_n>
```

TEXTe FIN

```
}
```

-----< BLOC CARACTERISTIQUES>-----

CARactéristiques physiques ' <<<-- active la procédure d'attribution des propriétés physiques aux éléments

ACIER ' <<<-- AUTRES CHOIX POSSIBLES: BETON, BOIS, ALUM, ...

' Par défaut: PREFERENCES

1 HEA 200 GAMMA=90 ' <<<-- affectation d'un profilé au premier élément

```
'
' syntaxe:
' (<nom_matériau>| "<nom_matériau_avec_chiffres">) (NOM "<nom_utilisateur >") |
' ou
' (<liste_éléments>) (E=<module_Young>) (NU=<coefficient_Poisson>) _
' (RO=<poids_volumique>) (G=<module_d'élasticité_transversal>) _
' (LX=<coefficient_thermique>) (NOM "<nom_utilisateur >")
' ou
' (<liste_éléments_finis>) (EP=<épaisseur>) (PLUs/MOIns) (KZ=<coef_Winkler>) _
' (NOM "<nom_utilisateur >")
' ou
' JARret <liste_éléments_barre>(<ORIGine _
' <description de l'origine du jarret>) (EXTremite <description de l'extrémité du jarret>)
' où :
' <description de l'origine du jarret> ou <description de l'extrémité du jarret>
' < > TYPE=[PLAtine | PROfile] POSition=[HAUt | BAS] _
' [L=<l>(RELatif)/ B=<b>(RELatif)/ H=<h>(RELatif)/ _
' EA=<ea>(RELatif)/ ES=<es>(RELatif)] (NOM "<nom_utilisateur >")
' attention : le paramètre RELatif concerne toutes les dimensions données avant
' son occurrence
' ou
' (<liste_éléments_barres>) [bloc_profilé] ([bloc_gamma]) (COMpression | TRAction) _
' (KY=<coef_Winkler> KZ =<coef_Winkler> HX=<coef_Winkler>) (NOM= "<nom_utilisateur >")
' REMARQUE: Le groupe $TRA ou $COM contenant tous les éléments en
' traction ou en compression est créé automatiquement
' ou
' (<liste_éléments>) CABLE SX = <sx> (E = <module_Young>) _
' (RO = <poids_volumique>) [PREcontr = <s> | TENsion = <h> | _
' LONGueur = <l> | _[DILatation = <d> (RELatif)]] (NOM "<nom_utilisateur >")
' REMARQUE: Le groupe $CABLE contenant tous les éléments de
' câble est créé automatiquement
' où
' [bloc_profilé]
```

```
'
' PROFILE DE LA BASE DES PROFILES
' <=> <nom_famille> <dimension> (EP=<épaisseur>) (DIM=<dim2>) | _
' <nom_famille> <dimension> x <dim2/épaisseur> x <épaisseur/dim3>
```



```

'      En cas du conflit entre les noms et les mots-clés de ROBOT on peut
'      utiliser une commande qui limite l'étendue des recherches des profilés à une
'      seule base
'      BAsE <nom_base>      ; nom court conseillé, p.ex. "CAT" pour CATPRO
'                          ; désignations des profilés
'
'      BAsE FIN
'
'      ou SECTION DEFINIE PAR SES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES
'      <=> SX=<Sx> / SY=<Sy> / SZ=<Sz> / _
'          IX=<Ix> / IY=<Iy> / IZ=<Iz> / _
'          VY=<Vy> / VPY=<Vpy>/ VZ=<Vz>/ VPZ=<Vpz>_
'          WX = <Wx>/ WY = <Wy>/ WZ = <Wz>
'
'      ou SECTION RECTANGULAIRE
'      <=> B=<largeur> H=<hauteur> (EP=<épaisseur>) _
'          (VARIable (CHAîne = <numéro_piece_composée>) (B=<largeur_2> / H=<hauteur_2>))
'
'      ou SECTION MOISEE
'      <=> MOISee B=<largeur> D=<distance> H=<hauteur> _
'          (VARIable (CHAîne = <numéro_piece_composée>)_
'          [B=<largeur> / D=<distance> / H=<hauteur>])
'
'      ou SECTION TUBE
'      <=> D=<diamètre> (EP=<épaisseur>) _
'          (VARIable (CHAîne = <numéro_piece_composée>) D=<diamètre_2>)
'
'      ou SECTION EN CAISSON
'      <=> CAIsson B=<largeur> H=<hauteur> EA=<ép_A> ES=<ép_S> _
'          (VARIable (CHAîne = <numéro_piece_composée>) (B=<largeur_2> / H=<hauteur_2> / EA=<ép_A_2> / _
'          ES=<ép_S_2>))
'
'      ou SECTION EN I
'      <=> I B=<largeur> H=<hauteur> EA=<épaisseur_âme> ES=<épaisseur_semelle> _
'          (VARIable (CHAîne = <numéro_piece_composée>) (B=<largeur_2> / H=<hauteur_2> / EA=<ép_â_2> / _
'          ES=<ép_s_2>))
'
'      ou SECTION DISSYMETRIQUE EN I
'      <=> I H=<hauteur_âme> EA=<épaisseur_âme> B=<largeur_semelle_haute> _
'          ES=<épaisseur_semelle_haute> B=<largeur_semelle_basse> ES=<ép_semelle_basse>
'
'      ou SECTION EN CROIX SOUDEE
'      <=> CROix HORizontalement B=<largeur_semelle> H=<hauteur_âme> _
'          EA=<épaisseur_âme> ES=<épaisseur_semelle> _
'          VERTicalement B=<largeur_semellei> H=<hauteur_âme> EA=<épaisseur_âme> _
'          ES=<épaisseur_semelle>
'
'      où
'      [bloc_gamma]
'      <=> Gamma = <angle_gamma> | Noeud=<no_noeud> | [X=<x>]
'
'-----
: CARactéristiques REDimensionnement
' <<<-- bloc de caractéristiques généré par le module dimensionnant pour tous les
' éléments
: CARactéristiques REDimensionnement FIN
'-----

:CREer [NOE | ELE | CAS] <$nom> ' <<<-- active la procédure de création automatique des groupes
' Tous les noeuds (éléments, cas), placés entre les commandes
' du début et de la fin de la création automatique de groupes, seront inclus
' dans un groupe à nom donné.
:CREer FIN ([NOE | ELE | CAS]) ' fin de la création automatique de groupes

'-----

:LIRe " <nom_fichier>" ' <<<-- active la procédure d'insertion au fichier de données de Robot
' les parties constantes à partir du fichier ..\USR\nom_fichier. Tous
' les labels principaux (ROBOT,NOE,ELE,...,CHA,FIN) doivent
' se trouver dans le fichier principal.

```

-----< BLOC NOEUDS>-----

```

NOEuds          ' <<<- active la procédure pour les positions des noeuds
COOrdonnées CARTésiennes ' <<<- TYPE DE COORDONNEES (par défaut)
                ' AUTRES POSSIBILITES:
                ; COOrdonnées POLaires
                ; COOrdonnées CYLindriques
                ; COOrdonnées SPHériques

REFérentiel     ' <<<- SPECIFIER LE REFERENTIEL
                ' syntaxe:
                ' REFérentiel (X=<x>)(R=<r>)
                ' ou
                ' REFérentiel ; pour retourner au repère global
                ' <<<- SPECIFIER LES COORDONNEES DES NOEUDS

1              1  0
2              2  0

                ' ENTREE STANDARD:
                ' syntaxe:
                ' <no_noeud> <x> <y> (<z>) en coordonnées cartésiennes
                ' <no_noeud> <r> <phi> (<z>) en coordonnées polaires ou cylindriques
                ' <no_noeud> <r> <phi> <thêta> en coordonnées sphériques
                ' GENERATION SIMPLE SUR UNE DROITE OU UN CERCLE
                ' syntaxe:
                ' <no_noeud_début> Répéter <r_fois> (Pas <pas_numérotation>) _
                ' <x1> <y1> (<z1>) <x2> <y2> (<z2>)

                ' GENERATION PAR SYMETRIE
                ' syntaxe:
                ' <liste_noeuds_1> SYmétrie [X=<x>] <liste_noeuds_2>

                ' GENERATION PAR TRANSLATION
                ' syntaxe:
                ' <liste_noeuds_1> TRanslation [X=<x>] <liste_noeuds_2> (Générer <g_fois>)

                ' GENERATION PAR ROTATION
                ' syntaxe:
                ' <liste_noeuds_1> ROTation [X=<x>] [R=<r>] <liste_noeuds_2> (Générer <g_fois>)

                ' GENERATION COMBINEE DE SYMETRIE + TRANSLATION + ROTATION
                ' syntaxe:
                ' <liste_noeuds_1> _
                ' {SYmétrie [X=<x>] / ROTation [X=<x>] [R=<r>] / TRanslation [X=<x>]} _
                ' <liste_noeuds_2> (Générer <g_fois>)
    
```

-----< BLOC ELEMENTS>-----

```

:NOEuds AUXiliaires ' <<<- active la procédure pour la définition des noeuds auxiliaires,
                    ' qui n'appartiennent pas à la structure et servent à positionner
                    ' p. ex. des charges sur les éléments finis.
                    ' La syntaxe est analogue à celle des noeuds de la construction.
    
```

-----< BLOC ELEMENTS>-----

```

ELEments        ' <<<- active la procédure de définition des éléments
                ' GENERATION DES ELEMENTS SURFACIQUES
                ' syntaxe:
                ' QUAdrangulaire (4 | 8) | TRIangulaire (3 | 6)
                ' [entrée_standard | génération_récurrente | génération_tra/sym/rot | maillage]
    
```



```

' GENERATION DES ELEMENTS DE BARRES
' syntaxe:
' (BARres) ' <<-- obligatoire seulement pour les structures mixtes
' [entrée_standard | génération_récurrente | génération_tra/sym/rot | liaisons]

' ENTREE STANDARD - BARRES
1 1 2 ' <<-- SPECIFIER LES ORIGINES ET EXTREMITES DES ELEMENTS DE BARRES
' syntaxe:
' <no_élément> <no_noeud_origine> <no_noeud_extrémité>

' ENTREE STANDARD - ELEMENTS SURFACIQUES
' syntaxe:
' <no_élément> <no_noeud_1> <no_noeud_2> <no_noeud_3> <no_noeud_4> _
' <no_noeud_5> <no_noeud_6> (<no_noeud_7> <no_noeud_8>)

' GENERATION RECURRENTE
' syntaxe:
' <no_élément> Répéter <r_fois> Pas <pas_numérotation> <no_noeud_1> Pas <p1> _
' <no_noeud_2> Pas <p2> ( . . . <no_noeud_i> Pas <pi> ) _
' (Générer <g_fois> (Pas <pas_élément>) (NOEud Pas <pn1>...<pn1>))

' GENERATION COMBINEE PAR SYMETRIE + TRANSLATION + ROTATION
' syntaxe:
' <liste_éléments_1> _
' {SYmetrie [X=<x>] / ROTation [R=<r>] [X=<x>] / TRanslation [X=<x>]} _
' <liste_éléments_2> (NOEud <base_numérotation>) _
' (Générer <g_fois>)
' ATTENTION: Pour éviter la création des noeuds superposés (ayant les mêmes
' coordonnées) il faut utiliser l'option VERifier TOUT dans la première partie du
' fichier texte

' GENERATION RECURRENTE - LIAISONS DES ELEMENTS BARRES
' LIAisons <numéro_du_premier_élément_a_générer> _
' (Pas <pas_numérotation_éléments>) <liste_noeuds> _
' (Générer <g_fois> (Pas <pas_numérotation_éléments_au_niveau_des_lignes>) _
' (NOEuds Pas <pas_numérotation_verticale_noeuds>))

' GENERATIONS DES MAILLAGES DES ELEMENTS FINIS
' MAillage ' <<-- active la procédure de génération
' METHODE 1:
' Syntaxe:
' DOMAine(<nom_groupe>)<nbre_noeuds_1> <nbre_noeuds_2> (<nbre_noeuds_3>)
' <bloc_liste_1>
' <bloc_liste_2>
' <bloc_liste_3>
' (<bloc_liste_4>)
' (NUMérotation ELEMents <no_base_éléments> NOEuds <no_base_noeuds>)
' ELEMent [ [QUA(4 | 8)] | [TRI(3 | 6)] ]
' où [bloc_liste] <=>
' <no_premier_noeud> { _
' <(liste)_noeud(s)_suivant(s)> | _
' (MOins | Plus) ARC <noeud_centre_arc> <k_divisions_arc> <noeud_fin_arc> | _
' DIVision <k_noeuds> <no_noeud_fin_division>] | _
' POids <densité> <k_noeuds> <no_noeud_fin_division> | _
' } REVers

' Méthode 2 :
' Syntaxe:
' DOMAine DELaunay
' CONtour [bloc_liste]
' {(TROu [bloc_liste])}
' (NOEUDs <no_noeud_interne> (<no_élément_interne>)
' où [bloc_liste] <=>
' <no_premier_noeud> { _
' <(liste)_noeud(s)_suivant(s)> | _
' (MOins | Plus) ARC <noeud_centre_arc> <k_divisions_arc> <noeud_fin_arc> | _
' DIVision <k_noeuds> <noeud_fin_division>] }
' ou

```

```
' CERcle <noeud_centre_cercle> <k_divisions_cercle> <no_premier_noeud>
'   ATTENTION: L'ordre des noeuds décrivant le bord et les trous est très important !
'   Le bord doit être décrit de droite à gauche, et les trous de gauche à droite,
'   de façon à ce que la structure décrite soit toujours du côté gauche.
' MAillage FIN
```

-----< BLOC PIECES>-----

```
:PIEce      '<<< active la procedure de pièces
'           syntaxe:
' <no_pieçe> <liste_éléments>
```

----- BLOC BORDS / COTES-----

' ATTENTION !!!

' Le bloc de bords est utilisé par le logiciel lors de la génération

automatique

```
' du maillage des éléments finis et il n'est pas conseillé aux utilisateurs de le modifier !!!
' Pour la génération des éléments finis à l'aide de la syntaxe dans un fichier de données,
' il faut utiliser les méthodes présentées dans le bloc:
' «GENERATIONS DU MAILLAGE DES ELEMENTS FINIS»
' BLOC DE SAUVEGARDE DES BORDS POUR LE MODULE «SAISIE 3D» -
' NE PAS MODIFIER LE CONTENU !!!
:BORds      '<< -- active la procédure de définition des bords - éléments auxiliaires
' <<<-- syntaxe (comme pour la définition d'éléments de barre de la structure):
' <no_élément> <no_noeud_origine> <no_noeud_extrémité>
' <no_élément> Répéter <r_fois> Pas <pas_numérotation>_
'           <no_noeud_1> Pas <p1> <no_noeud_2> Pas <p2>
' <liste_éléments_1> _
' { SYmétrie [X=<x>] / ROTation [R=<r>] [X=<x>] / TRanslation [X=<x>] } _
'           <liste_éléments_2> (NOEud <base_numérotation>) _
'           (Générer <g_fois>)
' LIAisons <numéro_du_premier_élément_à_générer>_
'           (Pas <pas_numérotation_éléments>) <liste_noeuds> _
'           (Générer <g_fois>) (Pas <pas_numérotation_éléments_au_niveau_des_lignes>)_
'           (NOEuds Pas <pas_numérotation_verticale_noeuds>))
' <<<-- définition des contours
' { CONtour <<nom_contour><< {<liste_noeuds>}}
' <<<-- maillage du contour
' { MAillage <<nom_contour><<_
'           [ DELaunay | COOns | ISOpar ] [ QUA | TRI | QUA 4 | TRI 3 | QUA 8 | TRI 6 ]
'           ELEments
'           { <liste_éléments> }
'           ( BAsE <noeud_1> (<noeud_2>) (<noeud_3>) (<noeud_4>))
'           DIVision <div_1> (<div_2>) (<div_3>)
'           { COTes <[ bloc_liste ] >}
'           { TROu <[ bloc_liste ] >}
'           MAillage FIN } )
'
' où [bloc_liste] <=>
'           { <no_premier_noeud> { <(liste_noeud(s)_suivant(s)) | _
'           DIVision <k_noeuds> <no_noeud_fin_division> } }
```

' (PIEce <numéro_pieçe_de_structure> <<nom_contour><< <liste_éléments>)

;BORds FIN <<<-- fin de création des bords

```
:INActifs   '<<< active la procédure d'éléments inactifs
' <<<-- SPECIFIER LA LISTE DES ELEMENTS INACTIFS
' syntaxe:
' [INActifs
' <liste_éléments> | _
' INActifs [ELEments | NOEuds] <liste>
' (INActifs FIN)
'   ATTENTION: La commande INActif utilisée sans liste signifie la désactivation
'   de tous les noeuds non liés aux éléments.
```

```
APPuis     '<<< active la procédure d'appuis
1          '<<<-- AFFECTER LES DEGRES DE LIBERTE
```

```

'
' syntaxe:
' <liste_noeuds> (PLUs/MOIns) [U] (K=<k>) (R=<r>) (A = <a>)(NOM "< nom_utilisateur>")
' Attention: Les raideurs HX, HY, HZ sont toujours exprimées en RADIAN.
' _syntaxe pour les appuis nonlinéaires (l'option n'est pas encore implémentée):
' <liste_noeuds> NONlinéaire
'   [déf_ddl1]
'
'   ...
'   [déf_ddln]
'
' NONlinéaire FIN
'   où
'   [déf_ddli] <= >
'   (RIG [R1]) (LIM [L1]) (RIG [R0]) (LIM [L2]) (RIG [R2])
'
'   où
'   Ra <=> Ui | Ki = [<kai> | $< nom_fichier>]
'   Lb <=> Ui = <limbi> | Fi = <fbi>
'
'   où:
'   a = [0, 1, 2]
'   b = [1, 2]
'   Ui = UX | UY | UZ | RX | RY | RZ
'   Ki = KX | KY | KZ | HX | HY | HZ
'   Fi = FX | FY | FZ | MX | MY | MZ
'   nom_fichier - le nom du fichier dans le sous-répertoire USR qui contient
'   la description des caractéristiques de l'appui
'
-----
:RELâchements ' <<- active la procédure de relaxations des déplacements et des rotations
' <<- SPECIFIER LES RELAXATIONS
' syntaxe:
' Eléments <liste_éléments> _
' (ORigine ( [U] ) | (EXtrémité ( [U] ) (NOM "< nom_utilisateur>")
' <<-RELAXATION DE NOEUDS POUR LES ELEMENTS Y ABOUTISSANT
' syntaxe:
' (Noeuds) <liste_noeuds> ( [U] )
'
' RELACHEMENTS UNILATERAUX
' (définition par l'indication du signe des forces nodales transférées)
' Syntaxe:
' ELEments <liste_éléments> _
' (ORigine (Plus | MINus [F]) | [U]) (EXTREMITÉ (Plus | MINus [F]) | [U])
' (NOEuds) <list_noeuds> ((PLUS | MINus [F]) | [U] )
'
' ATTENTION:
' La définition alternative pour les éléments de type traction/compression peut être:
'   ORigine PLUs FX EXTremité MINus FX pour la TENSion
'   ORigine MINus FX END PLUS FX pour la COMpression
'
-----
:COMPatibilité ' <<- DEFINIR LA COMPATIBILITE DE NOEUDS EN DEPLACEMENTS
' syntaxe:
' COMPatibilité <liste_noeuds_1> [U] [R=<r>] [K=<k>] <liste_noeuds_2> _
'   NOM "< nom_utilisateur>")
' Attention: Les raideurs HX, HY ,HZ sont toujours exprimées en RADIAN et les listes
'   devraient être équipotentes.
'
-----
:RIGides ' << -- active la procédure de liaisons rigides pour les structures avec les degrés de liberté rotatifs
'   ( Portique Plan, Portique Spatial, Grillage, Plaque, Coque )
' syntaxe:
' <liste_noeuds> LIAison <noeud_rigide> ([U]) (NOM "< nom_utilisateur>")
' Attention: Les ddls libres affectés sont libellés comme dans les appuis
'
-----
:EXCentrements ' <<- active la procédure de barres excentrées
' syntaxe:
' <liste_éléments> [X=<dx1> / Y=<dy1> / Z=<dz1>] _
'   [X=<dx2> / Y=<dy2> / Z=<dz2>] (LOCAL | GLOBAL) (NOM "< nom_utilisateur>")
' Par défaut: GLOBAL
'
-----
:MASses ajoutées ' << -- active la procédure des masses ajoutées
' syntaxe :
```

```

' MASses ajoutées
'   <liste_noeuds> [F=<f>]
' MASses NOEuds
'   <liste_noeuds> [F=<f>]
' MASses ELEments
'   <liste_éléments> [X=<x>] [F=<f>] | [X=<x1> P=<p1>] JU [X=<x2> P=<p2>] _
'   (RELatif)
' MASses ACTiver [X / Y / Z]
' [X | Y | Z] ( MOins | PLus) <liste_cas> (COEfficient=<c>)
' MASses FIN )

; MASses FIN )

'----- BLOC CHARGEMENTS -----

CHArgements      ' <<<-- active la procédure de chargements
                  ; (EXE "<nom_de_l'application>") ' <<<--lors de l'insertion du modèle, l'application
                  ; "<nom de l'application>" est lancée automatiquement. Si la syntaxe est utilisée dans le bloc
                  ; DIMensionnement, l'application est lancée synchroniquement avec la séquence des calculs
                  ; de dimensionnement.
                  ; ATTENTION : l'application doit être placée dans le dossier ROBWIN\SYSTEM\EXE .

CAS               ' <<<-- SPECIFIER LE TITRE DU CAS DE CHARGE
                  '   syntaxe:
                  ' [Cas | AUXiliaire ] (#<nr_cas>) (<titre_cas_de_charge>)

NOeuds           ' <<<-- active le chargement des noeuds
  2  FY=100      ' <<<-- SPECIFIER LES CHARGES NODALES
                  '   syntaxe:
                  ' (NOeuds)
                  '   syntaxe:
                  ' (<liste_noeuds>) [F=<fc>] / [U=<u>] ([R=<r>])
                  '   Attention: Les rotations imposées RX, RY, RZ sont toujours exprimées en RADIAN.

ELéments         ' <<<-- active le chargement des éléments
                  '   syntaxe:
                  ' ELEments

                  ' <<<-- SPECIFIER LES CHARGES CONCENTREES - ELEMENTS DE BARRE
                  '   syntaxe:
                  ' (<liste_éléments>) [X=<x>] / [F=<f>] ([R=<r>]) (LOcal) (RELatif)

                  ' <<<-- SPECIFIER LES CHARGES REPARTIES SUR LES ELEMENTS DE BARRE
                  '   syntaxe:
                  ' (<liste_éléments>) (X=<x1>) [P=<p1>] ((JUSque) (X=<x2>) [P=<p2>] (R=<r>)) _
                  '   (LOcal) (RELatif) (PROjeté)
                  '   ou:
                  ' (<liste_éléments>) M=<m> (LOcal)

' <<<-- DILATATIONS ET DEFORMATIONS INITIALES - ELEMENTS DE BARRE
                  '   syntaxe:
                  ' (<liste_éléments>) DILatation=<d> (RELatif)

                  ' <<--SPECIFIER LES CHARGES SURFACIQUES SUR LES STRUCTURES DE
                  '   BARRE
                  '   syntaxe:
                  ' SURfacique [X = <x>] | <no_noeud_1> <no_noeud_2> <no_noeud_3>_
                  '   (GAmma = <angle_distribution_charge>)
                  '   (<liste_éléments>) P=<p>
                  '   (<liste_éléments>) P=<p> AU <no_noeud_1> _
                  '   ([P=<p2>] AU <no_noeud_2> ([P=<p3>] AU <no_noeud_3>))
                  ' SURfacique FIN

' <<<-- DEFINIR LES CHARGES SUR LES ELEMENTS DE BARRE PROVENANT
'   DES CABLES PRECONTAINTS (mot clé : PCT)
'   syntaxe:
'   PCT
'   < liste éléments> N = <n> [ ORIGine [ EY = <ey1> ] [ EZ = <ez1> ] ] _
'   [ CENTre [ EY = <eyc> ] [ EZ = <ezc> ] ] _

```



```

' / EXTrémité [ EY = <ey2> ] [ EZ = <ez2> ] ]
' PCT FIN

' <<<-- DONNER LES ELEVATIONS DE TEMPERATURE
'   syntaxe - barres:
'   (<liste_éléments>) [T=<t>]
'   ou:
'   [T=<t>] <=> T=<t> / TX=<t> / TY=<ty> / TZ=<tz>
'   syntaxe - éléments surfaciques:
'   (<liste_éléments>) [T=<t>] (AU <no_noeud_1> / [T=<t>] AU <no_noeud_2> / _
'   [T=<t>] AU <no_noeud_3>)
'   où:
'   [T=<t>] <=> T=<t> / TX=<t> / TZ=<tz>

' <<<-- SPECIFIER LES CHARGES LINEAIRES DES ELEMENTS SURFACIQUES
'   syntaxe:
'   LINéaire
'   <no_noeud_début> [P=<p1>] Jusque <no_noeud_fin> (P=<p2>) _
'   ([LOCal ( GAMma = <gamma> )])

' <<<--SPECIFIER LES CHARGES UNIFORMES SUR LES ELEMENTS SURFACIQUES
'   syntaxe:
'   (<liste_éléments>) P=<p>

' <<<--DEFINIR LES CHARGES UNIFORMES SUR LES ELEMENTS SURFACIQUES
'   APPLIQUEES A L'AIDE D'UN CONTOUR
'   syntaxe:
'   (<lista_éléments> [ P=<p> ] _
'   Projeté DIRection < vecteur_x vecteur_y ( vecteur_z ) > _
'   CONtour <liste_noeuds_contour>

' <<<-- SPECIFIER LES CHARGES SUR LES ELEMENTS SURFACIQUES
'   syntaxe:
'   (<liste_éléments>) [P=<p1>] AU <no_noeud_1> _
'   ([P=<p2>] AU <no_noeud_2> ( [P=<p3>] AU <no_noeud_3>)) (PROjeté)

' <<<-- DEFINIR LES CHARGES SUR LES ELEMENTS SURFACIQUES
'   APPLIQUEES A L'AIDE DU CONTOUR
'   syntaxe:
'   (<liste_éléments> ( [ P=<p> ] AU <no_noeud_1> [ P=<p> ] AU <no_noeud_2> _
'   [ P=<p> ] AU <no_noeud_3> ) _
'   Projeté DIRection < vecteur_x vecteur_y ( vecteur_z ) > _
'   CONtour <liste_noeuds_contour>

' <<<--SPECIF. LES CHARGES HYDROSTATIQUES-LES ELEMENTS SURFACIQUES
'   syntaxe:

' (<liste_éléments>) [ PREssion=<p_const> ] / [ HYDrostatique=<p_variable> X=<x> / Y=<y> / Z=<z>]
POids propre ' <<<-- active la procédure de poids propre
PY MOINS ' <<<-- SPECIFIER LE POIDS PROPRE
'   syntaxe:
'   POids propre
'   (<liste_éléments>) [P] MOins | Plus
'   Cas de montage:
'   Dans l'analyse des câbles on distingue l'état de montage de la structure,
'   c'est toujours le premier cas
'   syntaxe:
'   CAS (#<nr_cas>) <nom_cas>
'   MONTage
'   [description des charges]

'-----<BLOC NEIGE ET VENT>-----
:NV ' <<<-- activation du bloc "Neige et Vent"
' PARTIE PRINCIPALE:

```

'	Norme nationale:	
'	"ASCE 7-88 ANSI A58.1"	USA
'	"NV 65"	FRANCE
'	"N84 - Carte Neige"	FRANCE
'	"N84 – Add. 96»	FRANCE
'	"NV65 – Serres»	FRANCE
'	"NV65 + Carte 96»	FRANCE
'	"NV65 / N84 Mod. 96»	FRANCE
'	"NV65 Mod. 99 + Carte 96»	FRANCE
'	"NV65 Mod.99 / N84 Mod. 96»	FRANCE
'	"NBE-AE - 88»	ESPAGNE
'	"? ECV"	PORTUGAL
'	"? CNR - 10012/ 85"	ITALIE
'	"? BS 6399"	GRANDE BRETAGNE
'	"PN-80/B-02010"	POLOGNE
'	"PN-77/B-02011"	POLOGNE
'	"DIN 1055"	ALLEMAGNE
'	»NEN 6702»	HOLLANDE

? - n'est pas entièrement implémentée

Par défaut: norme des PREFERENCES

(NORme "<nom_norme>")

Enveloppe externe de la structure:

ENveloppe [<liste_noeuds_structure>_
| AUTomatique (ACRotères) (SAIllies) (BASE)]

Profondeur du bâtiment:

PROfondeur <valeur_profondeur>

Entraxe de la structure:

ENTraxe <valeur_entraxe>

Liaison des charges climatiques aux noeuds ou aux barres de l'enveloppe:

Par défaut: aux barres

(LIAison [BARres <liste_barres_enveloppe> | NOEuds <liste_barres_enveloppe>] _
| TOUs)

Ordonnée de sol en repère global (si la base du bâtiment ne repose pas au sol):

Par défaut: YSOL=0

(YSOI <ordonnée_sol>)

Coefficient général multiplicateur de charges:

Par défaut: COEfficient=1 ELEMent TOUs

(COEfficient <valeur_du_coefficient>_
(ELements <liste_éléments_enveloppe> | TOUs))

' (COEfficient <valeur_du_coefficient > (BARres <liste_de_barres_de_la_structure >))

- ' **ATTENTION :**
- ' **Chacune des barres incluses dans la < liste_de_barres_de_la_structure > doit être**
- ' **un élément de l'enveloppe la syntaxe a été introduite pour faciliter la reconnaissance des**
- ' **éléments de l'enveloppe.**

Les commandes supplémentaires pour les Etats Unis

Le coefficient définissant la fusion de la neige sur les toitures de bâtiment
suivant les pièces chauffées à l'intérieur

Par défaut: THERmique 1.0

(THERmique 1.0 | 1.1 | 1.2)

Le coefficient définissant le degré de danger du bâtiment pour la vie
humaine à cause des influences climatiques.

Par défaut: IMPortance I

(IMPortance I | II | III | IV)

Choix du périphérique de sortie pour la note de calcul (sans intérêt dans la V6)

(SORTies ECRan / IMPrimante / FICHier)

Par défaut: la première désignation du REGion et du SITE est un défaut

DONNEES SPECIFIQUES POUR LE VENT

Activation du bloc "VENT" et Vent soit normal soit extrême (pour la norme hollandaise,
il manque de détermination du type de vent) :

Par défaut: VENT normal

(VENT NORmal | EXTTrême)

France

Région de la carte des vents NV 65:

```

' REGion 1 | 2 | 3 | 4
'   Type de site à considérer vis-à-vis des vents:
' SITE NORmal | EXPosé | PROtegé
'   ETATS UNIS
'   Le numéro de la région qui est en même temps la valeur de
'   la pression du vent en [lb/ft2]
' REGion 70 | 80 | 90 | 100 | 110
' SITE A | B | C | D
'   La vitesse du vent est donnée en [mph]
'   Par défaut: VITesse 0.0
' ( VITesse <valeur_vitesse_entre_0_et_120> )
'   ESPAGNE
' REGion X | Y | Z | W
' SITE NORmal | EXPosé | PROtegé
'   POLOGNE
' REGion I | II | IIa | IIb | III
' SITE A | B | C
'   ALLEMAGNE
' REGion I | II | III | IV
' SITE NORmal | EXPosé
'   HOLLANDE
' REGion I | II | III
' SITE NU | BATi
'
' Altitude de la construction:
'   Par défaut: ALTitude = hauteur du bâtiment par rapport à YSOL
' (ALTitude <valeur_altitude>)
'   Définition des perméabilités des parois
'   Par défaut: PERméabilités nulles
' (PERméabilité <valeur> ELEments <liste_barres_enveloppe>)
'   Définition des perméabilités AVANT et ARRIERE au plan de la structure
' (PERméabilité AVAnt <valeur_perméabilité_avant>)
' (PERméabilité ARRIère <valeur_perméabilité_arrière>)
'   ATTENTION: Une ligne par valeur de perméabilité. Au maximum 2 valeurs
'   de perméabilité supérieures à 5%
'   Définition des ouvertures de type "porte" (ouverte et fermée)
' (PORTes <liste_barres_enveloppe>)
'   Type de pression en fonction de l'altitude: VARIABLE ou CONSTANTE
'   ou pression de base
'   Par défaut: PREssion VARIABLE
' (PREssion VARIABLE | CONStante | <pression_de_base>)
'   Prise en compte des toitures multiples
'   Par défaut: TOItures MULTiples ACTives
' (TOItures ACTives | INActives)
'   Coefficient multiplicateur de charges
'   Par défaut: Coefficient = 1 ELEments TOUs
'
' (COEfficient <valeur_du_coefficient> _
'   (ELEments <liste_éléments_enveloppe | TOUs))
'
' Les commandes supplémentaires pour la norme NV65
'   Prise en compte du décrochement de façades
'   Par défaut: DECrochement ACTif
' (DECrochement ACTif | INActif)
'   Coefficient de réduction des pressions dynamiques
'   Par défaut: DELta=AUTomatique
' (DELta <valeur_delta> | AUTomatique)
' Les commandes supplémentaires -pays de norme HOLLANDE
'   Détermination de la surface pour le coefficient de frottement
'   ( FROttement FAIBle | MOYen | FORT )
'   Par défaut: FROttement FAIBle
'   Les commandes supplémentaires - pays de norme EEUU , FRANCE , POLOGNE , HOLLANDE
'
' Définition de la caractéristique dynamique de structure:
' ( DYNamique [ PERiode <valeur> | _
'   PULsation <valeur> | _
'   FREquence <valeur> ] _
'   AMOrtissement <valeur> )

```

```

'
'          Par défaut: PERiode = 0 [ s ]
'          PULsation = 0 [ deg/s ]
'          FREquence = 0 [ 1/s ]
'          AMOrtissement = 0.01
'
' DONNEES SPECIFIQUES POUR NEIGE
'   Activation du bloc "NEIGE"
'   Détermination du type de neige, de région et de position (pour toutes les normes sauf NBE-AE-88 -
'   manque de régions et NEN 6702 - manque de types de neige et de régions)
'   ( NEIge <type_neige> )
'   FRANCE
'   pour NV65, NV65 Carte Neige, NV65 – Serres, N84 – Add. 96
'   <type_neige> = NORmale | EXTrême
'   pour NV65 / N84 Mod. 96 <type_neige> = NORmale | ACCidentale | NORACCidentelle
'   pour NV65 + Carte 96 – pas de type de neige
'   Par défaut: NEIge NORmale
'   REGion <type_région>
'   pour NV65 <type_région> = 1 | 2 | 3 | 4
'   pour NV65 Carte Neige et NV65 – Serres <type_région> = A | B | C | D
'   pour NV65 + Carte 96 <type_région> = I | II | IA | IB | IIA | IIB | III | IV
'   pour NV65 / N84 Mod. 96 et pour N84 – Add. 96 <type_région> = IA | IB | IIA | IIB | III | IV
'
' ETATS UNIS
'   <type_neige = NORmale | EXTrême
'   Par défaut: NEIge NORmale
'   Le numéro du région qui est en même temps la valeur de
'   charge de la neige en [lb/ft2]
'   REGion 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100
'   SITe A | B | C | D | E
'   ESPAGNE
'   <type_neige = FRAîche | HUMide | DURE
'   Par défaut: NEIge FRAîche
'   POLOGNE
'   <type_neige = NORmale | EXTrême
'   Par défaut: NEIge NORmale
'   REGion I | II | III | IV
'   ALLEMAGNE
'   <type_neige = FRAîche | HUMide | DURE
'   Par défaut: NEIge FRAîche
'   REGion I | II | III | IV
'
'   Altitude (élévation) de la construction
'   Par défaut: ALTitude=0
'   (ALTitude <valeur_altitude>) 'en mètres impérativement
'
'
'   Chéneaux - liste de noeuds de l'enveloppe où il y a un chéneau:
'   (CHeneaux <liste_noeuds_enveloppe>)
'   Redistribution de la neige par le vent:
'   Par défaut: REDistribution AVEc
'   (REDistribution AVEc | SANS)
'   Coefficient multiplicateur de charges
'   Par défaut: Coefficient = 1
'   (COEfficient <valeur_du_coefficient> _
'   (ELEments <liste_éléments_enveloppe | TOUs))
'   Les commandes supplémentaires pour la norme ASCE 7-88 ANSI A58.1
'   Coefficient thermique
'   Par défaut: THERmique = 1.0
'   (THERmique 1.0 | 1.1 | 1.2 )
'
' REMARQUE: Deux groupes contenant respectivement le groupe $VENT -
'   tous les cas de charge provenant du vent et le groupe $NEIGE - tous
'   les cas de charge provenant de la neige, sont générés automatiquement.
;NV FIN ' Désactivation du module "Neige et Vent"
'
'-----<BLOC NEIGE ET VENT POUR LES PYLONES>-----
;NV PYLône '<<- activation de la génération de charges sur les pylônes
' PARTIE PRINCIPALE:
' Norme nationale:
' »NV65» FRANCE
    
```

```

' »EDF»          FRANCE
' »EIA»          FRANCE
'               Par défaut: norme des PREFERENCES
' ( NORme [ »NV65» | »EDF» | »EIA» ] )
'               Liaison des charges climatiques aux noeuds ou aux barres de l'enveloppe:
'               Par défaut: liaison barres
' ( LIAison [ NOEuds | BARres ] )
'               La définition de la caractéristique dynamique de structure:
'               Par défaut: PERiode = 0 [ s ]
'                       PULsation = 0 [ deg/s ]
'                       FREquence = 0 [ 1/s ]
'                       AMOrtissement = 0.01
' ( DYNamique [ [ PERiode <valeur> | _
'               PULsation <valeur> | _
'               FREquence <valeur> ] _
'               AMOrtissement <valeur> ] )
'               Par défaut: direction automatique
' { DIRection [ AUTomatique [REGlementaire/TOUs] ] | _
'               [ »<nom_direction>» X=<valeur_x> Y=<valeur_y> Z=<valeur_z> ] }
' { SURface »<nom_surface>» AIRe=<valeur_aire> (AZImuth = <azimuth> ) _
'               (ELEvation = <elevation>) (COEfficient = <coef> ) _
'               [ NOEuds <liste_noeuds> | BARres <liste_barres> ] }
'
' <<----norme NV65
'               Région de la carte des vents NV 65:
'               Par défaut: région 2
' ( REGion 1 | 2 | 3 | 4 )
'               Détermination du coefficient de givrage des éléments de structure
'               Par défaut: givre=0.3
' ( GIVre < coefficient_ givre > )
'               Détermination du type de vent
'               Par défaut: vent normal
' ( VENT [ NORmal | EXTrême ] )
'               Par défaut: delta automatique
' ( DELta [ <valeur_delta> | AUTomatique ] )
'               Type de site à considérer vis-à-vis des vents:
'               Par défaut: site normal
' ( SITE [ NORmal | EXPosé | PROtégé ] )
'               Type de pression en fonction de l'altitude: VARIABLE ou CONSTANTE
'               ou pression de base
'               Par défaut: pression constante
' ( PREssion [ VARIable | CONStante | <pression_de_base> ] )
'
'
'               Altitude de la construction:
'               Par défaut: ALTitude =hauteur de la structure
' ( ALTitude <valeur_altitude> )
'               Coefficient multiplicateur de charges
'               Par défaut: coefficient=1
' ( COEfficient <valeur_coefficient> )
'
' <<----norme EIA
'               Détermination du type de vent
'               Par défaut: vent normal
' ( VENT [ NORmal | EXTrême ] )
'               Région de la carte des vents EIA
'               Par défaut: région 70
' ( REGion 70 | 80 | 90 | 100 | 110 )
'               Type de site à considérer vis-à-vis des vents
'               Par défaut: site A
' ( SITE [ A | B | C | D ] )
'               Type de pression en fonction de l'altitude: VARIABLE ou CONSTANTE
'               ou pression de base
'               Par défaut: pression constante
' ( PREssion [ VARIable | CONStante | <pression_de_base> ] )
'               Altitude de la construction:
'               Par défaut: ALTitude =hauteur de la structure
' ( ALTitude < valeur_altitude > )
'               Coefficient multiplicateur de charges

```

```

'      Par défaut: coefficient=1
' ( COEfficient <valeur_coefficient> )
'      Par défaut: importance I
' ( IMPortance [ I | II | III | IV ] )
'      Définition de la vitesse du vent
'      Par défaut: vitesse=0
' ( VITesse <valeur_vitesse_du_vent> )
'
'
' <<----norme EDF
'      Coefficient multiplicateur de charges
'      Par défaut: coefficient=1
' ( COEfficient <valeur_du_coefficient> )
'      Par défaut: pression=120 daN/m2
' ( PREssion < valeur_pression > )

;NV FIN      ' Désactivation du module "Neige et Vent" pour les pylônes

' pour ROBOT Millennium
'-----<BLOC NEIGE ET VENT POUR LES PYLONES DE HAUTE TENSION>-----
;NV Pylônes  ' <<- active le bloc neige et vent pour les pylônes de haute tension
' PARTIE PRINCIPALE :
'      Normes nationales :
'      "NV65 + Carte 96"          FRANCE
'      "NV65 / N84 Mod. 96"      FRANCE
'      Par défaut : norme sélectionnée dans les PREFERENCES
' ( NORme "<nom_de_la_norme>" )
'      Définition de la méthode
'      Par défaut : METHode GLOBale
' ( METHode [GLOBale | DETaillée | SOMmation] )
'      Définition des directions de vent prises en compte lors de la génération
'      Par défaut : DIRections REGLémentaires
' ( DIRections [REGLémentaires | TOUtes] )
'      Affectation des charges de neige et vent aux noeuds ou aux barres de la structure
'      Par défaut : CHArges næuds

' (LIAison [ NOEuds | BARres ] )
'      Définition de la région de vent
'      Par défaut : REGion I
' ( REGion I | II | III | IV )
'      Définition du type de vent
'      Par défaut : VENt NORMal
' ( VENt [ NORMal | EXTrême ] )
'      Définition du site
'      Par défaut : SITE NORMal
' ( SITE [ NORMal | EXPosé | PROtégré ] )
'      Prise en compte de la pression constante (jausqu'à la hauteur de 10m) dans le littoral
' ( LITtoral )
'      Définition du type et de la valeur de la pression le long de la hauteur des segments
'      Par défaut : PREssion VARiable AUTomatique
' ( PREssion [VARiable | CONStante ] [AUTomatique | <pression_de_base> | VITesse <valeur_de_la_vitesse>] )
'      Définition de la hauteur de calcul de structure:
'      Par défaut : ALTitude=hauteur de la structure
' ( ALTitude <valeur_de_la_hauteur> )
'      Définition du coefficient multiplicateur pour la pression
'      Par défaut : COEfficient=1
' ( COEfficient <valeur_du_coefficient> )
'      Définition des caractéristiques dynamiques de la structure:

```

```

'      Par défaut :PERiode = aucune (on prend BETA de la définition du tronçon)
' (DYNamique [PERiode <valeur_de_la_période> ])
'      Définition du phénomène de givre
'      Par défaut :Absence de givre
'      <épaisseur du givre> = 2cm, COEfficient = 1.0
' (GIVre (= <épaisseur du givre>) (COEfficient = <coefficient de pression>))
'      Définition du tronçon
'      Par défaut : DELta -calculé automatiquement
' {TRONçon "<nom du tronçon>" HAUteur = <hauteur_du_tronçon> (BETA = <beta>) (DELta = <delta>)}
'      Définition des surfaces additionnelles sollicitées par le vent
'      Par défaut : REPartition = 1.0 pour la liste entière
'      DELta - pris du tronçon le plus bas sur lequel les charges sont transférées
' {SURface "<nom_de_la_surface>" AIRE=<aire_de_surface> _
'      CT = <valeur_de_ct> (DELta = <valeur_de_delta>) _
'      TRAnsferer [NOEuds <liste_de_noeuds> | BARres <liste_de_barres>] _
'      (REPartition = {<coefficients_de_répartition>})

;NV FIN      ' fin du bloc neige et vent pour les pylônes de haute tension

```

```

'-----<BLOC PONDERATIONS>-----

```

```

;PONdérations réglementaires  '<<-- activation du module "ROBOT PONDERATIONS"
'      Définition du type de règlement:
'      pour la FRANCE
'      1 CM66 pour les charpentes métalliques
'      2 AL76 pour l'aluminium
'      3 BAEL83 pour le béton armé
'      4 CB71 pour le bois
'      Par défaut: premier règlement: des PREFERENCES (R_NORM.CFG)
' (REGlement <no_règlement> | <<nom_règlement>>)

'
'      Définition des groupes "pondérationnels" des charges.
'      ATTENTION: Ne pas confondre ces groupes avec les groupes
'      au sens de ROBOT
' (GROUpe <no_groupe> [sous_ensemble] ((OU) [sous_ensemble]) )
'      où [sous_ensemble] <=>
' <liste_cas> / Groupe <no_groupe> (COEfficient=<valeur>)
'      Définition des natures des charges.

'      ATTENTION: Les natures des charges sont définies dans les fichiers
'      réglementaires avec leurs mots-clés et dépendent
'      de la norme nationale appliquée
'      natures des charges pour la FRANCE:
'      les charges permanentes (PER)
'      les effets de la température (TEM)
'      les charges d'exploitation (EXP)
'      les charges dues au vent (VEN)
'      les surcharges dues à la neige (NEI)
'      les effets d'un séisme (SEI) ou les surcharges accidentelles (ACC)
' (CHArges | SURcharges) [nature_charge] ( (DIFFérent | EXClusion) _
' <liste_cas> | [sous_ensemble] { (OU) [sous_ensemble] } )
'      où [sous_ensemble] <=>
' <liste_cas> / Groupe <no_groupe> (COEfficient=<valeur>)
'      ou
' (CHArges | SURcharges) [nature_charge] EXTrême <valeur>
'      Sélection des noeuds, des éléments barres ou des éléments finis
'      à traiter pour les combinaisons
' NOEuds | BARres | ELEments (<liste_noeuds_ou_éléments> | TOUt)
'      Déclaration des coefficients de dégression
' (DEGression <coefficient> <liste_noeuds_ou_éléments> _
'      {[CHArges | SURcharges] ([nature_charge])} )
'      Sélection des éléments et des noeuds à traiter pour les combinaisons

```

```

'      Mots-clés :
'      ULS : (ALIAS) : ELU : EXT : NOR
'      SLS : (ALIAS) : ELS : DEP
'      ALS : (ALIAS) : ACC : SIS
'      SPC : (ALIAS) : SPE : FEU
'      correspondent directement aux parties 1; 2; 3; 4 du fichier réglementaire.
' CALcul (EFForts) (REActions) (CONtraintes) (DETailées) _
' (NORmale / EXTrême / SEIsme / [DEPlacements | FLEche]) _
' | (ELS / ELU / ACCidentelle / SPEciale / [DEPlacements | FLEche]) _
' ( COMplete ) (SUR ORIGine / EXTrémité / <nb_de_points> POInts )
' Sélection des résultats (sans intérêt dans la V6)
' (RESultats (INDividuels | ASSociés | GLObaux) (SANs) )
    
```

```

;AUTres pondérations      '<<-- ouverture d'un nouveau bloc de définition des pondérations
'      ATTENTION: Les listes des éléments dans les blocs de définition
'      ne peuvent pas contenir les mêmes éléments!
    
```

```

;PONdérations FIN      '<<--fermeture du bloc de pondérations
    
```

```

;      ATTENTION : les options inactives dans Robot Millennium sont présentées en italiques et soulignées.
    
```

```

'-----<OPTIONS DE CALCUL>-----
    
```

'Le principe dans l'introduction des cas de charge est une interprétation linéaire de leur apparition dans

'le fichier texte. Cela signifie que tous les cas de charge et toutes les combinaisons apparaissent après

'la commande qui détermine le type d'analyse seront calculés selon ce type. Par défaut tous les paramètres

'de calcul sont pris d'après les Préférences. Les exceptions sont marquées formellement.

```

;ANalyse (STATique) LINéaire (ITERation)
    
```

```

'<<--Pour les cas (statiques) et les combinaisons introduits après la
commande
    
```

```

'      sera appliquée une méthode linéaire.
    
```

```

; ITERation - l'activation du solveur itératif pour l'analyse de la structure
    
```

```

'-----<INCREMENTALE>-----
    
```

```

;ANalyse (STATique) (LINéaire) INCrémentale (TOLérance=<t>) (MAXitér=<limite>)
    
```

```

'<<--Pour les cas (statiques) et les combinaisons introduits après la
commande
    
```

```

'      sera appliquée une méthode incrémentale.
    
```

```

'-----<FLAMBEMENT>-----
    
```

```

;ANalyse (STATique) (LINéaire) FLAmbement (TOLérance=<t>) (MAXitér=<limite>)
(MODEs=<n>) _
    
```

```

;      (VERification INActive)
    
```

```

;      où :
    
```

```

;      VERification - activation de la vérification de Sturm
    
```

```

'<<--Pour les cas (statiques) et les combinaisons introduits après la commande
    
```

```

'      sera appliquée une méthode de calcul avec une prise en compte de flambement.
    
```

```

'-----<NON-LINEAIRE>-----
    
```

```

;ANalyse (STATique) [bloc_non-linéaire] (TOLérance=<t>) (MAXitér=<limite>) (DIVisions=<d>) (SAUver=<s>)
    
```

```

'<<--Pour les cas (statiques) et les combinaisons introduits après la
commande
    
```

```

'      sera appliquée une méthode non-linéaire.
    
```

```

'-----<FLAMBEMENT NON-LINEAIRE>-----
    
```

```

;ANalyse (STATique) [bloc_non-linéaire] FLAmbement | (INCrémental) (TOLérance=<t>)
(MAXitér=<lim>) _
;      (MODEs=<n>) (DIVisions=<d>) (SAUver=<s>) _
    
```

```

;      (VERification INActive)
;      où :
;      VERification - activation de la vérification de Sturm
;          ' <<--Pour les cas (statiques) et les combinaisons introduits après la commande
;            sera appliquée une méthode de calcul avec une prise en compte de flambement.
;          où [bloc_non-linéaire]
;          <=> [NONlinéaire | PDElta | PLAsticité]
;          ou
;          <=> NONlinéaire [PDElta | PLAsticité]
;          ou
;          <=> NONlinéaire PDElta PLAsticité
;          ou
;          <=> PLAsticité PDElta

;          ' ATTENTION: Les options SAUver et PLAsticité sont inopérantes pour le calcul.

'-----<DYNAMIQUE MODALE>-----
;(ANALyse) DYNAmique (MODes=<mo>) (TOLérance=<t>) (MAXItér=<limite>) _
;      (MASses = COHérentes | CONNtrées (ROTatives)) (ACCélération=<ac>)_
;      (PARTicipantes=<%_somme_masses>) _
;      (LIMite [FREquence | PERiode | PULsation] = <valeur_limite> ) _
;      (METHode REDUction | ITERation | LANczos) (VERification INActive)_
;      (TYPe MODal | SISmique | PSEudomodal)_
;      (NEGtigr DENsité)

;      où :
;      VERification - activation de la vérification de Sturm
'<<-- Pour les cas (dynamiques) définis après cette commande
;          ' le problème propre est défini. Ces cas devraient être donnés
;          ' dans un format approprié (indiqué ci-dessous). Dans le cas de leur absence
;          ' un cas singulier est généré.
;          ' ATTENTION: Pour le MODe SISmique, seule la METHode LANczos est admise
;          ' Pour le TYPe PSEudomodal seule la METHode LANczos est admise
;          ' ou bien celle de la REDUction de la base
;          ' Pour la METHode LANczos seule la matrice de MASSes COHérentes est admise
;          ' ou bien CONNtrées avec ROTations
;          ' Pour la METHode de la REDUction de la base, on ne peut pas définir
;          ' ni LIMites ni PARTICipation
;          ' On ne peut pas définir simultanément LIMites et PARTICipation
;          ' Par défaut: TYPe = MODal; METHode=PREFERENCES; MASSes = PREFERENCES
;          ' TOLérance = PREFERENCES; MAXItér = = PREFERENCES
;          ' MODes = PREFERENCES; ACCélération = 9.80665 m/s*s
;          ' PARTICipation = 0; LIMit = 0

'-----<SISMIQUE – PS 69>-----
;(ANALyse) SISmique (NORme "PS 69")
;      (ALpha=<coeff_intensité_sismique>) (DELta=<coeff_fondation>)
;      (AMOrtissement=[NORmal | MOYen | FAIBle])
;      (SOL=COUrant | MEUble)
;          ' <<-- Pour les cas (dynamiques) introduits après cette commande
;          ' l'analyse sismique est définie. Ces cas doivent être donnés
;          ' en format correspondant (donné ultérieurement).
;          ' ATTENTION: Analyse SISmique ou bien SPEctrale doit être précédée
;          ' par l'analyse DYNAmique modale dont elle utilise les résultats
;          ' Par défaut:
;          ' Alpha=1;
;          ' DELta=1;
;          ' AMOrtissement=NORmal;
;          ' SOL=COUrant;

'-----<SISMIQUE - AFPS>-----
;(ANALyse) SISmique NORme "AFPS"
;      (ZOne = IA | IB | II | III )
;      (OUVrage = A | B | C)
;      (SIté = 0 | 1 | 2 | 3)
;      TOpo = <tangente_angle_pente>
;      AMOrtissement = <valeur>

```

```

; (COMportement = <coeff>)
; (SPEctre = DIMensionnement | ELAstique )
; (SEns = Horizontal | Vertical)
; (ACCélération=<ac>)
'<<-- Pour les cas (dynamiques) mentionnés après cette commande
' on définit l'analyse sismique selon AFPS90.
' Ces cas doivent être donnés en format correspondant (indiqué plus loin).
' ATTENTION: Analyse SISmique ou bien SPEctrale doit être précédée
' par l'analyse DYNamique modale dont elle utilise les résultats
' Par défaut:
'     ZONe=IA;
'     OUVrage=A;
'     COMportement=1;
'     SPEctre =ELAstique;
'     SEns=Horizontal
'-----<SISMIQUE – PS92>-----
;(ANALyse) SISmique NORme "PS92"
; (ZONe = IA | IB | II | III )
; (OUVrage = A | B | C)
; (SITE = 0 | 1 | 2 | 3)
; TOp = <tangente_angle_pente>
; AMOrtissement = <valeur>
; (COMportement = <coeff>)
; (SPEctre = DIMensionnement | ELAstique )
; (SEns = Horizontal | Vertical)
'<<-- Pour les cas (dynamiques) définis après cette commande,
' on définit l'analyse sismique selon PS92.
' Ces cas devraient être donnés en format correspondant (indiqué plus loin).
' ATTENTION: Analyse SISmique ou bien SPEctrale doit être précédée
' par l'analyse DYNamique modale dont elle utilise les résultats
' Par défaut:
'     ZONe=IA;
'     OUVrage=A;
'     COMportement=1;
'     SPEctre = ELAstique;
'     SENs = Horizontal;
'-----<UBC97>-----
;(ANALyse) SISmique NORme "UBC97"
; (ZOne = [I | II A | II B | III | IV])
; (SOL = [SA | SB | SC | SD | SE])
; (SOUrce sismique=[A | B | C])
; (DIsTance = <distance>)
'<<-- Pour les cas (dynamiques) mentionnés après la commande
' on définit l'analyse sismique selon UBC97.
' Ces cas doivent être donnés en format correspondant (indiqué plus loin).
' ATTENTION: Analyse SISmique ou bien SPEctrale doit être précédée
' par l'analyse DYNamique modale dont elle utilise les résultats
' Par défaut :
'     ZONe = 1
'     SOL = SA
'     SOUrce = A
'     DIStance = 2.0
'-----<SISMIQUE – RPA88>-----
;(ANALyse) SISmique NORme "RPA88"
; (ZONe = [I | II | III])
; (USAge = [ 1 | 2 | 3 | ])
; (CATégorie = [ 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 ])
; (QUALité = <qualité>)
; (SOL = [COUrant | MEUble ])
'<<-- Pour les cas (dynamiques) mentionnés après la commande

```

```

' on définit l'analyse sismique selon RPA88.
' Ces cas doivent être donnés en format correspondant (indiqué plus loin).
' ATTENTION: Analyse SISmique ou bien SPEctrale doit être précédée
' par l'analyse DYNamique modale dont elle utilise les résultats
'
' Par défaut:
' ZONe = 1
' USAge = 1
' CATégorie = 1
' QUALité = 1.0
' SOL = COUrant

```

```

'-----<SISMIQUE - DM96>-----
;(ANALyse) SISmique NORme "DM96"
; (PROtection = [1 | 12 | 14])
; (SISMicité = <sismicité>)
;
;
; Par défaut :
; PROtection = 1
; SISMicité = 9
;

'-----<SPECTRALE>-----
;(ANALyse) SPEctrale
; { [définition_spectre] }
' où description du spectre d'excitation:
' [définition_spectre] <=>
; AMOrtissement=<valeur>
; (LOG) FREquence | PERiode | PULsation (LOG) ACCélération | VITesse | DEPlacement
; { <yi> <xi> }
' <<-- Pour les cas (dynamiques) introduits après cette commande est définie
' l'analyse spectrale. Ces cas doivent être donnés en format
' correspondant (donné ultérieurement).
' ATTENTION: Analyse SISmique ou bien SPEctrale doit être précédée
' par l'analyse DYNamique modale dont elle utilise les résultats

```

```

'-----
'
' FORMAT DU CAS DYNAMIQUE
'
' Syntaxe pour les cas modaux et harmoniques:
' CAS (#<no_cas>) <nom_cas>
'
' Définition des masses ajoutées LOCALES:
' (MASses ajoutées
' <liste_noeuds> [F=<f>]
' MASses NOEuds
' <liste_noeuds> [F=<f>]
' MASses ELEments
' <liste_éléments> [X=<x>] [F=<f>] | [X=<x1> P=<p1>] JU [X=<x2> P=<p2>] _
' (RELatif)
' MASses ACTiver [X / Y / Z]
' [X | Y | Z] ( MOins | Plus) <liste_cas> (COEfficient=<c>)
' MASses FIN )
'
' Définition de base pour la méthode de réduction
' <liste des noeuds> [ U ] ; (seulement les degrés de liberté de translation)
'
'
' Syntaxe pour les cas sismiques et spectraux:
' Définition des masses ajoutées LOCALES:
' MASses (NOEuds)
' <liste_noeuds> [F =<f>]
' MASses FIN
' DIRection = <no_direction_action> <vecteur_1> <vecteur_2> (<vecteur_3>)
'
' NORMALISATION ACTIVE
'
' MODes <nombre_modes> _
' (AMOrtissement = <valeur>) ;analyse spectrale seulement
'
'

```

```

-----<HARMONIQUE>-----
: (ANALyse) HARMonique (MASses = COHérentes | CONcentrées (ROTatives))
:   FREquence | PERiode | PULsation = <valeur>
:   (ACCélération=<ac>)
:   ' <<-- Pour les cas (dynamiques) introduits après cette commande est définie
:     ' l'analyse harmonique. Ces cas doivent être donnés en format
:     ' des cas statiques avec la possibilité de donner des masses locales
:     ' (voir: FORMAT DU CAS DYNAMIQUE).
:     ' Par défaut: MASses=PREFERENCES; ACCélération=9.80665 m/s*s
    
```

; ATTENTION : Les options *mises en italiques et soulignées* ne fonctionnent pas ; dans la version 13.0 et suivantes de Robot Millennium.

```

-----<TEMPORELLE>-----
' Méthode de Newmark
: (ANALyse) TEMporelle (METHode NEWmark)(MASses = COHérentes | CONcentrées (ROTatives))
:   (ACCélération=<ac>)
:   (FIN=<t>) (DT=<dt>) (DIVision=<div>) (Alpha=<a>) (Bêta=<b>)
:   ' Méthode de décomposition modale
: (ANALyse) TEMporelle (METHode DEComposition)(MASses = COHérentes | CONcentrées ROTatives)
:   (ACCélération=<ac>)
:   (FIN=<t>) (DT=<dt>) (DIVision=<div>)
:   NOEuds <<--- saisie d'une liste de noeuds pour lesquels seront accessibles les résultats
:     de l'analyse temporelle
:   /<liste noeuds> / TOUT} ; dans la version Robot Millemium, la liste de noeuds est ignorée
:   ELEments <<--- saisie d'une liste d'éléments pour lesquels seront accessibles les résultats
:     de l'analyse temporelle
:   /<liste éléments> / TOUT} ; dans la version Robot Millemium, la liste d'éléments est ignorée
:   Par défaut: MASses = PREFERENCES
:               ACCeleration = 9.80665 m/s*s
:               DIVision = PREFERENCES
:               Alpha = Beta = 0.0
    
```

```

-----
:   ' FORMAT DU CAS TEMPOREL
:   '   Syntaxe pour les cas temporels:
:   ' [ CAS] (#<no_cas>) <nom_cas>
:   '
:   '   Définition des masses ajoutées LOCALES:
:   ' (MASses ajoutées
:   '   <liste_noeuds> [F=<f>]
:   ' MASses NOEuds
:   '   <liste_noeuds> [F=<f>]
:   ' MASses ELEments
:   '   <liste_éléments> [X=<x>] [F=<f>] | [X=<x1> P=<p1>] JU [X=<x2> P=<p2>] _
:   '   (RELatif)
:   ' MASses ACTiver [X / Y / Z]
:   ' [X | Y | Z] ( MOins | PLus ) <liste_cas> (COEfficient=<c>)
:   ' MASses FIN )
:   '
:   ' Robot V6
:   ' { <temps_application_charge> { <no_cas> [ <coefficient_charge> / «<définition_fonction>« } ] }
:   '
:   ' Robot Millennium
:   ' BAsE <n° de cas> ( <coefficient> ) (DEBut <instant du début de la sollicitation> )
:   ' { <valeur_variable_temporelle> [ <valeur_fonction> / «<définition_fonction>« } ] }
:   ' Attention: la syntaxe de Robot V6 est également acceptée de façon automatique
:   '
:   ' o ù :
:   ' BAsE - numéro du cas de charge pour lequel la fonction des variations dans le temps est définie
:   ' <coefficient> - valeur du coefficient par lequel les valeurs des charges seront multipliées
    
```

' <instant_début_de_la_sollicitation > - instant à partir duquel la fonction de la variation dans le temps sera prise en compte.

' <valeur_variable_temporelle> - valeurs pour les instants successifs

' <valeur_fonction> - valeur de la fonction du temps pour les instants successifs

' <définition_fonction> - valeur de la fonction du temps enregistrée sous la forme d'une expression

' algébrique

' AMortissement ; seulement pour la méthode de décomposition

' {<no_du_mode> <valeur_d'amortissement>}

-----<MOBILE>-----

; (ANALyse) MOBILE

```
; ( { CONvoi <nom_convoi> (LARgeur <largeur_convoi_1> ( <largeur_convoi_2> _
; <largeur_convoi_3> <largeur_convoi_4> <largeur_convoi_5>))
; {F=<valeur_charge_concentrée> DISTance <distance_essieu> _
; (LARgeur <largeur_convoi_1>) ( <largeur_convoi_2> _
; <largeur_convoi_3> <largeur_convoi_4> <largeur_convoi_5>)) }
; {PREssion=<densité_force_repartie> DX=<longueur> DY=<largeur> _
; DISTance=<distance_d'origine> _
; (LARgeur <largeur_convoi_1>) ( <largeur_convoi_2> _
; <largeur_convoi_3> <largeur_convoi_4> <largeur_convoi_5>)) }
;
; })
```

'<<-- Les cas (mobiles) introduits après cette commande seront transformés en n cas statiques.

'FORMAT DU CAS POUR L'ANALYSE DE CHARGES ROULANTES

' Par défaut: CONvoi=REFERENCES; PLAN=AUTomatique

' Syntaxe :

```
' CAS (#<no_cas>) <nom_cas>
' CONvoi = <nom_convoi> _
' DIRection <x_vecteur>/<y_vecteur>/<z_vecteur> _
' COEfficient=<coef>
' PAS = <pas_déplacement_convoi>
' (PLAN AUTomatique | <liste_éléments>)
```

```
' ROUTe {(Gamma = <angle_gamma> | Noeud=<no_noeud> | [X=<x>]) _
' (VD = <coefficient_pour_la_force_verticale_droite>) _
' (VG = <coefficient_pour_la_force_verticale_gauche>) _
' (HD = <coefficient_pour_la_force_horizontale_droite>) _
' (HG = <coefficient_pour_la_force_horizontale_gauche>) _
' (LD = <coefficient_pour_la_force_transversale_droite>) _
' (LG = <coefficient_pour_la_force_transversale_gauche>) _
' NOEuds <liste_noeuds> | _
' ELEments <liste_éléments> | _
' POInts [X=<x>] }
```

-----<BLOC COMBINAISONS>-----

;COMbinaison

```
' <<-- active les combinaisons de cas simples
' syntaxe:
' COMbinaison (#<no_combinaison>) (<titre_combinaison>)
' <<-- SPECIFIER LES DIVERSES COMBINAISONS
' syntaxe:
' ([ELU | ELS | ACCidentale | SPEciale] / QUAdratique) _
' {<no_cas> , <coefficient_multiplificateur>}
' ou pour les combinaisons entre les phases:
' PHAses {<numéro_de_phase>, <numéro_de_cas>, <coefficient_multiplificateur>}
```

-----<GESTION DES SORTIES>-----

; SORTie

```
' <<-- activation du module "SORTIE"
' les commandes générales peuvent apparaître dans un endroit quelconque
' du bloc, n'importe quel nombre de fois.
' Par défaut: Si la commande n'a pas été utilisée, l'ensemble des
' options de REFERENCES est appliqué.
' ATTENTION: L'utilisation de ces commandes change les valeurs dans la
```

```

' préférence actuelle.
' syntaxe:

; ATTENTION : si le bloc DIMENSIONNEMENT a été activé, la commande SORTIE
; est exécutée de façon automatique, elle ne doit pas être utilisée
; dans le fichier texte.

; ATTENTION : Les options mises en italiques et soulignées ne fonctionnent pas
; dans la version 13.0 et suivantes de Robot Millennium.

; (EXE "<nom_de_l'application>") ' <<--lors de l'insertion du modèle, l'application
; "nom de l'application" est lancée automatiquement. Si la syntaxe est
utilisée dans le bloc
; DIMensionnement, l'application est lancée synchroniquement avec la séquence des calculs
; de dimensionnement.
; ATTENTION : l'application doit être placée dans le dossier ROBWIN\SYSTEM\EXE .

' impression dans un fichier:
' FIChier [ <nom_fichier> (FORmat [TEXT | ASCii | EXCel | 123] ) | [0]"modèle"] FORmat IMPrimante ]
' où :
' 0 - aperçu de l'impression décrite dans le fichier texte
' "modèle" - aperçu de l'impression décrite par le modèle donné

' choix d'unités pour impression de données
' UNITés DONnées
' ( LONGueur < unité longueur > )
' ( FORce < unité force > )
' ( ANGLe < unité angle > )
' choix d'unités pour l'impression de résultats
' UNITés RESultats
' ( FORce < unité force > )
' ( MOMent < unité force > < unité longueur > )
' ( DEPlacement < unité longueur > )
' ( CONtrainte < unité force > < unité longueur > )
' ( ANGLe < unité angle > )

'
' Longueur: MM , CM ...
' Force: N , KN , KDAN , KG , TONNE, ...
' Angle: DEG, RAD, GRAD ...
' ATTENTION !!!
' L'omission du choix d'unités pour les données et résultats va provoquer la prise d'unités
' définies à l'aide de la commande UNITés au début du fichier de données.

' format des données:
' PRÉsentation [ EXPONENTielle | DECimale] (COLonnes <nombre_colonnes>)
(VIRgule { [LONGueur | _
' FORces | DEPlacements | RESultats | MOMents | CONtraintes | ANGLES |
' <nombre_de_chiffres_après_virgule>})
' ATTENTION: les COLonnes mettent une virgule décimale deux chiffres après virgule

' imprimante logique de la CONFIGURATION:
' IMPrimante <nom_imprimante_logique>

' nouvelle base de la numérotation des pages:
' PAGE <no_page>

' mise en page et type d'impression
' EDITION [ PAGinée | CONTinue ] (RECTo (VERso))

' saut de page
' SAUT

' qualité de l'impression:
' BROuillon / SOIgné]
'-----fin des commandes générales-----

```

```

;ENTrée          '<<- activation du module "ENTREE"
                 ' définitions des noeuds:
                 ' (<liste_noeuds>) NOEuds (Irepère) (RIGides) (COMpatibles) (APPuis) (APPuis VALeurs) _
                 ' (EMÉteurs) (<description_du_tableau>)
                 '
                 ' définitions des éléments:
                 ' (<liste_éléments>) ELEments (BARres / SURfaciques / VOLumiques) (LONgueur) _
                 ' (MATériaux) (RELâchements) (CARactéristiques) (GAMma) (EXCentrements)
                 ' (TYPE) (MATériau VALeurs) (RELâchements VALeurs) (<description_du_tableau>)
                 '
                 ' caractéristiques mécaniques:
                 ' (<liste_éléments>) CARactéristiques (ELEments) (MATériaux) (MATériaux VALeurs) | (SECTIONS) _
                 ' (SURfacique | | BASE / DIMensions / CISaillement / POIds / CAIsson / _
                 ' ISYmétrique / IDIssymétrique / TUBE / RECTangulaire / MOIsée / CROix] ) _
                 ' (<description_du_tableau>)
                 '
                 ' météré:
                 ' (<liste_éléments>) METré (APS | PIEces) (CUBage)
                 '
                 ' définitions des appuis:
                 ' APPuis (ELAstiques / INclinés)
                 '
                 ' changements appliqués:
                 ' (<liste_cas>) CHArgements (NOEuds) (ELEments) _
                 ' (DYNamiques) (NV) (PONdérations) (MOBile) (COMbinations)
                 '
                 ' ensemble des données:
                 ' DONne (NOEuds) (ELEments) _
                 ' (CARactéristiques) (METré) (APPuis) (CHArgements)
                 '
                 ' fichier texte avec le projet en cours:
                 ' TEXTE

```

```

;RESultats      ; <- Activation du module de résultats
                 ' Commandes générales:
                 ' /ORDre [CAS ELEments / CAS NOEuds / ELEments CAS / NOEuds CAS]]
                 ' /LIGnes <n premières lignes> /-<n dernières lignes]

```

```

' { REActions [F] (DDC) _
' ( NOEuds <liste_noeuds> ) _
' (CAS Description) _
' { CAS [<liste_cas> | SIMples | COMBinaisons (ELU | ELS | ACCidentelle | SPECiale) ] _
' PONDération (ELU | ELS | ACCidentelle | SPECiale) } ] _
' ( MODes ( < liste_ modes > ) / [ SRSS | CQC | DM ] ) _
' ( VERification ) ( RESidus ) _
' ( REPère [ LOCAL | ] GLOBAL ] ) _
' ( EXTrêmes [ LOcaux | GLOBaux ( EXclusif ) ] ) _
' ( TRI | CROissant | DECroissant | ARBitraire | ] FX | FY | FZ | MX | MY | MZ ] ) (<description_
' du_tableau>)
' }

' Par défaut:
' ORDre CAS NOEuds
' FX FY FZ MX MY MZ
' VERification RESidus
' REPère GLOBAL
' sans extrêmes
' NOEuds TOUs
' CAS TOUs
' MODes TOUs

' { DEPlacements [U] _
' ( NOEuds <liste_noeuds> ) _
' (CAS Description) _
' { CAS [<liste_cas> | SIMples | COMBinaisons (ELU | ELS | ACCidentelle | SPECiale) ] _
' PONDération (ELU | ELS | ACCidentelle | SPECiale) } ] _
' ( EXTrêmes [ LOcaux | ] GLOBaux ( EXclusif ) ] ) _
' ( MODes ( < liste_ modes> ) / [ SRSS | CQC | DM ] ) _

```

```

' ( TRI | CROissant | DECroissant | ARBitraire ] [ UX | UY | UZ | RX | RY | RZ ] ) (<description_
' du_tableau>
' }
' Par défaut:
' ORDre CAS ELEments
' UX UY UZ RX RY RZ
' NOEuds TOUs
' CAS TOUs
' sans extrêmes
' MODes TOUs

' { EFForts [F] _
' ( ELEments <liste_éléments> ) _
' ( CAS DESCRIPTION ) _
' { CAS [ <liste_cas> | SIMples | COMBinaisons ( ELU | ELS | ACCidentelle | SPECiale ) | _
' PONDération ( ELU | ELS | ACCidentelle | SPECiale ) ] } _
' ( EXTrêmes [ LOCaux | [ GLOBaux ( EXclusif ) ] ] _
' ( MODes ( < liste_modes> ) / [ SRSS | CQC | DM ] ) _
' ( SUR <n_points> ) _
' ( TRI | CROissant | DECroissant | ARBitraire ] [ FX | FY | FZ | MX | MY | MZ ] ) (<description_
' du_tableau>
' }
' Par défaut:
' ORDre CAS ELEments
' FX FY FZ MX MY MZ
' ELEments TOUs
' CAS TOUs
' sans extrêmes
' MODes TOUs
' SUR 2 points

' { FLEches (MAX) [ UX / UY / UZ ] _
' ( ELEments <liste_éléments> ) _
' ( CAS DESCRIPTION ) _
' { CAS [ <liste_cas> | SIMples | COMBinaisons ( ELU | ELS | ACCidentelle | SPECiale ) | _
' PONDération ( ELU | ELS | ACCidentelle | SPECiale ) ] } _
' ( EXTrêmes [ LOCaux | [ GLOBaux ( EXclusif ) ] ] _
' ( MODes ( < liste_modes> ) / [ SRSS | CQC | DM ] ) _
' ( SUR <n_points> ) _

' ( TRI | CROissant | DECroissant | ARBitraire ] [ UX | UY | UZ | RX | RY | RZ ] ) (<description_
' du_tableau>
' }
' Par défaut:
' ORDre CAS ELEments
' UX UY UZ RX RY RZ
' ELEments TOUs
' CAS TOUs
' sans extrêmes
' MODes TOUs
' SUR 2 points

' { CONTRaintes ( NORmales | CISaillage | TORSion ) _
' ( ELEments <liste_éléments> ) _
' ( CAS DESCRIPTION ) _
' { CAS [ <liste_cas> | SIMples | COMBinaisons ( ELU | ELS | ACCidentelle | SPECiale ) | _
' PONDération ( ELU | ELS | ACCidentelle | SPECiale ) ] } _
' ( EXTrêmes [ LOCaux | [ GLOBaux ( EXclusif ) ] ] _
' ( MODes ( < liste_modes> ) / [ SRSS | CQC | DM ] ) _
' ( SUR <n_points> ) _
' ( TRI | CROissant | DECroissant | ARBitraire | EXTrême ] ) (<description_
' du_tableau>
' }
' Par défaut:
' ORDre CAS ELEments
' NORmaux
' ELEments TOUs
' CAS TOUs
' sans extrêmes
' MODes TOUs
' SUR 2 points

' { DYNamique _

```



```
' ( [ SOMme (MASses) / COEfficient (PARTicipation) / EIGenvalues ] | _
' [ VECteurs (PROpres) | PSEudostatiques ] ) _
' ( NOEUds <liste_noeuds > ) _
' (CAS DESCRIPTION) _
' ( CAS <liste_cas > ) _
' ( EXTrêmes [ LOCaux | [ GLOBaux ( EXClusif ) ] ] ) _
' ( MODes ( <liste_modes > ) / [ SRSS | CQC | DM ] ) (<description_
' du_tableau>)
' }
```

```
' Par défaut:
' SOMme COEfficient EIGenvalues VECteurs forces PSEudostatiques
' NOEUds TOUs
' CAS TOUs
' sans extrêmes
' MODes TOUs
```

```
' / TEMporelle
' ( [ U ] ) ( CAS <liste_cas > ) ( NOEUds <liste_noeuds > ) _
' ( EXTrêmes [ LOCaux | [ GLOBaux ( EXClusif ) ] ] ) _
' ( VITesse ) _
' ( ACCélération )
' }
```

```
' Par défaut:
' UX UY UZ RX RY RZ
' CAS TOUs
' NOEUds TOUs
' sans extrêmes
' ACCélération
```

```
' { FLAmbement _
' ( [ COEfficient (CRITique) | [FORce (CRITique) / LONGueur] | VECteurs (PROpres) ] ) _
' ( NOEUds <liste_noeuds > ) _
' ( ELEments <liste_éléments> ) _
' ( EXTrêmes [ LOCaux | [ GLOBaux ( EXClusif ) ] ] ) _
' (CAS DESCRIPTION) _
' ( CAS [<liste_cas> | SIMples | COMbinaisons] ) _
' ( MODes <liste_modes > ) (<description_
' du_tableau>)
' }
```

```
' Par défaut:
' COEfficient FORce LONGueur VECteurs
' NOEUds TOUs
' ELEments TOUs
' sans extrêmes
' CAS TOUs
' MODes TOUs
```

```
' { EF {[label]} _
' ( ELEments <liste_éléments> ) _
' (CAS DESCRIPTION) _
' { CAS [<liste_cas> | SIMples | COMbinaisons (ELU | ELS | ACCidentelle | SPECiale) ] _
' PONdération (ELU | ELS | ACCidentelle | SPECiale) } } _
' (TYPE ELEments) _
' ( EXTrêmes [ LOCaux | [ GLOBaux ( EXClusif ) ] ] ) _
' ( SURface [ SUPérieure | MOYenne | INFérieure | MAXimum | MINimum | MAX ABSolue | _
' ARBitraire <ordonnée> ] ) _
' ( DIRection [ X | Y | Z | ( X = <dir_x> / Y = <dir_y> / Z = <dir_z> ) ] ) _
' RADiale NOEud = <no_noeud> | RADiale x=<x_coor> y=<y_coor> z=<z_coor> ] (<description_
' du_tableau>)
' }
' où [label] <=>
' sxxl syyl sxy sperp smax smin salpha scisai smises sperp
```

```

'      nxxl  nyyl  nxyz      nmax  nmin  nalpha  ncisai  nmises
'      mxxl  myyl  mxyz      mmax  mmin  malpha  mcisai  mmises
'      txxl  tyyl              talpha  tcisai
'      qxxl  qyyl              qalpha  qcisai
'      wxxl              wperp
'      uxxl  uyyl
'      rxxl  ryyl  rxyz
'
'      pperp
    
```

' Par défaut:

' smises nmises mmises

' ELEMents TOUs

' CAS TOUs

' resultats pour noeuds

' sans extrêmes

' SURface, DIRection = PREFERENCES

' ATTENTION: La présentation graphique et les labels sont des équivalents
' des labels de la fenêtre des résultats EF.

```

; OÙ :
; (<description_du_tableau> <==> (TITre "<titre_du_tableau>") (NOM (FIN) "<description_avant/devant_le_tableau>"))
; TITre - titre du tableau
; NOM - note avant le tableau
; NOM FIN - note après le tableau.
    
```

' résumé de l'analyse:

' INFO

' ensemble des résultats

' TOUs

; DESSin ' <<--activation du module "ANALYSE GRAPHIQUE"

```

; ( PROjection [ XY | YZ | ZX | XYZ | 4 ] )
; ( ROTation X = <x> Y = <y> Z = <z> )
; ( APPuis )
; ( RELâchements )
; ( NUMéro [ NOEuds | ELEMents ] )
; ( SECTIONS )
; ( ÉLÉments <liste éléments> )
; ( SYMboles <1...10> )
; ( CAS <no cas> )
; ( MODes [ SRSS | CQC | <no mode> ] )
; ( SUPerposition <liste cas> )
; ( CHArgements ( VALEurs ) )
; ( RESultats [
;     TOUs |
;     DEFormation ( EXAct ) |
;     DIAgramme [ FX / FY / FZ ( VALEurs ) ]
;     [ MX / MY / MZ ( VALEurs ) ]
;     REAction [ EFForts | MOMents | VALEurs ]
    
```

-----<DIMENSIONNEMENT>-----

;DIMensionnement [ACIER | ALUMINIUM | BOIS] ' <<--activation du bloc de dimensionnement

```

' (REGlement <nom_règlement> (ELAncement <Lambda_max>))
' Normes nationales actuellement accessibles:
' "ASD", "LRFD" - USA
' »CAN/CSA», - Canade
' »SABS» - Afrique du Sud
' »EC3» - Europe
    
```



```
'
' "CM66", "ADD80"
' »EC5, »AL76», »EDF» ,»EIA» , »RCCM», "CB71" - France
' "MV103", - Espagne
' "PN90", - Pologne
' "BS5950", - Grande Bretagne
' "DIN18800" - Allemagne
' "NBN" - Belgique
' "CNR-UNI" - Italie
' »NEN 6770" - Hollande
'
' Par défaut : Norme fixée dans les Préférences, ELA=210
' REMARQUE: La norme choisie ici, doit être disponible pour les pays
' (Langues -> Normes) sélectionnés dans les Préférences
'
```

; (EXE "<nom_de_l'application>") ' <<-lors de l'insertion du modèle, l'application

; "nom de l'application" est lancée automatiquement. Si la syntaxe est

utilisée dans le bloc

; DIMensionnement, l'application est lancée synchroniquement avec la séquence des calculs
; de dimensionnement.
; ATTENTION : l'application doit être placée dans le dossier **ROBWIN\SYSTEM\EXE** .

```
' ( UNITés [ NORme | UTILisateur ] ) ;définition d'unités utilisées dans le dimensionnement
'
' { PIeCe (<nom>) <liste_de_pièces> } ;définition des pièces à dimensionner basée sur une définition
' ; existante
' ; Les pièces appartenant à la <liste_de_pièces> prendront
' ; les paramètres de dimensionnement identiques avec celles
' ; de la pièce <nom> définie préalablement
'
```

```
' <numéro_pièce> (ELEments [<liste_éléments> | <"liste_éléments_automatique">]) _
' (MATériau »<nom>») | (FD=<valeur>) _
' (CATégorie »<nom>») _
' (THERmique)
' ; FD - résistance du matériau
' ; CATégorie ne concerne pas les normes: EDF, EIA, EU5
' ; THERmique ne concerne pas les normes CM66, NEN, NBN, DIN
'
```

où :

<liste_éléments_automatique> - liste permettant la génération automatique des barres selon la syntaxe

liste / le logiciel génère autant de nouvelles superbarres que de barres incluses dans la liste :

l à10/ - 10 nouvelles superbarres sont créées (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (9) (10) (11)

l à6/ 19 à24/ - 12 nouvelles superbarres sont créées (1) (2) (3) (4) (5) (6) (19) (20) (21) (22) (23) (24)

liste /a les nouvelles super-barres sont créées à partir des chaînes des barres adjacentes listées:

l à10/a - 4 nouvelles superbarres sont créées (1 2 3) (4 5) (6 7 8) (9 10)

l à6/a 19 à24/a - 6 nouvelles superbarres sont créées (1 2) (3 4) (5 6) (19 20) (21 22) (23 24)

liste /-n le logiciel crée des nouvelles super-barres à n éléments à partir des barres successives listées (il est nécessaire d'effectuer l'analyse si le nombre de barres listées est divisible par n):

l à10/-5 - 2 nouvelles superbarres sont créées (1 2 3 4 5) (6 7 8 9 10)

l à6/-2 19 à24/-3 - 5 nouvelles superbarres sont créées (1 2) (3 4) (5 6) (19 20 21) (22 23 24)

liste /n le logiciel crée n-nouvelles superbarres à partir des barres successives listées (il est nécessaire d'effectuer l'analyse si le nombre de barres listées est divisible par n) :

l à10/5 - 5 nouvelles superbarres sont créées (1 2) (3 4) (5 6) (7 8) (9 10)

l à6/2 19 à24/3 - 5 nouvelles superbarres sont créées (1 2 3) (4 5 6) (19 20) (21 22) (23 24)

(LY=<longueur_de_pièce_en_Y> | <coef_de_long_en_Y_avec_le_signe_"-">)

(LZ=<longueur_de_pièce_en_Z> | <coef_de_long_en_Z_avec_le_signe_"-">)

(LV=<longueur_de_pièce_en_V>) ; concerne la norme EIA

Par défaut : LY=LZ= LV= longueur totale des éléments composants.

(HUMidité =<humidité>) ; relatif à la norme CB71

Par défaut : HUMidité = 0

(RESistance au feu =<durée_de_la_résistance_au_feu> _

[AUTo | VERticale | HORizontale] {(Bas) | (Haut) | (Gauche) | (Droite)} } ; relatif à la norme CB71

'explications concernant l'utilisation < no_cas_de_flambement > dans ROBOT Millennium

' Règlements : CM66, EU3, ADD80, NEN, PN80

'N° (fichier texte)	N° dans Robot Millennium	Icône
' 1	1	
' 2	2	
' 3	5déplaçable	
' 4	6déplaçable	
' 5	3	
' 6	4	
' 7	7non-déplaçable	
' 8	8non-déplaçable	
' 9	9non-déplaçable	
' 10	7déplaçable	
' 11	8déplaçable	
' 12	9déplaçable	
' 13	10	
' 14	11	
' 15	12	
' 16	1	
' 17	13 non-déplaçable	
' 18	13déplaçable	
' 19	5 non-déplaçable	
' 20	6 non-déplaçable	

' Règlements: LRFD, ASD

N° (fichier texte)	N° dans Robot Millennium	Icône
' 1	1	
' 2	2	
' 3	3	
' 4	4	
' 5	5	
' 6	6	
' 7	7non-déplaçable	
' 8	8non-déplaçable	
' 9	9non-déplaçable	
' 10	7déplaçable	
' 11	8déplaçable	
' 12	9déplaçable	
' 13	10	
' 14	11	
' 15	12	
' 16	1	
' 17	13non-déplaçable	
' 18	13déplaçable	

' (DEVersement = <no_de_cas_de_déversement_[1 | 2 | 3]> (NIVeau = <ordonnée_[-1,1]>) _
 ' (LDS = <coef_longueur_déversement_dans_aile_supérieure>) (LI = <longueur_l1>) _
 ' (LDI = <c_l_d_a_inférieure>) (LI = <longueur_l1>) _
 ' (CHArgement = <type_chargement_[0 | 1 | 2]>)
 ' où:
 ' ; <n°_cas_de_chargement> = [1 | 2 | 3 | 4] ; pour NEN - numéros [1-11]
 ' ; NIVeau n'est pas donné pour BS59, SABS, CAN/CSA, CNR
 ' ; LDS et LDI pour BS59, SABS et CAN/CSA = numéro de bouton. Les boutons à numéros
 ' ; impaires, pex. 1, 3, 5... se trouvent dans la première colonne (structure stable) et



; les boutons à numéros impaires dans la seconde colonne (structure instable)
 ; CHA concerne SABS i CAN\CSA
 ; LI concerne la norme NEN 6770
*Par défaut : Pas de déversement: si on choisit le type de déversement,
 les autres grandeurs ont des valeurs par défaut
 NIV=0, LDS=LDI=1, pour DEV=3 LDS=LDI=2, LI=long.de barre, CHA=0*

ATTENTION: - pour les normes américaines (ASD, LRFD, RCCM)
 les paramètres de déversement doivent être notés de façon suivante
 (DEVersement (CB [\langle coef_déversement_[1 | 2 | 3] \rangle | \langle valeur_numérique_négative »->>])_)
 (LB \langle longueur_déversement \rangle) (CONtrevente) _
 (CMY = [\langle coef._repartition_mom._[0 | 1 | 2] \rangle | \langle valeur_numérique_négative »->>]) _
 (CMZ = [\langle coef._repartition_mom._[0 | 1 | 2] \rangle | \langle valeur_numérique_négative »->>])
 Par défaut: CB=1.0, CMY=1.0, CMZ=1.0, LB=LZ, manque de CONtrevente

- Pour la norme EIA, les paramètres de déversement doivent être notés de façon
 suivante:
 (DEVersement (CM = [\langle par._repartition_moments_[0 | 1] \rangle | \langle valeur_numérique_négative_»->>]) _
 (LB = \langle longueur_déversement \rangle) _
 (LR = \langle distance_entre_sections_protegeant_de_torsion \rangle)
 (Torsion) ; prise en compte de l'influence de la torsion dans le calcul

PARAMETRES SUPPLEMENTAIRES POUR LES NORMES PARTICULIERES

- Pour la norme EU5
 (CCHarges = \langle IPERmanentes | LONg | MOyen | COUrt | INStananeé \rangle)
 (CSErvice = [1 | 2 | 3])
 (GM = \langle valeur_coeficient_gamma_m \rangle)

- Pour la norme EDF
 (FLEXion) ; prise en compte de l'effet de flexion
 (SECurité = \langle valeur_coef_securité. \rangle)
 (HYPOthèse = [A | B | GIVre]) ; hypothèse de taux de travail

- Pour la norme DIN
 (GM = \langle valeur_coeficient_gamma_m \rangle)

- Pour la norme SABS et CAN\CSA
 (ANB = \langle coef._affaiblissement_section_en_traction \rangle) ; nombre entre [0,1]
 (LK = \langle longueur_panneau_de_bord \rangle)
 (LS = \langle longueur_panneau_de_centre \rangle)

- pour la norme NEN
 (FYTot = \langle numéros_barres_desquelles_la_charge_est_descendue_sur_la_dir_Y \rangle)
 (FZTot = \langle numéros_barres_desquelles_la_charge_est_descendue_sur_la_dir_Z \rangle)

- Pour la norme PN 90
 (ALPha = \langle coefficient_réserve_de_plasticité \rangle)

- Pour la norme BS

(CMY = \langle valeur \rangle)

(CMZ = \langle valeur \rangle)

(SLN = \langle valeur \rangle)

où :

\langle valeur \rangle

\langle = \rangle valeur définie par l'utilisateur si \langle valeur \rangle est négative

\langle = \rangle numéro d'icône dans la boîte de dialogue si \langle valeur \rangle est positive

- Pour la norme CAN\CSA

PANneau EXTrême = \langle valeur \rangle ; espacement des raidisseurs dans le panneau d'appui

INTermédiaire = \langle valeur \rangle ; espacement des raidisseurs dans le panneau intermédiaire

Par défaut :

EXTrême = 0.0

INTermédiaire = 0.0

- Pour la norme CNR-UNI

PSI (Y= \langle valeur \rangle) (Z= \langle valeur \rangle)

Par défaut :



```
'  FAMILle DIMensionnement <liste_familles> (N=<nb_points_sur_élément>) | _
'  FAMILle OPTimisation <liste_familles> (N=<nb_points_sur_élément>) _
'      POIds (MAX= <valeur>) (MIN=<valeur>) (EA=<valeur>) (ES=<valeur>) _
'      (SORTie)
'      ;POIds, MAX, MIN, EA, ES - paramètres d'optimisation
'  }
'      Par défaut : N=2, les options d'optimisation - POIds
'  ( RECalcul )      ; recalcul des structures avec des sections modifiées
;DIMensionnement FIN      ;fin du bloc de dimensionnement
```

FIN

' <<-- fin du fichier de données ROBMODEL

Votre avis nous intéresse

Vous pouvez nous retourner ce document par télécopie au 04 76 41 97 03

Votre nom :

Le nom de votre société :

Votre numéro de téléphone :

Quelles sont vos remarques ou suggestions sur cette documentation ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Quelles sont vos remarques ou suggestions sur notre service de maintenance téléphonique ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

Vous pouvez également nous consulter pour une formation ou bien connaître nos prestations de modélisation et de développements spécifiques.



RoboBAT

Service Technique
2, rue Lavoisier, Montbonnot Zirst
38334 Saint-Ismier Cedex

Tél. : 04 76 41 38 90

Fax. : 04 76 41 22 61

