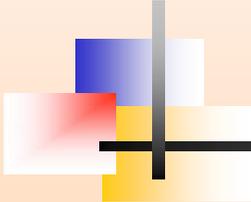


**L'INGENIEUR**

DOCUMENTS - SAP2000 - ETABS - ROBOT  
AUTOCAD - 3DS MAX - DELPHI

Le forum exclusif pour les ingénieurs méditerranéens !



## **ANALYSE D'UN BATIMENT B.A. EN STRUCTURE MIXTE**

---

**Selon les RPA 99 Version 2003**

Rafik TALEB



## **Plan de la présentation**

---

**1. PRÉSENTATION DU BATIMENT**

**2. HYPOTHESES DE CALCUL**

**3. METHODOLOGIE DU CALCUL**

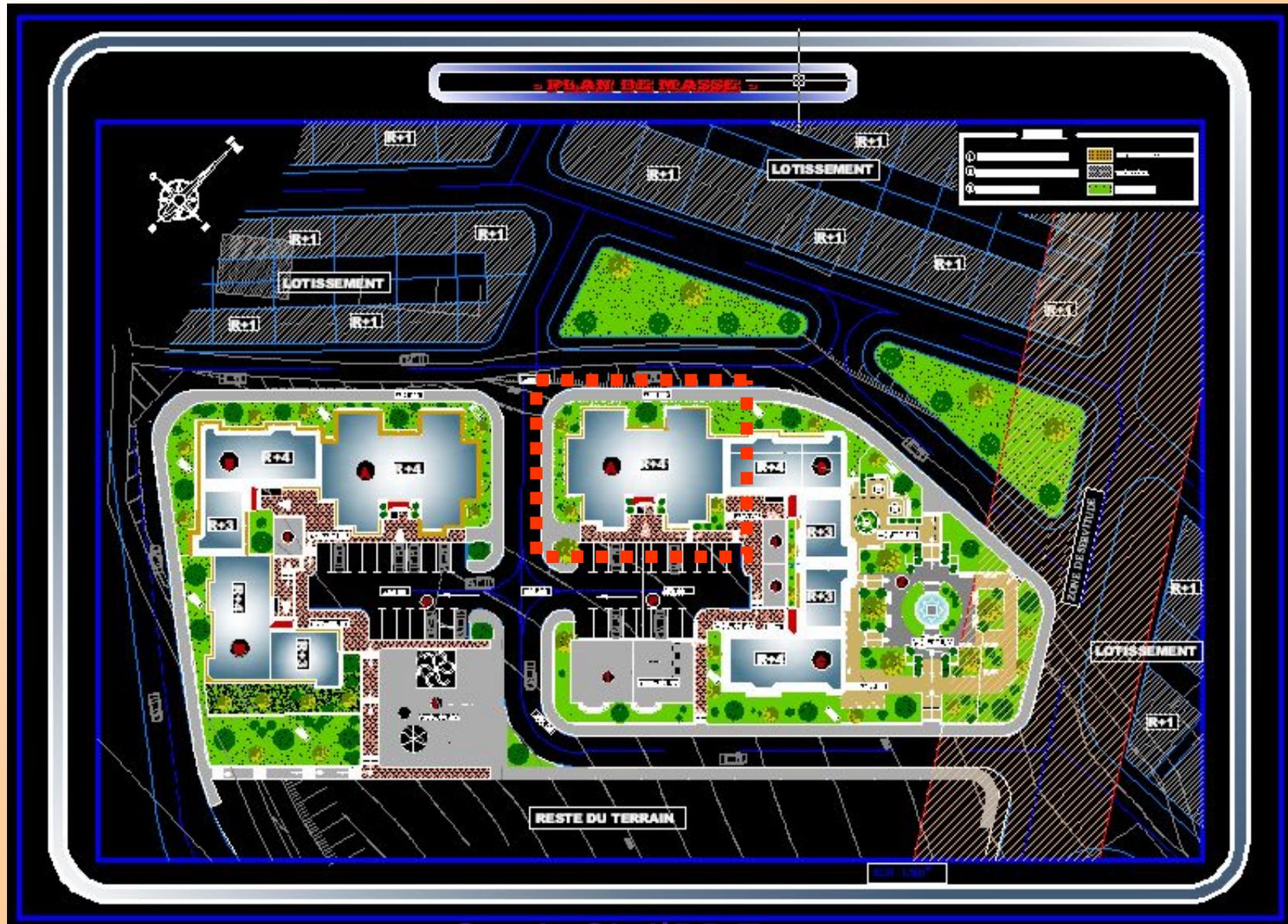
**4. ANALYSE MODALE – SPECTRALE**

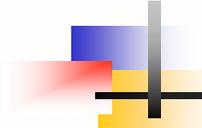
**5. CALCUL STATIQUE ÉQUIVALENT**

**6. JUSTIFICATION DE LA SECURITE**

**7. DIMENSIONNEMENT BETON ARME**

# Présentation du Bâtiment





## Présentation du bâtiment

---

### Présentation du bâtiments:

Zone sismique: (Tipaza → zone III) [RPA 99 Ver. 2003-Tab 4.1]

Groupe d'usage : Bâtiment d'habitation collective → Groupe 2 [RPA 99 Ver. 2003-Tab 4.1]

Classification du site : Site ferme S2 [Rapport géotechnique]

Système structurel → Portique contreventé par voile

→ Contreventement mixte avec interaction

## Présentation du bâtiment

### Dimensions des éléments :

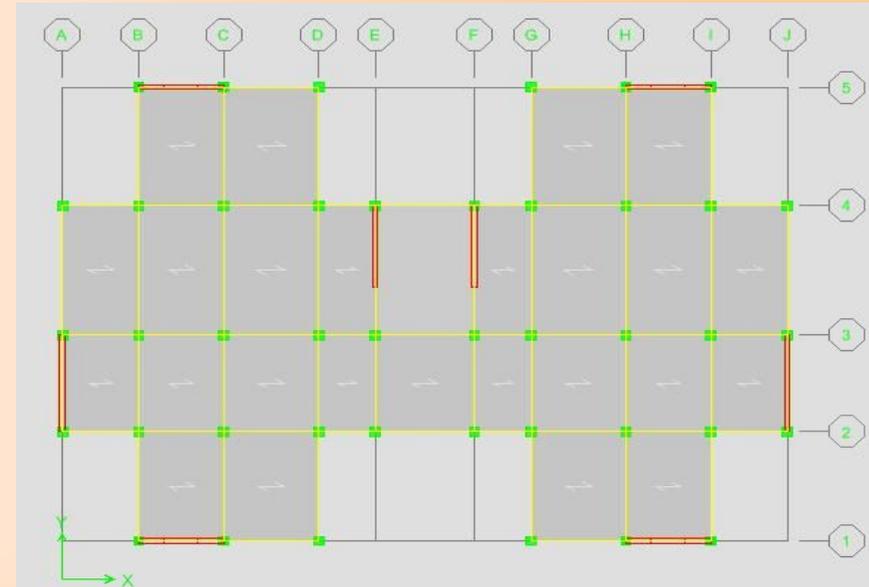
Poteaux 40x40 [RPA 99 Ver. 2003-Tab 4.1]

Poutres porteuses 30x45 [RPA 99 Ver. 2003-Tab 4.1]

Poutres porteuses 30x35 [Rapport géotechnique]

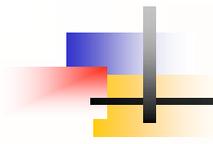
Voile de contreventement 18 cm

Plancher en corps creux (16+4) cm



Repérage des voiles sur le dessin

Dimension géométriques



## Hypothèses de calcul

---

**Règlement : CBA 93, RPA 99 Ver. 2003**

**Bâtiment : Groupe d'usage 2**

Béton :  $f_{c28} = 25\text{MPa}$

$E_{i28} = 32000$

(béton non fissuré)

**Acier feE400**

**Sol de fondation Catégorie S2 site ferme**

**Séisme** : 2 composante horizontale (composante vertical ignorée)

## 1. Modélisation 3D par éléments finis du bâtiment

- Géométrie
- masse

## 2. Analyse de la structure

- régularité en plan
- régularité en élévation



**Choix de la méthode du calcul sismique (MSE, MMS)**

### 2. 1. Calcul sismique

- Analyse modale
- Définition du spectre de réponse
- Analyse modale spectrale

### 2.2. Calcul statique équivalent (Effort tranchant à la base)

## 3. Justification de la sécurité

## 4. Exploitation des résultats

- Calcul des poutres & poteaux
- Calcul des trumeaux et linteaux

## 5. Dispositions constructives

## Rigidité & géométrie

### 1. Éléments modélisés : Structures principales en béton armé participant au contreventement du bâtiment

Poteaux et poutres → Élément linéaire « Frame »

panneaux de voiles, Trumeaux, linteaux → Élément surfacique « Shell »

#### Éléments non modélisés :

Fondations → conditions d'appui = encastrement à la base

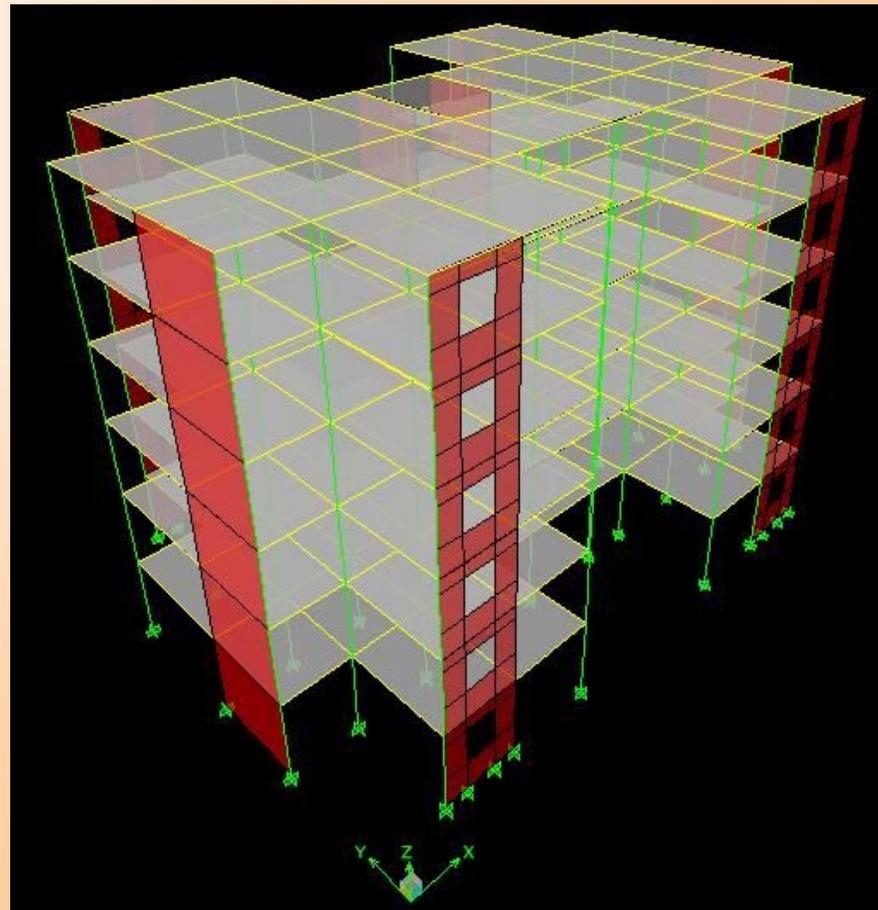
Éléments structuraux secondaires → volés d'escalier, maçonneries,...

2. Maillage des éléments → Taille moyenne des mailles 0,5m

3. Hypothèse diaphragme rigide ?

# Modélisation du bâtiment

## Modèle 3D du bâtiment



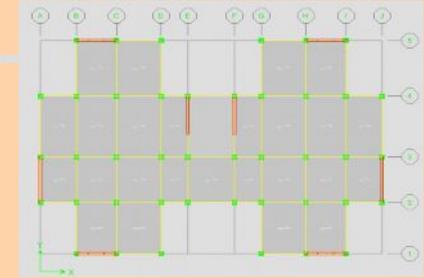
# Modélisation du bâtiment

## Masse sismique

	<b>G</b>	<b>Q</b>	<b>W=G+<math>\beta</math> Q</b>	<b>M répartie</b>	<b>S</b>	<b>M concentré</b>
Niveau	KN/m <sup>2</sup>	KN/m <sup>2</sup>	KN/m <sup>2</sup>	W/g	m <sup>2</sup>	SxMrépartie
PH étage 5	6,40	1,00	6,60	0,673	341,50	229,76
PH étage 4	5,30	1,50	5,60	0,571	341,50	194,94
PH étage 3	5,30	1,50	5,60	0,571	341,50	194,94
PH étage 2	5,30	1,50	5,60	0,571	341,50	194,94
PH étage 1	5,30	1,50	5,60	0,571	341,50	194,94
PH RDC	5,30	1,50	5,60	0,571	341,50	194,94

+ Masse du au poids propre des poutres et poteaux

# Régularité de la structure



## Régularité géométrique en plan

$$\frac{\sum l_i}{L} \leq 0,25$$

Selon X-X :  $12,9/26,0 = 0,49 > 0,25$  NO

$$\frac{L}{l} \leq 4$$

Selon Y-Y :  $8,6/19,85 = 0,43 > 0,25$  NO

$26,0/19,85 = 1,31 > 4$  OK

$$\frac{S_{ouverture}}{S_{totale}} \leq 0,15$$

cage d'escalier  $17,85/341,50 = 0,05 < 0,15$  OK

Irrégularité géométrique en plan

## Régularité structurale en plan

$|X_{CR} - X_{CM}| \leq 0,15L$  : Vérifier (symétrie)

$|X_{CR} - X_{CM}| \leq 0,15l$  : Vérifier (symétrie)

régularité structurale en plan satisfaite

## Régularité géométrique en élévation

$\frac{B_i}{B_{i-1}} \geq 0,8$  Vérifier (pas de décrochement) → régularité structurale en plan satisfaite

## Régularité structurale en élévation

$$\frac{M_i / K_{i,x}}{M_{i-1} / K_{i-1,x}} \leq 0,25$$

$$\frac{M_i / K_{i,x}}{M_{i-1} / K_{i-1,x}} \leq 0,25$$

régularité structurale en élévation satisfaite

**Bâtiment classé irrégulier**

# Calcul sismique de la structure

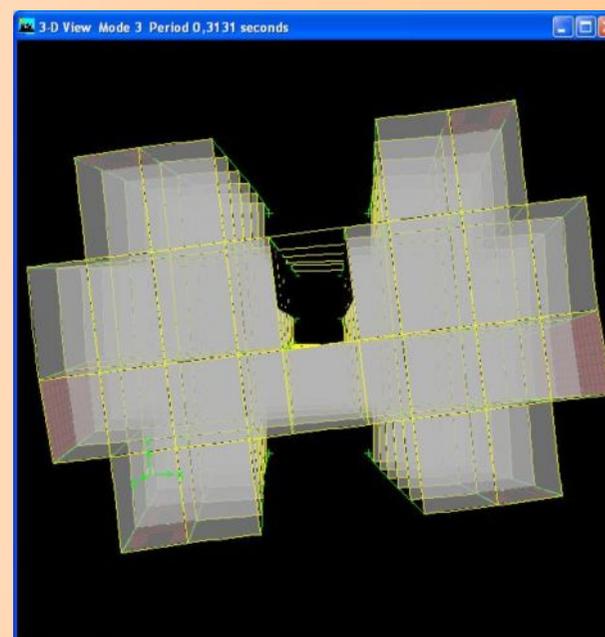
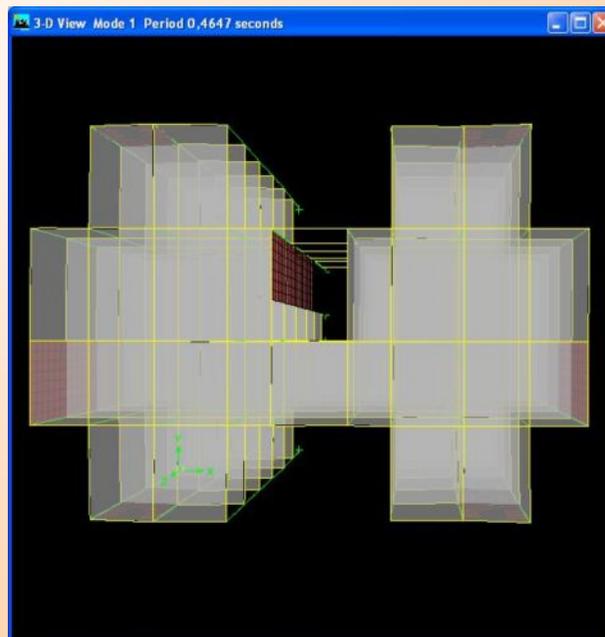
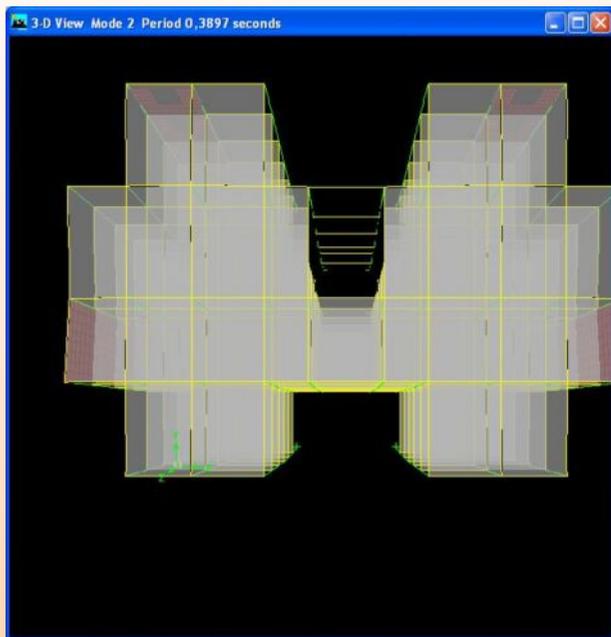
## Analyse modale

**amortissement modale :  $\xi = 10\%$  [RPA 99 Ver 2003 Tab 4.2]**  
**pas d'interaction sol – structure**

**Nombre de mode à retenir ? Critère de masse effective cumulée, critère de période**  
**Combinaison des réponses modales ? SRSS, CQC**

Mode	fréquence [Hz]	Période [s]	% Masse effective X	% Masse effective Y	Cumul X	Cumul Y	Direction
1	2,15	0,46	73,77	0,00	73,77	0,00	Mode fondamentale-translation sens X
2	2,57	0,39	0,00	71,45	73,77	71,45	Translation sens Y
3	3,19	0,31	0,01	0,00	73,78	71,45	Torsion autour de Z
4	8,10	0,12	17,79	0,00	91,57	71,45	Translation sens X
5	10,71	0,09	0,00	18,68	91,57	90,13	Translation sens Y
6	13,83	0,07	0,00	0,00	91,57	90,13	
7	16,38	0,06	5,03	0,00	96,60	90,13	
8	23,55	0,04	0,00	6,00	96,60	96,12	
9	24,30	0,04	1,96	0,00	98,56	96,12	
10	30,03	0,03	0,00	0,00	98,56	96,12	

## Déformés modaux



# Calcul sismique de la structure

## Spectre de réponse

$$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1.25A \left( 1 + \frac{T}{T_1} \left( 2.5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5\eta (1.25A) \left( \frac{Q}{R} \right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta (1.25A) \left( \frac{Q}{R} \right) \left( \frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0s \\ 2.5\eta (1.25A) \left( \frac{T_2}{3} \right)^{2/3} \left( \frac{3}{T} \right)^{5/3} \left( \frac{Q}{R} \right) & T > 3.0s \end{cases}$$

$A$ : coefficient d'accélération de zone (tableau 4.1)

$Q$ : facteur de qualité

$$Q = 1 + \sum_{q=1}^5 P_q \quad P_q: \text{coefficient de pénalité (tableau 4.4)}$$

$R$ : Coefficient de comportement globale de la structure (tableau 4.3)

$T_1, T_2$ : Périodes caractéristique associés a la catégorie du site (tableau 4.7)

$$\eta: \text{facteur de correction d'amortissement} \quad \eta = \sqrt{7/(2+\xi)} \geq 0.7$$

**$A = 0,25$  (Zone III, Groupe d'usage 2)**

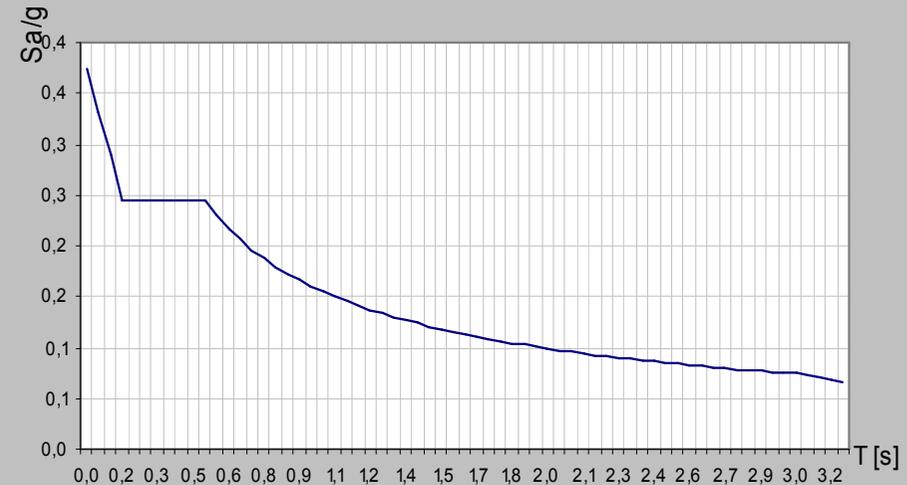
**$R_x = R_y = 4$  (Portiques contreventés par voiles)**

**$T_1 = 0,15s$  et  $T_2 = 0,40s$  (site ferme S2)**

**$K_{si} = 10\% \rightarrow \nu_u = 0,764$**

**$Q_x = Q_y = 1 + 0,05 + 0,05 + 0 + 0 + 0 = 1,2$  (la plus pénalisante selon les directions orthogonales de référence)**

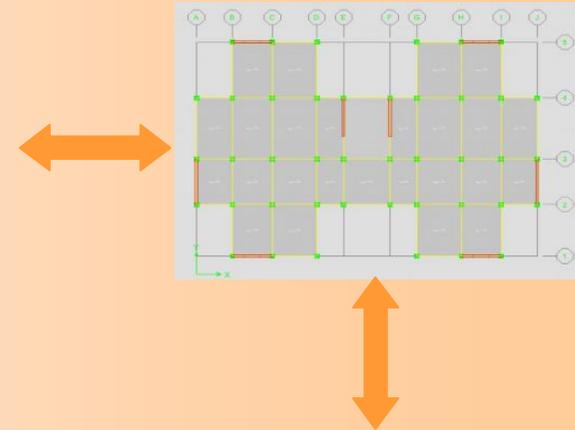
Spectre de réponse de calcul



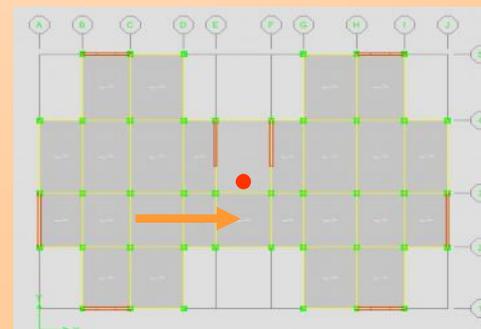
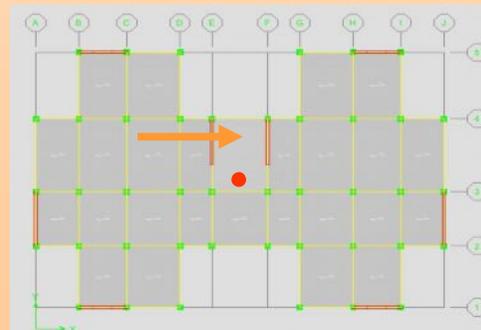
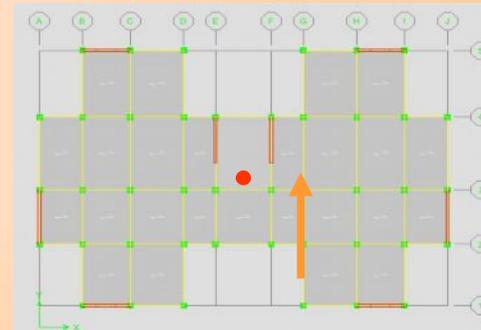
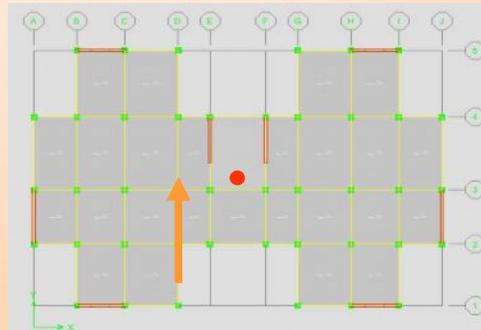
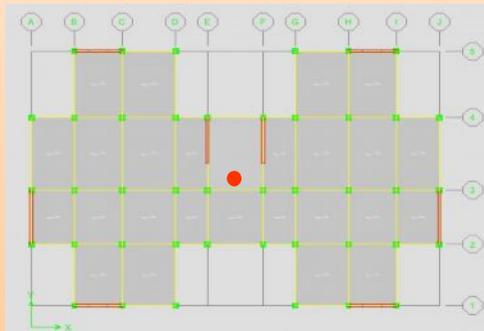
# Calcul sismique de la structure

## Spectre de réponse

Directions d'application de l'action sismique ? Plan de contreventement



Effet de la torsion accidentelle ? Estr, eacc, Source de torsion accidentelle



## Calcul sismique de la structure

### Résultante des forces sismiques à la base ?

Si  $V_{MMS} < 0,8V_{MSE} \Rightarrow$  paramètres de la réponse  $\times 0,8V/V_t$

$$V = \frac{A.D.Q}{R} W$$

$A$ : coefficient d'accélération de zone (tableau 4.1)

$D$ : facteur d'amplification dynamique (figure 4.1)

$Q$ : facteur de qualité

$$Q = 1 + \sum_{q=1}^5 P_q \quad P_q : \text{coefficient de pénalité (tableau 4.4)}$$

$R$ : Coefficient de comportement globale de la structure (tableau 4.3)

$W$ : Poids total de la structure

$$W = \sum_{i=1}^n (W_{Gi} + \beta.W_{Qi}) \quad W_{Gi} : \text{Poids des charges permanentes}$$

$W_{Qi}$ : Poids des charges d'exploitations

$\beta$ : Coefficient de pondération (tableau 4.5)

$A = 0,25g$  (Zone III, Groupe d'usage 2)

$D = 1,9$  ( $K_{si} = 10\% \rightarrow \nu_u = 0,764$ ,

$T_1 = 0,15s$  et  $T_2 = 0,40s$  (site ferme S2)

$Q = 1 + 0,05 + 0,05 + 0 + 0 + 0 + 0 = 1,2$  (la plus pénalisante selon les directions orthogonales de référence)

$R = 4$  (Portiques contreventés par voiles)

$W = 17560$  KN

Estimation de la période empirique?  $T \leq 1,3 T_{emp}$

## Calcul sismique de la structure

### Quelle période $T$ utilisée pour le calcul de $D$ ( et donc de $V$ ) ?

Le tableau ci-dessous montre comment choisir la période de calcul de  $V_{MSE}$

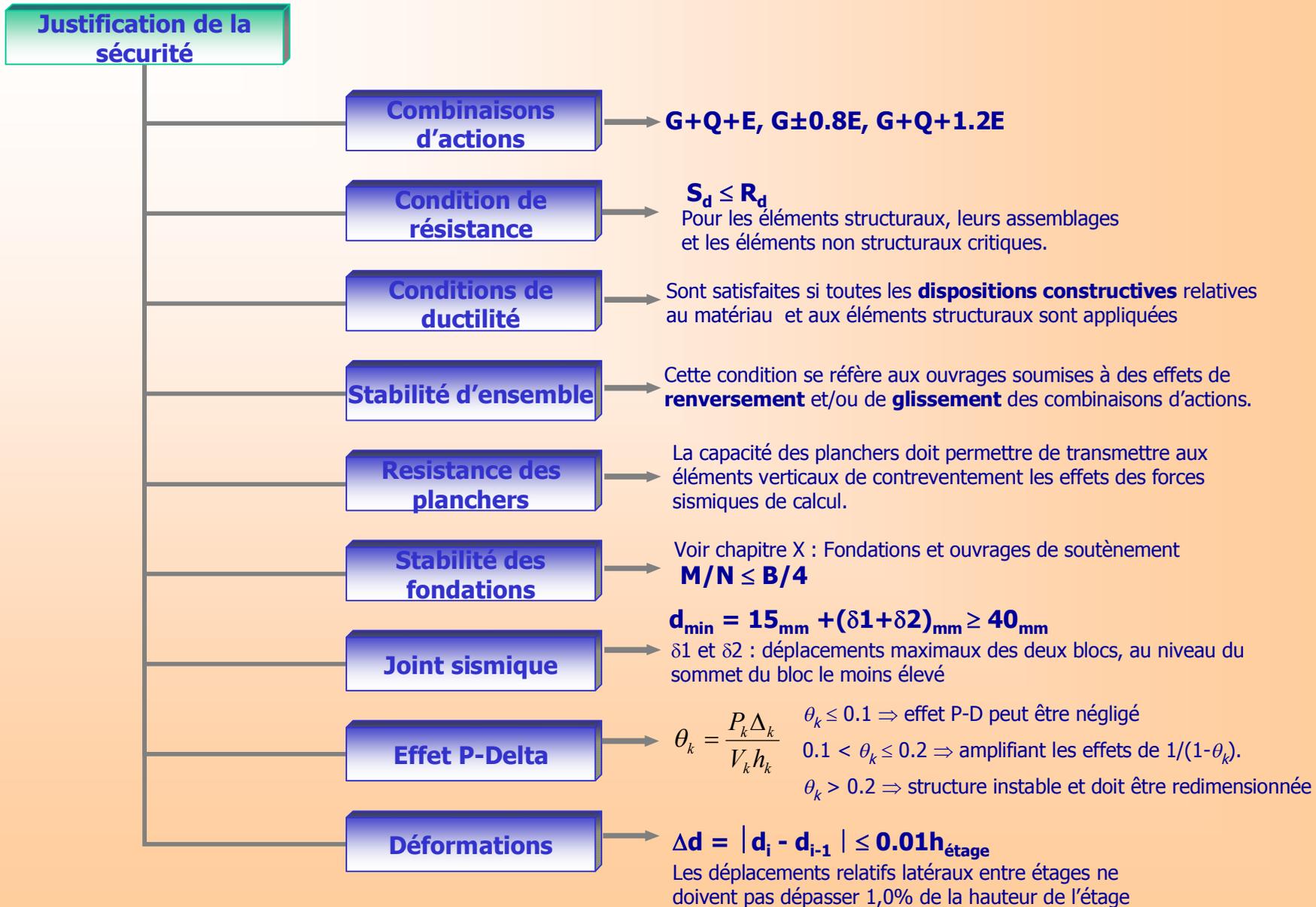
Si :	La période choisie pour le calcul du facteur $D$ est :
$T_{analytique} \leq T_{empirique}$	$T = T_{analytique}$
$T_{empirique} < T_{analytique} < 1,3T_{empirique}$	$T = T_{empirique}$
$T_{analytique} \geq 1,3T_{empirique}$	$T = 1,3T_{empirique}$

## Calcul sismique de la structure

### Résultante des forces sismiques à la base ?

	MMS	MSE	
<b>SP1</b> Séisme sens X-X	$V_{tx} = 2473,78 \text{ KN}$	$V_x = 2514,93 \text{ KN}$	Condition satisfaite
<b>SP2</b> Séisme sens Y-Y	$V_{ty} = 2671,01 \text{ KN}$	$V_y = 2514,93 \text{ KN}$	Condition satisfaite

# Justification de la sécurité



## Justification de la sécurité

### Vérification vis-à-vis des déformations

$$\Delta d = |d_i - d_{i-1}| \leq 0.01h_{\text{étage}}$$

$$\text{Avec } d_i = R.\delta_i$$

Niveau	$\delta_{ek,p1}$ [cm]	$\delta_{ek,p2}$ [cm]	$\delta_{k,p1}$ [cm]	$\delta_{k,p2}$ [cm]	$\Delta k,p1$ [cm]	$\Delta k,p2$ [cm]	1% $h_e$ [cm]
PH étage 5	1,21	0,95	4,84	3,80	0,84	0,72	3,06
PH étage 4	1,00	0,77	4,00	3,08	0,88	0,76	3,06
PH étage 3	0,78	0,58	3,12	2,32	0,96	0,76	3,06
PH étage 2	0,54	0,39	2,16	1,56	0,88	0,68	3,06
PH étage 1	0,32	0,22	1,28	0,88	0,80	0,60	3,06
PH étage RDC	0,12	0,07	0,48	0,28	0,48	0,28	3,06

## Justification de la sécurité

### Vérification de l'effet P-Delta

$$\theta_k = \frac{P_k \Delta_k}{V_k h_k}$$

$\theta_k \leq 0.1 \Rightarrow$  effet P-D peut être négligé

$0.1 < \theta_k \leq 0.2 \Rightarrow$  amplifiant les effets de  $1/(1-\theta_k)$ .

$\theta_k > 0.2 \Rightarrow$  structure instable et doit être redimensionnée

Niveau	$h_k$ [m]	$\Delta_{k,p1}$ [cm]	$V_k$ [KN]	$G_k$ [KN]	$Q_k$ [KN]	$W_k=G_k+\beta Q_k$ [KN]	$P_k$ (Cumul) [KN]	$\theta_k$ Facteur d'instabilité
PH étage 5	3,06	0,84	749,28	3182,40	341,00	3250,60	3250,60	0,01
PH étage 4	3,06	0,88	1331,08	2807,30	511,50	2909,60	6160,20	0,01
PH étage 3	3,06	0,96	1764,52	2807,30	511,50	2909,60	9069,80	0,02
PH étage 2	3,06	0,88	2092,38	2807,30	511,50	2909,60	11979,40	0,02
PH étage 1	3,06	0,80	2337,97	2807,30	511,50	2909,60	14889,00	0,02
PH étage RDC	3,06	0,48	2480,50	2807,30	511,50	2909,60	17798,60	0,01

### Vérification de la stabilité au renversement

$$e = \frac{M}{N} \leq \frac{B}{4}$$

N ensemble des charges gravitaires

M moment de renversement

N=W +Psemelles+Preamblais

w= 17560 KN

Mx = 33600 KN.m

My =31067 KN.m

$e_x = M_y / N = 1,77\text{m} < B_x / 4 = 26 / 4 = 6,5\text{m}$  **Condition satisfaite**

$e_y = M_x / N = 1,91\text{m} < B_x / 4 = 19,85 / 4 = 5,0\text{m}$  **Condition satisfaite**

### Dimensionnement des poutres (selon CBA 93 et RPA 99 Ver. 2003)

➡ repérage des poutres les plus sollicitées en flexion simple

➤ Calcul en flexion simple à l'ELU (CBA 93)

Vérification en flexion simple à l'ELS (cas de fissuration préjudiciable ou très préjudiciable) (CBA 93)

% d'armature min/max (RPA 99 Ver. 2003, CBA 93)

➡ repérage des poutres les plus sollicitées en cisaillement

➤ Calcul au cisaillement (RPA 99 Ver. 2003, CBA 93)

% min d'armatures transversales (RPA 99 Ver. 2003)

## Dimensionnement des poteaux (selon CBA 93 et RPA 99 Ver. 2003)

➡ repérage des poteaux les plus sollicités en flexion composée & en compression centrée

➤ Vérification de l'effort normal réduit sous combinaisons sismiques 
$$v = \frac{N_d}{B_c \cdot f_{c28}} \leq 0,3$$

➤ Calcul en flexion composée à l'ELU (CBA 93)

Vérification en flexion composée à l'ELS (cas de fissuration préjudiciable ou très préjudiciable) (CBA 93)

% min/max d'armatures longitudinales (RPA 99 Ver. 2003, CBA 93)

➤ Calcul en compression centrée (CBA 93)

Rmq : la présence des voiles de contreventement induit généralement des moments de flexion négligeables pour les poteaux

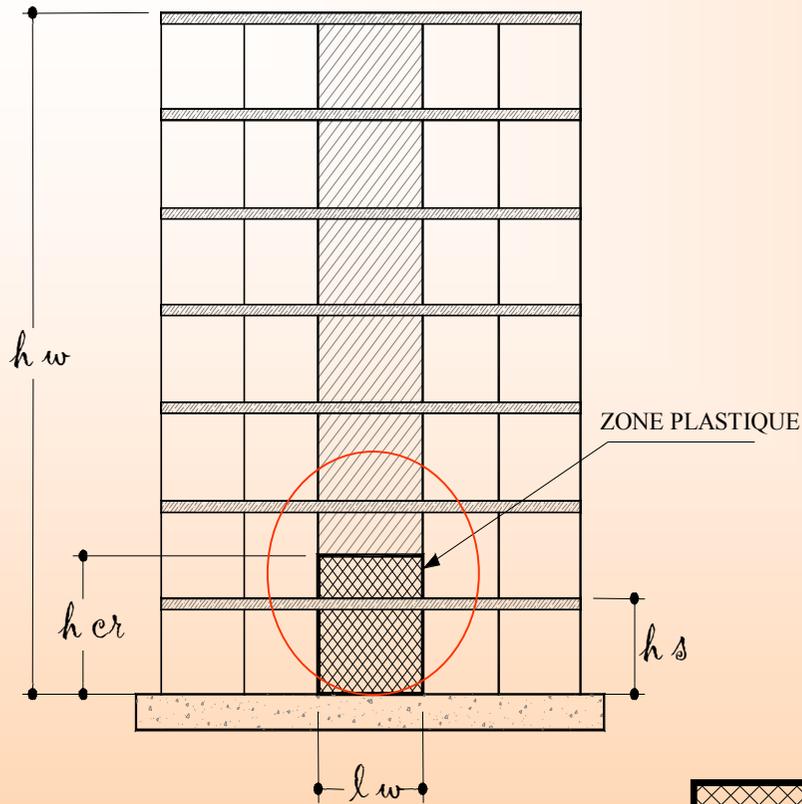
➡ repérage des poteaux les plus sollicités en cisaillement

➤ Calcul au cisaillement (RPA 99 Ver. 2003, CBA 93)

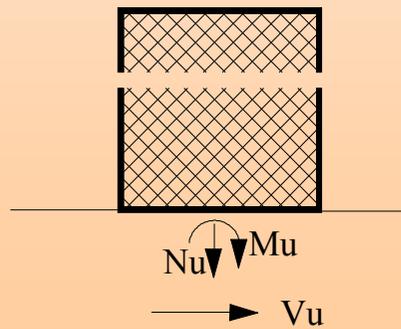
% min d'armatures transversales (RPA 99 Ver. 2003)

# Dimensionnement béton armé

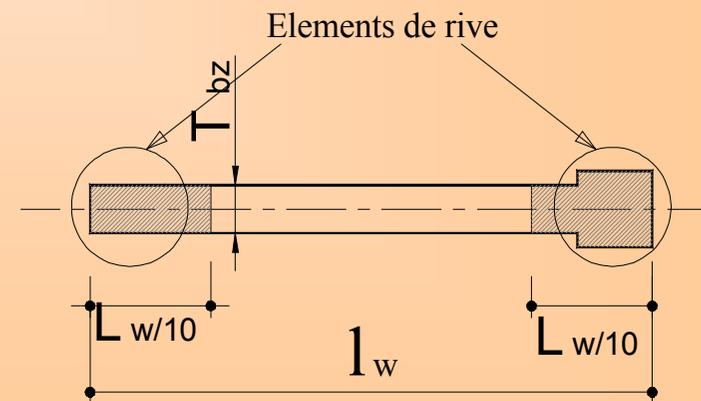
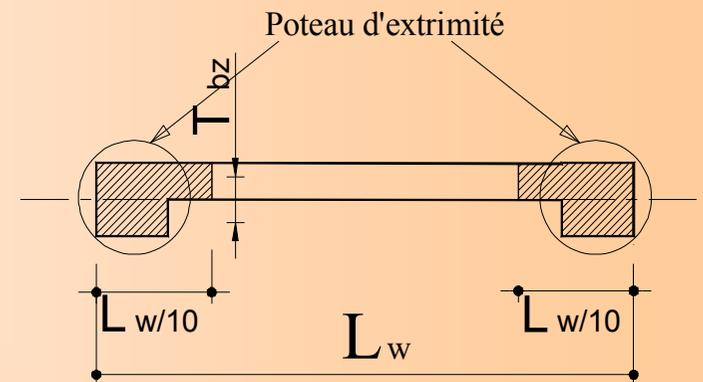
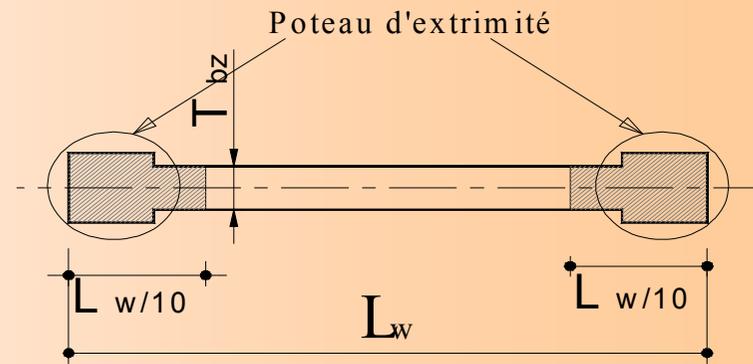
## Dimensionnement des trumeaux (Pier)



La « hauteur critique »



Sollicitations de calcul



Les « éléments de rive »

### Dimensionnement des trumeaux (Pier) (selon RPA 99 Ver. 2003, CBA 93 & DTR-BC 2.42)

DTR-BC 2.42 « Règles de conception et de calcul des parois et murs en béton banche »

« les trumeaux seront calculé en flexion composée avec effort tranchant » RPA 99 Ver. 2003 Art 7.7.4

➡ repérage des voiles les plus sollicitées en flexion composée

➤ Vérification de l'effort normal réduit sous combinaisons sismiques  $v = \frac{N_d}{B_c \cdot f_{c28}} \leq 0,3$

➤ Calcul en flexion composée à l'ELU sous  $N_u$  et  $M_u$  (CBA 93)

% min/max d'armatures longitudinales (RPA 99 Ver. 2003, CBA 93)

➤ Calcul en compression centrée (DTR-BC 2.42)

➡ repérage des trumeaux les plus sollicitées en cisaillement

➤ Calcul au cisaillement sous  $1,4 V_u$  (RPA 99 Ver. 2003, CBA 93)

% min d'armatures transversales (RPA 99 Ver. 2003)

## Dimensionnement béton armé

### Dimensionnement des linteaux (Spendrel) (selon RPA 99 Ver. 2003, CBA 93)

➔ repérage des voiles les plus sollicités en flexion et en cisaillement

➤ Calcul de la contrainte de cisaillement  $\tau_b = \frac{1,4.V_u}{b_0.d} \leq 0,2f_{c28}$

$$\tau_b \leq 0,06f_{c28}$$

Effort repris par flexion simple

$$\tau_b > 0,06f_{c28}$$

Effort repris par bielles diagonales

