

ROYAUME DU MAROC
— . . . —
**MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS
DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE
ET DE LA FORMATION DES CADRES**
— . . . —
**DIRECTION DES ROUTES
ET DE LA CIRCULATION ROUTIÈRE**
— . . . —

**GUIDE POUR LES ÉTUDES DE GEOTECHNIQUE
ROUTIÈRE RELATIF AUX PLATE-FORMES
ET AUX CHAUSSEES**
— . . . —

VOLUME : II

A L'USAGE DES GEOTECHNICIENS

ÉDITION 1991

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	7
-----------------------------	---

PARTIE I - RECUEIL DES DONNEES GEOTECHNIQUES

CHAPITRE I : Etude de définition	9
--	---

I.1 - Tâche n° 1 : Délimitation des massifs rocheux	9
---	---

I.2 - Tâche n° 2 : Appréciation de la stabilité des versants rencontrés	11
--	----

I.3 - Tâche n° 3 : Localisation des formations impliquant des difficultés	12
--	----

I.4 - Tâche n° 4 : Estimation globale sur la réutilisation des matériaux de déblai	15
---	----

I.5 - Tâche n° 5 : Délimitation en zones homogènes pour les sols de l'arase de la plateforme	16
---	----

I.6 - Tâche n° 6 : Connaissance des matériaux pour corps de chaussée	17
---	----

CHAPITRE II : Etude d'avant projet	18
--	----

II.1 - Tâche n° 1: Etude du mouvement des terres	19
--	----

II.2 - Tâche n° 2: Connaissance des matériaux d'emprunts pour terrassements	28
--	----

II.3 - Tâche n° 3: Connaissance des matériaux pour corps de chaussée	30
---	----

II.4 - Tâche n° 4: Détermination du corps de chaussée à partir des sols de plate-forme	33
---	----

II.5 - Tâche n° 5 : Détermination de la stabilité des déblais, des versants et des remblais de grande hauteur ou sur versants	40
---	----

II.6 - Tâche n° 6 : Détermination du type d'ouvrage sur tirs, sur sols compressibles en zones de marécages et autres sites difficiles	45
---	----

CHAPITRE III	: Etude d'exécution	.51
III.1-Tâche n° 1	: Définition du mouvement des terres	.52
III.2-Tâche n° 2	: Caractéristiques des matériaux pour remblais et corps de chaussée	.54
III.3-Tâche n° 3	: Définition des structures de chaussée et d'accotement	.55
III.4-Tâche n° 4	: Définition des traitements spécifiques pour les talus de déblais et les versants...	.56
III.5-Tâche n° 5	: Définition des traitements spécifiques pour les remblais sur sols compressibles, sur versants ou de grande hauteur	.57

PARTIE II

CHAPITRE I	: MOYENS DE RECONNAISSANCE GÉOTECHNIQUE (II.1.1 ET II.1.2)	.62
CHAPITRE II	: CLASSIFICATION DES SOLS (II.2.1 À II.2.4)	.65
CHAPITRE III	: CLASSIFICATION DES ROCHES (II.3.1 À II.3.4)	.71
CHAPITRE IV	: DOCUMENTS TECHNIQUES ISSUS DU C.P.C (II.4.1 À II.4.3)	.76
CHAPITRE V	: UTILISATION DE LA RECOMMANDATION POUR LES TERRASSEMENTS ROUTIERS (II.5.1 À II.5.3)	.80
CHAPITRE VI	: RIPPABILITÉ DES SOLS ROCHEUX (II.6.1 À II.6.3)	.93
CHAPITRE VII	: UTILISATION DES MATÉRIAUX (II.7.1 À II.7.3)	.96
CHAPITRE VIII	: CATALOGUE DES STRUCTURES TYPES DES CHAUSSÉES (II.8.1 À II.8.7)	.99

CHAPITRE IX : MÉTHODES DE RENFORCEMENT		
(II.9.1 À II.9.12)	106	
CHAPITRE X : STABILITÉ DES TALUS ET DES VERSANTS		
(II.10.1 À II.10.8)	119	
CHAPITRE XI : CHAUSSÉE SUR SOL ARGILEUX INSTABLE		
(II.11.1)	131	
PARTIE III		
CHAPITRE I	: Etude de définition (III.1.1 à III.1.6)	133
CHAPITRE II	: Etude d'avant projet (III.2.1 à III.1.7)	140

INTRODUCTION GENERALE

GUIDE POUR LES ETUDES DE GEOTECHNIQUE ROUTIERE

(Volume destiné aux géotechniciens)

Le présent volume du guide pour les études de géotechnique routière, s'adresse particulièrement aux géotechniciens chargés des études géotechniques dans le cadre de projet routier.

Dans la première partie, il décrit les moyens matériels à utiliser et les essais à effectuer pour le recueil des données nécessaires aux différents niveaux d'études (étude de définition, étude d'avant projet, étude de projet d'exécution). Ces données sont relatives aux projets de terrassement et de construction de chaussées neuves et renforcées et enfin d'ouvrage de stabilité.

Dans une seconde partie, sont rassemblés les documents techniques permettant aux géotechniciens d'interpréter les données recueillies et de les présenter en résultats utilisables par le projeteur, l'entrepreneur et le personnel de contrôle.

Enfin dans une troisième partie, sont proposés aux géotechniciens des modes de présentation des résultats des études géotechniques.

PARTIE I

RECUEIL DES DONNEES GEOTECHNIQUES

Une étude de projet se déroule en 3 phases :

- L'étude de définition a pour objet de définir les grandes lignes de la ou des variantes de l'ouvrage à étudier et les méthodes d'études.
- L'étude d'avant projet a pour objet de définir avec précision les caractéristiques principales et de permettre l'évaluation du (ou éventuellement des) partie (s) retenue (s) en fin d'étude de définition.
- L'étude d'exécution a pour but de finaliser l'ensemble des dispositions constructives sur le tracé adopté.

Il est de pratique courante que certaines dispositions qui devraient faire partie du projet, soient traitées en phase d'exécution. Il s'agit notamment de celles qui impliquent la mise en œuvre de matériel et de procédés propres à l'entreprise qui exécute les travaux. Rentrent parmi celles-ci, les procédés d'extraction des déblais, de mise en œuvre des remblais, les conditions d'exploitation des emprunts et gisements de matériaux.

L'activité géotechnique est donc différente pour chaque étude. Les problèmes à traiter sont abordés de façon à atteindre progressivement le niveau de connaissance suffisant. Suivant sa complexité et sa nature, un problème peut être traité au fur et à mesure des trois phases décrites ou bien n'être traité qu'au niveau de la phase d'exécution ou bien encore être totalement étudié au niveau de l'avant projet.

Dans les chapitres suivants, est décrit le contenu de chacune des études :

CHAPITRE I

ETUDE DE DEFINITION

L'étude géotechnique au niveau de l'étude de définition est appelée reconnaissance préliminaire. Elle comporte essentiellement 6 tâches à effectuer :

- Tâche n° 1 :** la délimitation des massifs rocheux à traverser
- Tâche n° 2 :** l'appréciation de la stabilité des versants rencontrés
- Tâche n° 3 :** la localisation des formations impliquant des difficultés géotechniques graves : marécages, sols compressibles, nappes, ...
- Tâche n° 4 :** Une estimation globale sur la possibilité de réutilisation des matériaux de déblai en remblai.
- Tâche n° 5 :** Une délimitation en zones homogènes de sol de l'arase de plate-forme en vue de prévoir des structures de chaussée.
- Tâche n° 6 :** la connaissance des matériaux disponibles pour corps de chaussée.

Pour chacune de ces tâches, il convient de recueillir des données, de les exploiter et de conclure.

Des données peuvent être utiles pour plusieurs tâches et le résultat de certaines tâches peut être utile pour l'accomplissement d'une autre tâche.

I.1- TACHE N° 1 : DELIMITATION DES MASSIFS ROCHEUX

a) Données à recueillir

- Cartes géologiques et géotechniques au 1/50.000 ou au 1/100.000 (Ministère des Mines, Division de la Géologie).
- Etudes géotechniques auprès des :

- L.P.E.E. – 25, rue d’Azilal ou agences Régionales.
- D.R.E. et D. P. E. concernées par la région.
- Cartes pédologiques (Services de l’Agriculture).

b) Exploitation des données

Situer le (ou les) tracé (s) sur les cartes pour délimiter les passages d’une formation à l’autre.

Situer sur ce tracé les reconnaissances effectuées lors des études géotechniques antérieures recueillies.

Juger si cet ensemble de données, dans le cas où on a pu les collecter, permet de délimiter des zones comportant des massifs rocheux à terrasser. Si la possibilité de telles zones apparaît, il sera probablement nécessaire (voir commentaire ci-après) d’effectuer une visite sur le terrain à moins de bien connaître déjà la région concernée.

- La nature des roches (influence sur l’extraction et la réutilisation, voir tâche n° 4).
- Les pendages favorables ou défavorables (incidence sur les talus de déblai et problèmes locaux de stabilité) (voir tâche n° 2).
- La présence de zones d’altération et d’éboulis.
- La réutilisation éventuelle en couche de chaussée (voir tâche n° 6).

c) Commentaires

La délimitation entre les différentes formations géologiques, aura une précision en rapport avec l’échelle de la carte géologique utilisée.

La délimitation des sols meubles en relief doux (plaine), peut être faite facilement.

Dans les zones montagneuses, les cartes géologiques indiquent généralement les étapes rencontrées. Des notes internes éditées par la Division de géologie, donnent des indications sur les différents faciès constitutifs de chaque étage. C’est ainsi que pour un même

étage il est possible de rencontrer des faciès très variés et il est impossible sans visite sur le terrain de savoir quel est le faciès affleurant.

A noter que dans ces mêmes zones, il existe très souvent des sols de couverture (éboulis de pente ou de piémont) d'origine différente de celle des formations géologiques indiquées à l'aplomb de la zone. Ceci peut remettre en cause l'existence même de sols rocheux au niveau des terrassements.

Enfin, dans certaines zones (Casablanca- Fès- Safi- Tanger) où il existe des cartes géotechniques, une précision supérieure peut être atteinte à la seule lecture des cartes.

I.2- TACHE N° 2 : APPRECIATION DE LA STABILITE DES VERSANTS RENCONTRES

a) Données

Les données collectées pour la tâche n° 1 sont à utiliser en tâche 2.

Dans le cas où une visite sur le terrain a été effectuée dans le cadre de la tâche 1, cette visite sur le terrain doit permettre de répondre aux objectifs de la tâche n° 2.

b) Exploitation des données

Délimiter les zones présentant des versants instables et les zones pouvant présenter des instabilités après terrassements.

Essayer d'estimer les possibilités de stabiliser ces versants.

Juger si les données simples (cartes géologiques et géotechniques et dossiers géotechniques antérieurs) permettent de délimiter ces zones, sinon prévoir une visite sur le terrain.

Après la visite décrire sommairement les différents types d'instabilités observés ou à prévoir après terrassements. (voir II.10).

c) Commentaires

Les zones à instabilités générales sont assez bien connues (zones ou nappes prérimaires, rides prérimaires collines du Gharb, zone schisteuses du Haut Atlas, etc...), tout tracé dans ces zones doit faire l'objet d'une visite sur le terrain systématique.

D'autres zones montagneuses où se sont développés des éboulis avec des possibilités de nappe (Haut Atlas, Moyen Atlas,...), sont susceptibles d'instabilités locales, il convient donc de prévoir une visite sur le terrain.

L'interprétation des photos aériennes permet de déceler les traces de glissement et les zones de nappes.

Dans les instabilités de versants, il ne faut pas oublier de prendre en compte les phénomènes d'érosion engendrés par la concentration des eaux de ruissellement aux ouvrages de franchissement (buse, ponceau), ou d'écoulement (fossés). Ces érosions, avec souvent effet régressif, occasionnent souvent des instabilités.

On n'oubliera pas de porter attention sur les sapements de pieds provoqués par les Oueds ou thalwegs. Même si ceux-ci sont loin du tracé, leur effet peut se faire ressentir sur des distances importantes en amont.

On inclura dans cette tâche, l'observation des pendages et fracturation des roches pour estimer les problèmes éventuels de talutage (ancrage, boulonnage, protection contre les chutes de pierre, etc...).

I.3- TACHE N° 3 : LOCALISATION DES FORMATIONS IMPLIQUANT DES DIFFICULTES

a) Données à recueillir

- Les mêmes données qu'en tâche n° 1
- La visite sur le terrain éventuellement opérée en tâche n° 1 ou n° 2 sera utilisée pour la tâche n° 3.
- Carte hydrogéologique de certains bassins (Gharb, etc...).

b) Exploitation des données

– Marécages

La localisation doit être faite, compte tenu des variations saisonnières de l'emprise. Des renseignements concernant la profondeur, l'étendue, pourront être recueillies localement auprès des riverains ou autorités locales.

– Sols compressibles

La localisation d'une zone de sols compressibles déjà identifiés par des études géotechniques antérieures, peut être effectuée.

En l'absence de données antérieures, une visite sur le terrain, permet souvent d'envisager la présence des sols compressibles, mais ce n'est pas toujours le cas (voir commentaires).

– Nappes

La présence de nappes peut être étudiée à partir des cartes hydrogéologiques, des informations recueillies auprès du Service des Ressources en eau, en s'intéressant aux nappes superficielles.

– Tirs

La présence de sols tirsifiés est généralement signalée sur les cartes géologiques et géotechniques à échelle 1/50.000 et 1/100.000. La puissance des tirs est importante à connaître pour le traitement éventuel.

– Cavités, anciennes carrières comblées, etc...

c) Commentaire

– Marécages

Si la localisation des marécages ne présente aucun problème, l'évaluation de la difficulté qui en résultera pour la construction de la route, est beaucoup plus aléatoire. Il faut connaître outre la profondeur, la nature du sous sol :

- Roches imperméables sur lesquelles s'écoule une nappe alimentant le marécage.

- Sols argileux très imperméables qui recueillent les eaux de ruissellement et dans ce cas, la possibilité de rencontrer des sols compressibles.

– **Sols compressibles**

Si ceux-ci ont été identifiés à partir de données d'archives, on peut déjà avoir une idée de l'importance du problème posé qui peut être extrêmement variable. Les éléments essentiels d'appréciation sont la nature des sols compressibles, leur profondeur, la nature des sols sous-jacents.

Dans le cas d'une visite sur le terrain si l'on peut souvent déceler la présence des sols compressibles, il est très difficile d'apprécier l'importance du problème.

De plus, il est fréquent de rencontrer sur les sols compressibles une couche qui peut atteindre 2 à 3 mètres de sols indurés qui masquent complètement la présence des sols compressibles. Il existe aussi souvent des remblais anciens déposés sur ces zones.

– **Nappes**

La localisation des sols tireux ne pose pas de problème.

Il faut rappeler que le processus de tirsification peut atteindre des degrés divers d'une part et d'autre part que les tirs reposent souvent sur des sols de bien meilleure qualité, tufs et croûtes calcaires, limon.

Les zones de tirs étant généralement plates et à drainage difficiles, on prévoit généralement de faibles remblais pour leur franchissement, c'est à ce moment qu'il faut prévoir des sols convenables pour la réalisation des remblais et éviter à tout prix l'utilisation des tirs en remblai.

– **Cavités, anciens remblais**

La traversée de zones comprenant des cavités plus ou moins remplies (karst, etc...) ou de carrières anciennes ou de cours d'eau

anciens comblés par des matériaux de toutes sortes, surtout aux approches des localités, peut poser des problèmes au niveau des travaux (excavation, comblement,...) leur repérage peut s'effectuer sur le terrain avec l'aide d'information recueillie auprès des populations locales.

I.4- TACHE N° 4 : ESTIMATION GLOBALE SUR LA REUTILISATION DES MATERIAUX DE DEBLAI

a) Données

Idem tâche n° 1

- les résultats de la tâche n° 1 concernant la localisation des sols rocheux.
- Les résultats de la visite éventuellement effectuée en ce qui concerne les sols rocheux.

b) Exploitation des données

- Définir les difficultés éventuelles pour les terrassements.
- Estimer les possibilités de réutilisation des déblais rocheux ou les nécessités de mise en décharge.

c) Commentaire

Pour les réutilisations des sols meubles, on essaiera de prévoir ceux pouvant procurer des difficultés de la réutilisation :

- Sols très plastiques, soit trop humides, soit trop secs.
- Sols sableux ou à très faible cohésion, donnant lieu à des problèmes d'érosion en parement de talus et nécessitant des protections.
- Sols plastiques ne pouvant être utilisés sur des remblais en grande hauteur.

A partir de ces indications, on peut estimer les nécessités éventuelles d'emprunt pour terrassement.

En ce qui concerne les déblais rocheux, on essaiera de distinguer :

- les roches évolutives dont la réutilisation ne sera envisagée que sous réserve.
- Les roches saines dures pouvant amener à des difficultés de fragmentation en vue de leur réutilisation.

I.5- TACHE N° 5 : DELIMITATION EN ZONES HOMOGENES POUR LES SOLS DE L'ARASE DE LA PLATE-FORME

a) Données

- Les données recueillies en tâche n° 1.
- Les résultats de la tâche n° 1 et de la tâche n° 4

b) Exploitation des données

- Un profil géotechnique des sols de plate- forme, compte tenu des terrassements envisagés.
- Une description très sommaire des sols de plate- forme permettant de prévoir une première classification de ces sols.

c) Commentaire

Dans les zones à faible relief, les sols de plate-forme seront ceux rencontrés dans le premier mètre et l'on peut organiser le mouvement des terres de façon à mettre en couche supérieure le meilleur sol pour autant qu'il soit en épaisseur suffisante.

Les sols sableux et graveleux seront classés en bon sol (S3 – S4).

La prise en compte des conditions de drainage et de climat permettent de modifier légèrement ces classements.

Dans les zones à terrassement important, sols meubles ou sols rocheux, il est très économique et sécuritaire de prévoir un matériau de bonne qualité en tête de plate-forme, surtout si celui-ci peut provenir des matériaux extraits en déblai. On peut donc presque toujours aboutir à une plate-forme en sol de bonne portance.

I.6- TACHE N° 6 : CONNAISSANCE DES MATERIAUX POUR CORPS DE CHAUSSEE

a) Données

- Données déjà recueillies en tâche n° 1.
- Résultats des tâches n° 1 et n° 4.
- Inventaire des ressources en matériau.

b) Exploitation des données

A partir des données, on doit juger :

- Si les ressources connues ou inventoriées sont satisfaisantes ou si les données sont relativement crédibles (actualisation).
- Sinon prévoir une enquête pour actualiser les données, pour diversifier les ressources connues ou pour inventorier de nouvelles ressources.

c) Commentaire

Dans certaines zones, les ressources disponibles sont relativement connues, ainsi que leur qualité et ce niveau de connaissance est suffisant pour l'étude de définition. De même, les zones pauvres en matériaux ou pauvres en matériaux de qualité, sont aussi généralement connues et il n'est pas nécessaire car peu rentable d'envisager une enquête complémentaire.

Dans les zones peu riches et surtout peu connues, une enquête sommaire auprès de l'administration, des autorités locales et des Entreprises Régionales, permet d'atteindre un niveau suffisant de connaissance du problème.

CHAPITRE II

ETUDE D'AVANT PROJET

L'étude géotechnique au niveau de l'étude d'avant-projet est dénommée reconnaissance normale. Elle comporte les tâches suivantes :

- Tâche n° 1 :** Etude du mouvement des terres (déblai, remblai).
- Tâche n° 2 :** Connaissance des matériaux d'emprunts pour terrassements.
- Tâche n° 3 :** Connaissance des matériaux pour corps de chaussée.
- Tâche n° 4 :** Détermination du corps de chaussée à partir des sols de l'arase de la plate-forme.
- Tâche n° 5 :** Détermination de la stabilité des déblais, des versants et des remblais de grande hauteur ou sur versant.
- Tâche n° 6 :** Détermination du type d'ouvrage sur tirs, sur sols compressibles, en zones marécageuses et autres zones difficiles (cavités, remblaiement ancien, etc...).

Pour les études d'avant-projet, on a défini 3 niveaux :

- a) Absence de difficultés et données suffisantes.
- b) Absence de difficultés et données insuffisantes.
- c) Présence de difficultés particulières.

Les tâches n° 5 et 6 sont spécifiques du niveau d'étude c.

A l'intérieur des tâches n° 1 à 4, on va distinguer essentiellement les niveaux a et b par la nécessité et l'importance de la reconnaissance géotechnique et des essais de laboratoire.

Pour ce qui est des études c, les tâches n° 1 à 4 peuvent être soit du niveau a, soit du niveau b.

II.1- TACHE N° 1 : ETUDE DU MOUVEMENT DES TERRES

a) Définition

Cette tâche a pour but de :

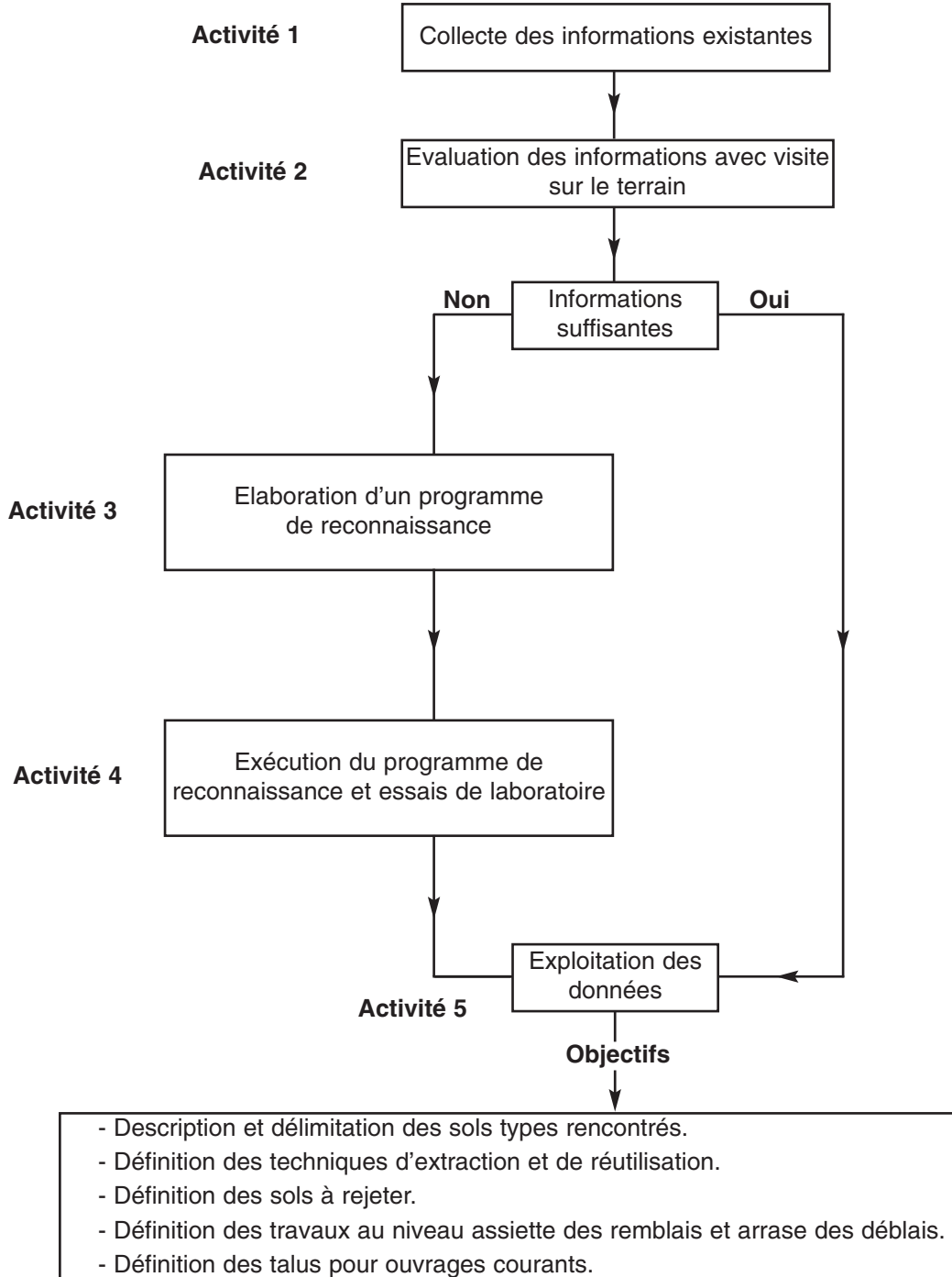
- Définir et délimiter tous les types de sols rencontrés en déblai.
- Définir les conditions de réutilisation, des sols meubles.
- Définir les conditions de réutilisation des sols rocheux.
- Définir les travaux à effectuer au niveau de l'assiette des remblais et de l'arase des déblais.
- Définir les pentes de talus (remblai et déblai) pour les ouvrages de faible hauteur, ne nécessitant pas d'étude spécifique (tâche n° 5).

b) Déroulement de la tâche

La tâche nécessite une série d'actions permettant d'aboutir à l'ensemble des objectifs décrits ci-dessus.

L'organigramme suivant, présente ces actions :

TACHE N° 1



ACTIVITE 1 : Collecte des informations existantes

Les informations existantes sont celles remises au niveau du projet de définition :

- Cartes géologiques et géotechniques.
- Dossier d'études géotechniques antérieures sur le tracé.

Si l'étude de définition a fait apparaître l'absence de données, on passe directement à l'activité 2.

ACTIVITE 2 : Evaluation des informations par une visite sur le terrain

La visite sur le terrain permet de juger si les informations recueillies peuvent être jugées suffisantes ou non, pour répondre aux objectifs assignés à cette tâche.

Dans le cas où un projet ancien existait et qu'il s'agit d'actualiser, il faut vérifier :

- Que les changements de projet sont de faible importance et n'intéressent pas des sols différents que ceux reconnus.
- Que les profondeurs des sondages de reconnaissance sont suffisantes pour atteindre la plate-forme future et reconnaître les sols sous-jacents sur au moins 70 cm.
- Que l'ensemble des sols a bien été reconnu et identifié.
- Que les données recueillies sur les sols permettent de prévoir les conditions de leur réutilisation.

Dans le cas où les données concernent des tracés voisins ou très proches, il faut estimer si la connaissance des sols fournie par ces données, permet d'alléger le programme de reconnaissance à prévoir.

Dans tous les cas, la visite doit permettre d'apprécier :

- le degré d'homogénéité probable des sols permettant une première estimation pour l'implantation de la reconnaissance,

- le degré des difficultés à prévoir pour choisir le type de reconnaissance le plus approprié (présence de sols meubles, semi compacts et compacts).

ACTIVITE 3 : Elaboration du programme de reconnaissance

Le programme de reconnaissance doit être élaboré à partir des données déjà obtenues en fin d'activité 2, notamment en ce qui concerne le degré d'homogénéité et le degré de difficultés. Ce programme doit définir les moyens de laboratoire à réaliser.

a) Les moyens de reconnaissance

En II.1-1 et II.1-2 sont présentés des tableaux permettant de choisir les moyens de reconnaissance en fonction des sols, de la profondeur des sondages et du résultat souhaité en indiquant les types d'échantillons prélevés et les difficultés pouvant être rencontrées.

Les sondages les plus utilisés sont :

- les puits manuels : sols meubles et rocheux jusqu'à 5 à 7 m ;
- les carrières à main : sols meubles fins jusqu'à 10 m permettant d'extrapoler entre puits manuels ;
- les carrières mécaniques : profondeur supérieure à 7 m en terrain meuble et compact avec prélèvement d'échantillon intact pour déblai important ;
- les sondages destructifs (pixie) ou les sondages mécaniques en terrain rocheux pour déblais importants.

Pour les carrières mécaniques et les sondages mécaniques, la vitesse d'avancement est un élément de reconnaissance.

- Les essais électriques sismiques en terrain rocheux et pour les ouvrages importants (autoroute).
- Il faut ajouter dans les moyens de reconnaissance les pénétromètres dynamiques qui permettent un profil de résistance des sols traversés. Ils doivent être associés à des sondages pour être exploités.

b) Implantation des sondages

b.1 Terrassements limités : cas des déblais de faible hauteur < 5 m et zone reconnue homogène.

- 1 puit par déblai et au moins tous les 500 m ;
- en sol meuble fin, 1 tranchée à main complémentaire entre puits ;
- en présence de socle rocheux, positionner le toit
- tranchée si possible
- sismique de surface (projets importants). Ceci permet en même temps d'avoir une idée sur la ripabilité du socle (à relier avec la microsismique).

b.2 Terrassements importants : cas des déblais de hauteur > 5 m et zone hétérogène.

- 1 puit par déblai si profondeur relativement faible ou au moins tous les 250 m.
- En sol fin meuble tranchée à main si possible : 1 entre chaque puit.
- Pour les profondeurs supérieures ou en présence des sols rocheux, sondages mécaniques et tranchées mécaniques couplés avec des pénétromètres dynamiques, 1 au moins tous les 250 m.
- Pour les sols rocheux reconnaissance sismique et microsismique couplées avec les sondages mécaniques.

c) Essais de laboratoire

c.1 Sols meubles :

* **Essai de nature**

- granulométrie
- limites d'Atterberg
- équivalent de sable
- valeur au bleu de méthylène
- teneur en matière organique (teneur en CaCO_3 en cas de sol tuffacé).

*** Essai d'état**

- teneur en eau
- densité apparente (échantillons intacts).

*** Essai comportement**

- essai Proctor par familles de sols dans les études de renforcement
- essai C.B.R pour les sols L.P.

c.2 Sols rocheux :

- Indice de discontinuité (vitesse du son)
- Essais mécaniques (traction et compression)
- Essais d'altérabilité.

ACTIVITE 4 : Exécution du programme de reconnaissance et des essais de Laboratoire

L'exécution du programme de reconnaissance permet :

– de dresser une coupe des sols rencontrés :

- directement pour les puits
- par observation des échantillons (tarrières)
- par observation des cuttings (sondage mécanique)
- à partir des mesures in-situ (sismique et électrique).

* Pour les sols meubles : description visuelle des formations, profondeur des formations, état d'humidité visuel ou mesuré, état de compacité.

* Pour les sols rocheux : (voir II. 3)

- dénomination des roches avec évaluation de leur état d'altération,
- description de leur état de discontinuité à partir des parois visibles et à partir des carottes,
- évaluation de l'altération et des discontinuités à partir de la vitesse d'avancement des engins de forage,
- profil sismique, électrique et microsismique.

- De positionner les nappes.
- D'identifier chaque famille de sols à partir des essais de laboratoire.

* Pour les sols meubles :

- classer les sols selon les classes L.P.C et R.T.R (II.2)
- évaluer les caractéristiques Proctor pour chaque famille de sols pour les études de renforcement.

* Pour les sols rocheux : (voir II.3).

- compléter la description de l'état de discontinuité et d'altération des sols rocheux déjà amorcée à partir de la reconnaissance et des essais in-situ.

ACTIVITE 5 : Exploitation des données

L'ingénieur géotechnicien doit exploiter les données brutes recueillies en fin d'activité 4 pour répondre aux objectifs prévus.

Objectif 1 : Description et délimitation de tous les types de sols rencontrés en déblais et arase de remblai.

- Il sera présenté une fiche par famille de sols ou de roches, dégageant les éléments caractéristiques d'identification et de comportement.
- Il sera dressé un profil en long présentant l'ensemble des coupes et les continuités prévisibles pour les diverses formations rencontrées ci-dessus décrites (niveau, épaisseur, etc...).

Objectif 2 : Définir les techniques de réutilisation des sols meubles.

- Le CPC (clauses techniques communes aux travaux de terrassement, fascicule 3) définit les conditions de réutilisation des sols, en particulier des sols meubles (II.4-1 à 4.3). L'application de ces spécifications permet de classer les sols réutilisables suivant la hauteur du remblai et la fonction (corps de remblai et couche de forme).
- La recommandation pour les Terrassements Routiers du SETRA-LCPC, permet en outre la définition des moyens

d'extraction et des moyens de mise en œuvre (traitement éventuel, épaisseur des couches, engin de compactage et énergie de compactage) des sols soit en cours de remblai, soit en couche de forme en fonction de leur nature, de leur état in-situ et des conditions météorologiques au moment du chantier.

L'utilisation de cette recommandation est expliquée en II. 5-1 à II.5-13.

Si les données existent à ce niveau, on peut donner toutes les indications utiles dès l'étude d'avant-projet. Si nécessaire, il faudra prévoir des reconnaissances complémentaires pour conclure au niveau de l'étude d'exécution. Dans la plupart des cas, c'est en phase d'exécution des travaux que seront finalisées les études de sols permettant de fixer les modalités d'extraction et de mise en œuvre.

Objectif 3 : Définir les conditions d'extraction et de réutilisation des sols rocheux.

Les conditions de réutilisation des sols rocheux, dépendent des moyens et résultats de l'extraction.

A partir des essais in-situ et des essais de Laboratoire, il faut définir :

- la rippabilité éventuelle des massifs ;
- la nature évolutive ou non évolutive des matériaux produits.

La définition des conditions d'extraction est faite à partir :

- des vitesses sismiques et microsismiques et de la nature de la roche,
- ou de sa nature, de son état et de ses caractéristiques mécaniques.

En II.6-1 à II.6-3 sont données des abaques permettant une première estimation; il y est rappelé aussi que la réalisation d'une tranchée expérimentale sera toujours très utile.

Pour ce qui est de la nature évolutive du produit, elle sera évaluée à partir des résistances mécaniques et des mesures d'altérabilité.

Les caractéristiques du produit d'extraction (après rippage ou minage)

ne seront pas toujours faciles à prévoir à ce cas de l'étude, car elles dépendront du type d'extraction finalement choisi. On doit cependant indiquer à partir des recommandations pour les terrassements routiers (II.5) les classes possibles de matériau.

Il conviendra pour les projets importants et dans le cas de zones homogènes, de prévoir une reconnaissance par tirs expérimentaux à réaliser au niveau du projet d'exécution.

Objectif 4 : Définir les travaux à effectuer au niveau de l'assiette des remblais et de l'arase des déblais.

Il s'agit d'une part, de prévoir l'épaisseur de terre végétale à décaper au niveau de l'assiette de remblais, et d'autre part, de prévoir les éventuelles couches de réglage (à inclure dans la couche de forme) au niveau de l'arase des déblais dans les zones où les affleurements rocheux ne permettront pas de dresser suffisamment la plate-forme.

Objectif 5 : Définir les pentes de talus (remblai et déblai) et leur protection pour les ouvrages de faible hauteur.

Les pentes de talus de remblai courant, sont de 2/3 (2 vertical pour 3 horizontal). Des équipements, type risberme, peuvent être prévus sur des remblais de hauteur dépassant 5 mètres. Des protections contre l'érodabilité sont aussi à prévoir : les sols érodables et les sols de protection sont donc à identifier.

La stabilité de la fondation des remblais, doit être assurée sinon on doit avoir recours à des études spécifiques (voir tâche n° 5).

Pour les talus de déblai de faible hauteur :

- en sols meubles cohérents, une pente de 1 / 2 (1 vertical pour 2 horizontal) est généralement retenue en l'absence de nappes,
- en sols meubles non cohérents (sables propres à très légèrement limoneux) suivant le frottement du sable, on peut aller à 1/2,5 (sols faiblement frottant) 2/3 (sol fortement frottant),

- en sols rocheux, les problèmes essentiels sont liés à la stratification et à la présence de cavités. Pour les hauteurs faibles (jusqu'à 10 m environ) des pentes raides peuvent être adoptées. En cas de cavités, une pente de 3/ 2 permet d'assurer une stabilité suffisante.

La présence de pendage défavorable dans le massif, peut amener à adoucir les pentes jusqu'à 1/1 et 2/3.

Dans le cas des roches très sensibles à l'altération de surface (schistes, etc...), il faut prévoir selon l'importance du projet des ouvrages de protection (risberme en pieds de talus, filet de protection, etc...).

D'autre part, pour les sites où des nappes ont été relevées pouvant affecter la stabilité des talus et les moyens de terrassement, il y a lieu de prévoir une étude de la nappe qui pourra se dérouler jusqu'au niveau du projet d'exécution.

II.2 TACHE N° 2 : CONNAISSANCE DES MATERIAUX D'EMPRUNTS POUR TERRASSEMENTS

a) Définition

Cette tâche a pour but :

- de localiser les gîtes les plus favorables
- d'évaluer les caractéristiques des matériaux.

Ces matériaux sont destinés à être utilisés en remblai courant, en remblai derrière les maçonneries et en couche de forme.

Il s'agit en quelque sorte de dresser un inventaire des matériaux utilisables le long du tracé.

Il s'agit essentiellement de matériaux meubles ou moyennement compacts. L'utilisation de gîtes de roches massives ne peut se justifier à lui seul pour des matériaux de remblai. Cependant des emprunts de roches utilisés par des matériaux de corps de chaussée peuvent fournir, en plus, des matériaux pour remblai ; il s'agit notamment des matériaux de scalpage ou des matériaux de découverte altérés (voir tâche n° 3).

b) Déroulement de l'étude

L'étude se déroule suivant le même schéma que celui présenté en tâche n° 1.

ACTIVITE 1 : Collecte des informations existantes

Les informations existantes concernent :

- les cartes géotechniques ou géologiques,
- les études géotechniques antérieures sur des zones d'emprunts,
- les inventaires régionaux de ressources en matériaux,
- les photographies aériennes.

Ces informations peuvent être complétées par des enquêtes auprès de la D.P.E concernée, des entreprises travaillant dans la région, des Laboratoires Régionaux du L.P.E.E.

Lors de l'étude de définition, certains de ces éléments ont déjà pu être réunis. Dans tous les cas, cette phase d'étude est nécessaire, car il faut absolument réunir le maximum d'informations avant de passer à l'activité 2.

ACTIVITE 2 : Visite sur le site pour évaluation des informations existantes et recueil d'informations complémentaires

Une visite sur les sites repérés à partir des documents existants est nécessaire pour vérifier :

- leur existence actuelle (les emprunts font souvent l'objet d'ouverture temporaire ou sont souvent épuisés par un chantier),
- les conditions éventuelles de leur réouverture,
- la possibilité d'ouverture de nouveaux sites sur des zones repérées à partir des documents géologiques et géotechniques.

D'autre part, au cours de cette visite, on mènera une enquête locale pour recueillir des informations sur les possibilités éventuelles en matériau, notamment auprès des agents des collectivités locales, des agents de l'Equipement, des petites entreprises locales, etc...

ACTIVITE 3 : Exploitation des données

Les données obtenues en fin d'activité 2, doivent être exploitées afin d'aboutir aux renseignements suivants :

- définir pour chaque gîte :
- la nature des matériaux par identification visuelle
- une évaluation des ressources disponibles
- positionner sur un plan les différents gîtes reconnus.

II.3-TACHE N° 3 : CONNAISSANCE DES MATERIAUX POUR CORPS DE CHAUSSEE

a) Définition

Cette tâche a pour but :

- d'identifier les gîtes à matériaux pour corps de chaussée,
- d'évaluer la qualité de ces matériaux.

Ces matériaux sont destinés à être utilisés en couche d'assise traitée ou non traitée.

b) Déroulement des études

l'étude se déroule suivant le même schéma.

ACTIVITE 1 : Collecte des informations existantes

Les informations existantes sont :

- les inventaires de carrières existants ou réalisés en cours d'étude de définition,
- les cartes géologiques ou géotechniques,
- les études géotechniques antérieures sur les ressources en matériaux de la région,
- les photographies aériennes.

Notamment, dans le cas où l'étude de définition n'a pas été complète, il convient d'enquêter auprès de la D.P.E, les entreprises travaillant dans

la région, des laboratoires du L.P.E.E et autres organismes utilisateurs des matériaux élaborés.

L'aide d'un géologue peut s'avérer très utile dès cette étape pour le niveau 2, à savoir la prospection de gîtes, pour définir à partir des cartes géologiques les possibilités éventuelles et orienter l'activité 2.

En fin d'activité 1, on doit dresser :

- une liste des ressources disponibles ou probables dont l'évaluation doit être effectuée en activité 2 ,
- définir les zones potentielles devant faire l'objet de la visite de l'activité 2.

ACTIVITE 2 : Evaluation des informations avec visite sur le terrain

L'évaluation des informations recueillies en activité 1, consiste à :

- vérifier l'existence des ressources listées et évaluer la consistance des données en relation avec l'état actuel des gisements,
- évaluer sur le terrain les zones potentielles repérées à partir des documents géologiques et délimiter les sites les plus appropriés afin d'orienter la reconnaissance.

La participation d'un géologue à cette activité de terrain, est d'autant plus importante que les ressources sont peu connues et qu'il s'agit de roches massives. Le géologue pouvant notamment, à partir des affleurements, estimer les possibilités de chacun des sites.

Pour cette évaluation, on peut retenir les principes suivants :

a) Cas des roches massives

*** *Gisement en cours d'exploitation* :**

L'étude du front de taille et les données géologiques et topographiques sont généralement suffisantes pour ce niveau d'étude.

*** *Affleurements* :**

Suivant le type de roches (calcaire, ou éruptive, ou métamorphique)

et la morphologie de l’affleurement, le géologue doit, à partir de simples prélèvements au niveau de l’affleurement, évaluer la qualité des matériaux et estimer autant que possible les valeurs exploitables.

b) Cas des gisements alluvionnaires :

Pour les gisements en cours d’exploitation, la qualité des matériaux et les mesures, devront être estimés au mieux. Pour les gisements potentiels, une reconnaissance sommaire peut être envisagée, mais elle est généralement reportée au niveau de l’exécution à charge de l’entreprise adjudicataire du marché.

ACTIVITE 3 : Exploitation des données

Les données recueillies en fin d’activité 2, doivent permettre :

- De positionner sur un plan contenant le tracé à étudier, l’ensemble des gîtes repérés ou étudiés en précisant la nature du gisement (alluvionnaire ou roche massive), le volume estimé de matériaux disponibles et leur utilisation possible.
- De dégager pour chaque couche de chaussée la provenance éventuelle des matériaux et leur affectation probable sur le profil en long.

L’utilisation des matériaux pour corps de chaussée doit être jugée à partir des caractéristiques exigées, résumées en II.7.

Les qualités intrinsèques du matériaux sont celles qui doivent toujours être connues.

Pour ce qui est de la qualité de fabrication, seul le cas des gisements déjà en exploitation, peut être envisagé.

II.4- TACHE N° 4 : DETERMINATION DU CORPS DE CHAUSSEE A PARTIR DES SOLS DE PLATE-FORME

a) Définition

Cette tâche a pour but de définir le long du tracé les structures du corps de chaussée à mettre en œuvre, compte tenu du trafic et des sols de plate-forme et éventuellement des structures déjà en place (cas des renforcements).

b) Déroulement de l'étude

Deux cas sont à considérer :

Cas 1 : Tracés neufs (en partie ou en totalité) pour lesquels des terrassements ont été prévus et pour lesquels les tâches 1 et 2 ont été effectuées.

Cas 2 : Tracés anciens avec reprise partielle du tracé existant (cas des routes non revêtues) ou avec renforcement de la chaussée déjà existante.

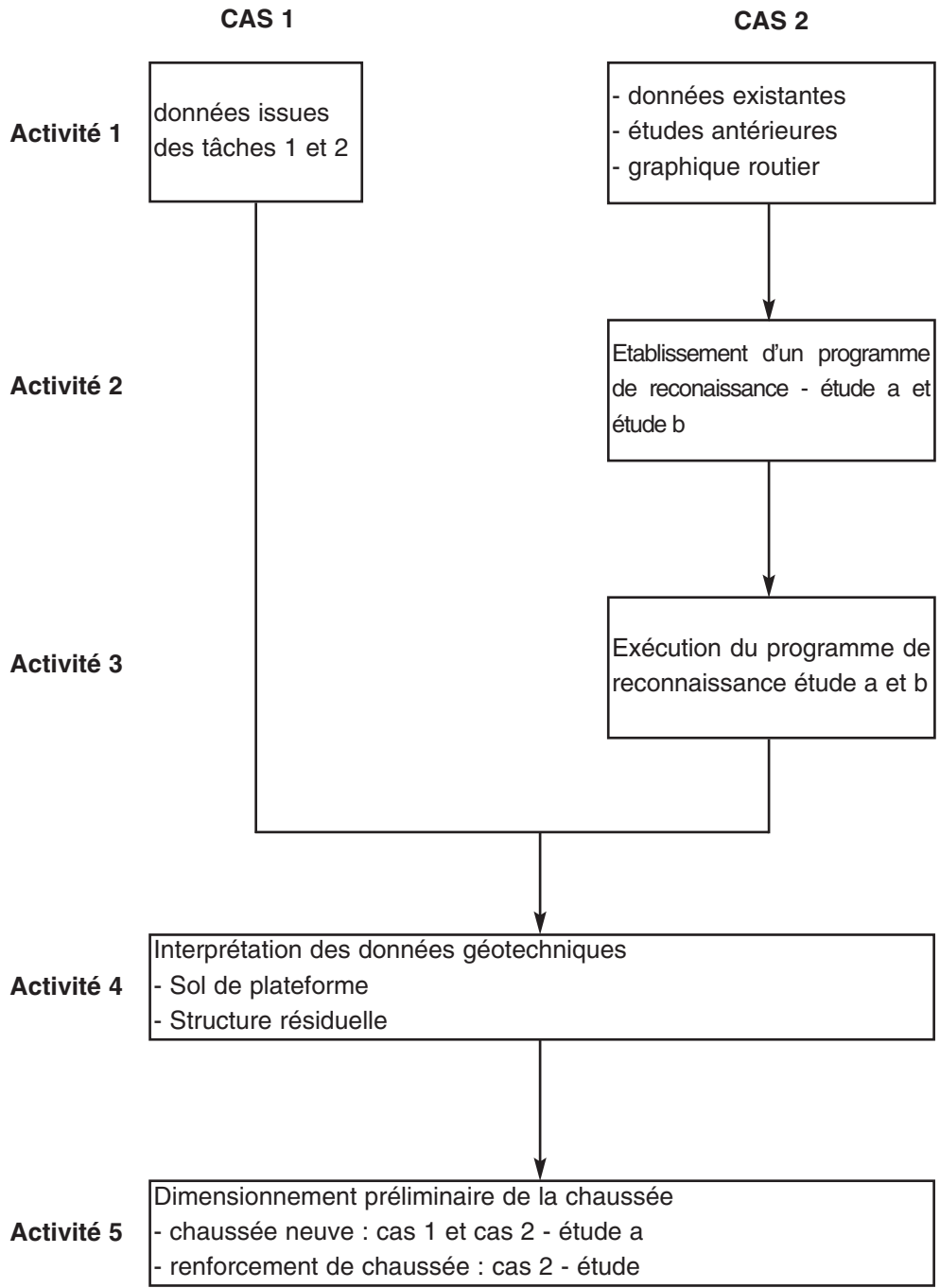
Le cas des rectifications de tracé est à assimiler au cas 1.

Le cas de construction de chaussées sur tracé ancien, peut être à la fois du cas 1 et du cas 2 suivant l'importance des rectifications éventuelles du tracé.

Cas 1 : Aucune reconnaissance n'est à prévoir, les résultats des tâches 1 et 2 doivent suffire à l'aboutissement de cette tâche.

Cas 2 : Une reconnaissance est à prévoir dans tous les cas.

Le déroulement des études peut donc être schématisé dans l'organigramme suivant :



ACTIVITE 1 : Recueil des données existantes

Cas 1 : Ces données sont directement issues des tâches 1 et 2 ci-dessus décrites.

Cas 2 : On doit réunir les dossiers d'études antérieures relatives au tronçon de route (étude de dimensionnement, étude de renforcement, dossiers de contrôle, expertise sur des points particuliers), ainsi que les données du graphique routier ou de la banque de données routières (déflexion, mesure d'uni, intervention d'entretien, coupes de chaussée, etc...).

ACTIVITE 2 : Etablissement d'un programme de reconnaissance

Cette activité n'intéresse que le cas 2. On doit distinguer entre :

- **Etude a)** plate-forme existante devant recevoir une chaussée (revêtue ou non revêtue).
- **Etude b)** chaussée ancienne revêtue devant être renforcée.

Etude a

On exécute des puits manuels sur 50 cm environ tous les 500 m avec prélèvement systématique du sol ou des sols, si le sol change sur ces 50 cm.

Etude b

On exécute des sondages manuels en tranchées à cheval sur la chaussée et l'accotement, pénétrant d'au moins 70 cm dans la chaussée. Si un élargissement a déjà été exécuté, le sondage doit être prolongé jusqu'à rencontrer l'ancienne chaussée.

La cadence normale est de 1 tranchée par km, cadence qui peut être augmentée ou diminuée suivant le degré d'homogénéité. Ici aussi on doit descendre d'au moins 50 cm dans le sol de plate-forme. En fond de sondage, on doit effectuer des essais de densité in-situ avec teneur en eau. Des prélèvements sont effectués sur le sol de plate-forme et les tout-venants des couches de base.

ACTIVITE 3 : Exécution du programme de reconnaissance

Ceci concerne les études a et b définies en activité 2.

Etude a

L'ingénieur géotechnicien implante les sondages de façon à représenter tous les sols observés visuellement sur le tracé.

Chaque sondage fait l'objet d'une coupe avec description des sols rencontrés et situation des prélèvements effectués.

Sur chaque prélèvement, est réalisé :

- Un essai granulométrique.
- Une mesure de propreté (limites d'Atterberg ou équivalent de sable).

Les sols sont regroupés par famille sur lesquelles sont réalisés :

- Un essai Proctor Modifié
- Un essai C.B.R à 3 énergies de compactage avec poinçonnement avant et après immersion de 4 jours.

Etude b : Etude de renforcement

L'ingénieur géotechnicien implante les sondages de façon à :

- représenter tous les sols rencontrés visuellement,
- représenter toutes les zones homogènes en état superficiel
- représenter toutes les zones homogènes en comportement structurel (définies à partir des déflexions, mesures d'uni, connaissance de la structure en place).

L'ingénieur doit effectuer un relevé visuel de l'état de la chaussée.

L'ingénieur doit relever tous les paramètres d'environnement influençant le comportement de la chaussée (état des annexes, profil, etc...).

Une coupe de chaque sondage avec description des différents matériaux rencontrés et niveau des prélèvements (tout-venant de couche de base et sol de plate-forme).

Des essais de densité in-situ et teneur en eau sont effectués.

Les essais d'identification (granulométrie, limites d'Atterberg ou équivalent de sable) sont effectués sur chaque sol ce qui permet leur identification et classification (voir II. 2), ainsi que sur le tout-venant en couche de base.

Des essais Proctor Modifié et C.B.R sont réalisés sur chaque famille de sols identifiés.

L'ensemble des éléments ainsi recueillis doit figurer sur un schéma itinéraire.

ACTIVITE 4 : Interprétation des données géotechniques recueillies

Cas 1 : étude de tracé neuf

Compte tenu des études de sols terrasses (tâche n° 1) et de la nature des sols d'emprunts (tâche n° 2), l'ingénieur géotechnicien peut proposer un mouvement des terres et définir ainsi les sols de plate-forme.

A partir des données et en utilisant la classification des sols en Si (voir II. 2-4), on définit ainsi la qualité de portance des sols le long du tracé neuf par section homogène.

A signaler, que dans la mesure du possible, compte tenu des sols rencontrés en déblai et suivant leur position le long du tracé, on a intérêt à assurer la meilleure plate-forme possible en utilisant en couche supérieure de remblai ou en couche de forme, les meilleurs sols ou les matériaux d'emprunt.

Cas 2 : Etude de tracé ancien

a) Etude de tracé ancien à revêtir :

A partir des identifications visuelles, des coupes de sondage et des essais de Laboratoire, on classe les sols de plate-forme suivant la classe Si (voir II. 2- 4) et on détermine des zones homogènes de sol de même classification le long du tracé.

Les caractéristiques mécaniques (Proctor) permettront d'établir les densités minimales à exiger lors du compactage du fond de forme.

b) Etude de renforcement de chaussée ancienne

A partir des observations visuelles et des identifications de Laboratoire, on définit des zones homogènes :

- en nature de sol de plate-forme
- en nature et épaisseur de corps de chaussée
- en comportement de chaussée
- état de dégradation, etc...
- ou (et) déflexions voisines
- ou (et) mesures d'uni proches

On définit aussi les valeurs résiduelles des chaussées existantes.

ACTIVITE 5 : Dimensionnement préliminaire de la chaussée

Pour les dimensionnements de chaussée, on doit distinguer en :

- Dimensionnement de chaussées neuves (cas 1 et cas 2 - étude a).
- Dimensionnement de renforcement de chaussées anciennes (cas 2 - étude b).

5.1-Dimensionnement de chaussée neuve

Le dimensionnement de chaussée se fait à l'aide du catalogue des structures de chaussées neuves (voir II. 8). Ceci s'applique aussi aux élargissements de chaussée existante.

A partir de la connaissance du trafic et de la classe du sol par zone homogène et des conditions climatiques (zone aride et non aride séparées par l'isohyète de 250 mm) on utilise les structures type 1 ou 2 (enrobé ou revêtement superficiel).

A signaler qu'en classe de trafic T2 deux types de structure sont possibles.

5.2-Dimensionnement de renforcement

Le dimensionnement du renforcement peut se faire de deux façons :

– Soit on compare la chaussée existante (valeur résiduelle) à une chaussée neuve nécessaire pour le sol et le trafic donné puis par différence, on obtient le renforcement nécessaire. Cette voie a été utilisée à partir des méthodes de dimensionnement de chaussées neuves internationales A.A.S.H.T.O, ROAD NOTE 29 et ROAD NOTE 31.

La valeur résiduelle de la chaussée existante peut être estimée à partir des structures observées in-situ et de leur état soit d'une façon globale par une mesure de déflexion. Alors la méthode utilisée est la T.R.R. L LR 571.

– Soit en utilisant des catalogues de renforcement qui, à partir du trafic et d'une autre entrée, caractérisant de façon globale l'état de la chaussée, sa déformabilité et le sol en place, permet de déterminer des structures types de renforcement. C'est le cas de la méthode du SETRA-LCPC.

Une méthode de ce type est en cours de mise au point au niveau national : il s'agit du Manuel de renforcement des chaussées neuves.

En II.9, sont réunies les méthodes de dimensionnement évoquées, antérieurement utilisées :

- A.A.S.H.T.O (chaussée neuve)
- ROAD NOTE 29 (chaussée neuve)
- ROAD NOTE 31 (chaussée neuve)
- Abaques TRRL – LR 571 (déflexion – renforcement)
- Fiches catalogue renforcement SETRA- LCPC.

II.5 TACHE N° 5 : DETERMINATION DE LA STABILITE DES DEBLAIS DES VERSANTS ET DES REMBLAIS DE GRANDE HAUTEUR OU SUR VERSANTS

a) Définition

Cette tâche a pour but :

- de définir les pentes possibles des talus de déblai en fonction de la hauteur du déblai en sols meubles et rocheux,
- de prévoir les éléments de confortement nécessaires,
- d'étudier la stabilité des versants et de prévoir toutes les actions améliorant la stabilité pouvant être utilisées et les études à poursuivre pour un dimensionnement définitif,
- de définir les pentes de talus de grand remblai et leurs équipements pour assurer la stabilité,
- de définir les hauteurs maximales des remblais sur versants inclinés.

En ce qui concerne la stabilité des talus et déblai et remblai au niveau de l'avant projet, on doit à partir de données géotechniques, définir de façon globale les hauteurs maximales en fonction de pentes. L'étude des cas particuliers est repoussée au niveau du projet d'exécution, mais les grandes lignes des solutions à adopter doivent être définies à ce niveau d'étude.

Pour les versants instables, le projet de définition doit avoir situé les zones à problèmes et les grandes options doivent avoir été fixées à ce niveau (rectification du tracé, aménagement du tracé pour diminuer les terrassements, acceptation d'instabilité ponctuelle, etc...).

Dès l'étude d'avant-projet, les zones instables rencontrées sur le tracé choisi, doivent être étudiées de façon définitive mais cependant, l'étude peut se réaliser en deux phases si la première étude indiquait la nécessité de reconnaître de nouveaux paramètres ou d'approfondir les études déjà programmées. Même si l'étude n'est pas conclue au niveau de l'avant-projet, des éléments importants seront déjà dégagés permettant d'envisager les solutions à choisir au niveau du projet d'exécution.

b) Déroulement de l'étude

Ces études doivent s'appuyer sur un programme de reconnaissance spécifique à élaborer après visite sur le terrain.

Le déroulement de ces études est le suivant :

- 1) Elaboration d'un programme de reconnaissance.
- 2) Exécution de ce programme.
- 3) Exploitation des données recueillies.

ACTIVITE 1 : Elaboration d'un programme de reconnaissance

En ce qui concerne cette activité, il faut généralement distinguer entre sols meubles et sols rocheux. D'autre part sur les zones instables un travail important de géologie doit être effectué avant toute définition d'un programme de reconnaissance.

a) Moyens de reconnaissance

En sols meubles, les moyens de reconnaissance sont :

- des puits manuels mais leur utilisation est souvent limitée par la profondeur à atteindre ;
- des tarières mécaniques ou à la main sur des profondeurs allant jusqu'à 10 à 15 m suivant le sol ;
- des pénétromètres dynamiques pour définir l'épaisseur de sols meubles et situer les zones de résistance faible.

En sols rocheux, les sondages destructifs avec diagraphie, seront utilisés après étalonnage sur 1 ou 2 sondages carottés, ceci pour les déblais les plus importants. Le relevé de la fracturation du massif est un élément important de l'étude.

Dans les zones instables et dans les déblais en sols meubles, on aura intérêt à poser des piézomètres pour l'étude des nappes et de leur variation.

b) Implantation des sondages

Les sondages doivent être implantés de façon à reconnaître les zones potentielles de glissement après déblaiement, ce qui peut inclure les zones au delà de la crête du talus. Le tableau 1 présenté en II.10 peut aider à implanter les sondages en fonction des ruptures potentielles.

c) Prélèvements et essais

C.1-Sols meubles

Des prélèvements intacts doivent être opérés au niveau de chacune des couches rencontrées afin de subir des essais mécaniques après identification du sol (granulométrie et limites d'Atterberg).

Les essais doivent permettre de définir les caractéristiques à court terme et à long terme.

A titre d'exemple, on présente ci-joint un tableau des caractéristiques mécaniques à prendre en compte pour la stabilité des talus argileux.

TYPE D'ARGILE		TALUS ARTIFICIELS		PENTES NATURELLES	
		stabilité		DUREE DE L'ORDRE DE	
		à court terme	à long terme	100 ans	1.000 ans
PREMIER GLISSEMENT	Molle, normalement Consolidée (1)	$C_u ; \varphi_u$	$C' ; \varphi'$	$C' ; \varphi'$	$C'_p ; \varphi'_p$
	Légèrement sur-consolidée intacte (1)	$C_{up} ; \varphi_u$	$C' ; \varphi'$	$C' ; \varphi'$	$C_p ; \varphi'_p$
	Raide intacte	$C_{up} ; \varphi_u$	$C'_p ; \varphi'_p$	$C'_p ; \varphi'_p$	$C'_p ; \varphi'_p$
	Raide fissurée	$C_{up} ; \varphi_{up}$	$C'_p ; \varphi'_p$	$C' \# 0 ; \varphi'$	$C' \# 0 ; \varphi'_p$
	Argile Litée(2)	$C' \# 0 ; \varphi'$	$C' \# 0 ; \varphi'$	$C' \# 0 ; \varphi'$	$C' \# 0 ; \varphi'_p$
Glissement sur une surface de rupture préexistante		$C_r ; \varphi_r$	$C_r ; \varphi_r$	$C_r ; \varphi_r$	$C_r ; \varphi_r$

Définitions

C_u	et	φ_u	Caractéristiques maximales (Pic)	} à l'essai non drainé
C_{up}	et	φ_{up}	Caractéristiques de palier	
C'	et	φ'	Caractéristiques effectives maximales (Pic)	
C'_p	et	φ'_p	Caractéristiques effectives prises au palier	
C_r	et	φ_r	Caractéristiques résiduelles.	

Observations

- (1) Dans chaque cas on a fait figurer C et φ pour avoir un tableau complet. Il est bien certain que dans le cas des argiles molles, il n'y a pas de pic, donc $\varphi' = \varphi'_p$. De même si les argiles sont saturées on a $\varphi_u = 0$.
- (2) Le drainage peut se faire très rapidement, dans ce cas on pourra utilement vérifier le calcul avec C_u et φ_u , et prendre le cas le plus défavorable.

ACTIVITE 2 : Exécution du programme de reconnaissance et d'essai

Le programme de reconnaissance exécuté doit permettre de fournir les éléments suivants :

a) Cas des zones instables

- Etude géomorphologique présentant l'ensemble de la zone instable avec ses accidents,

- Une présentation des coupes de sondage avec description visuelle des formations et niveau des nappes,
- Une description des caractéristiques géotechniques et mécaniques des sols (caractéristiques résiduelles en particulier),
- Une définition d'un programme complémentaire d'investigation si nécessaire.

b) Déblais en sols meubles

Une coupe en travers du déblai à partir des différentes reconnaissances avec description des sols et valeur des teneurs en eau,

- la position de la nappe,
- les caractéristiques géotechniques et mécaniques des couches de sol rencontrées dans les talus jusqu'à des profondeurs susceptibles d'être atteintes par des surfaces de glissement.

c) Déblai en sol rocheux

- Une présentation des pendages et fracturation des massifs,
- Délimitation entre sols meubles et sols rocheux traversés par le même déblai.

d) Versants devant recevoir un remblai

- Coupes des sols jusqu'au socle rocheux ou sur une épaisseur suffisante (1 à 1,5 fois la hauteur du remblai).

ACTIVITE 3 : Exploitation des données recueillies

a) Cas des zones instables

On doit présenter une étude déterminant le fonctionnement de l'instabilité et les moyens de réduire cette instabilité (drainage, soutènement) et l'effet de la construction de l'ouvrage routier (remblai, déblai).

b) Déblais en sols meubles

Une analyse de la stabilité des pentes en sols meuble est faite en fonction des caractéristiques des sols, de la géométrie prévue des pentes et des conditions d'écoulement de nappe.

En II.10-2 est présentée la méthode d'analyse d'équilibre avec surface de glissement. En II.10-3 – II.10-4 et II.10-5 sont présentés les formules et les abaques les plus utilisés pour aborder ces problèmes.

c) Déblais en sols rocheux

On étudie la stabilité des déblais rocheux

En II.10-6 présentés les cas les plus fréquents d'étude (glissement plan suivant un joint, glissement en coin ou dièdre, fauchage). Des travaux de parades peuvent être prévus, en II.10-7 sont présentées les différentes parades actives et passives utilisées dans le cas des déblais rocheux.

d) Remblais sur versants inclinés et grands remblais

Des abaques spéciaux ont été élaborés pour étudier la stabilité des remblais sur versants (II.10-4 – II.2), suivant les mêmes principes que ceux utilisés pour la stabilité des pentes avec ici surface de glissement dans le massif de fondation.

Des adoucissements de pente ou des banquettes peuvent être prévues pour assurer la stabilité des remblais.

II.6-TACHE N° 6 : DETERMINATION DU TYPE D'OUVRAGE SUR TIRS, SUR SOLS COMPRESSIBLES EN ZONES DE MARECAGES ET AUTRES SITES DIFFICILES

a) Définition

Dans cette tâche, ont été rassemblées des études diverses concernant des problèmes très spécifiques :

- *Chaussées sur tirs* : type de construction à adopter sur sols tirseux caractérisés par des variations volumétriques importantes et un comportement de sols à grains fins érodables.
- *Traversée de vallées sur sols compressibles* : détermination des phases de construction et des procédés de consolidation.
- *Traversée des zones marécageuses* : détermination des procédés de construction.
- *Traversée des zones remblayées et non consolidées* : détermination des procédés de consolidation et de construction.
- *Traversée des zones à cavités* : procédé de construction.

b) Chaussée sur tirs

b.1-Identification du sol

Lors de la reconnaissance des sols effectués en tâche 1 ou tâche n° 4, on a pu rencontrer des sols tirsifiés.

La vérification de cette nature tirseuse nécessite la réalisation d'essai complémentaire tel que la limite de retrait.

b.2-Coupe géotechnique

On rencontre les sols tirsifiés sous deux formes :

- en épaisseur faible (de 30 à 50 cm) sur des sols limoneux ou des tufs (zone de la Chaouia et des Doukkalas par exemple),
- en épaisseur importante supérieure à 1 m (zone du Gharb par exemple).

De plus la topographie est généralement très plate dans les zones des sols tirseux.

b.3-Structure de chaussée

Compte tenu des coupes géotechniques, on peut adopter :

- pour les faibles épaisseurs deux types de solution :
 - curage des sols tirseux et remplacement par des sols de meilleure qualité.
 - mise en place d'une couche de forme sur sol tirseux et adoption du profil en travers recommandé dans le catalogue de structure de chaussée neuve (voir II. 11).
- Pour les fortes épaisseurs : la deuxième solution doit être adoptée.

c) Traversée de vallée sur sols compressibles

L'étude nécessite l'élaboration d'un programme de reconnaissance, d'essais in-situ et en laboratoire et son exécution avant de pouvoir définir les dispositions constructives.

Cette étude doit être menée de façon approfondie dès l'avant-projet, car très souvent les dispositions constructives imposent des délais importants et deviennent un point critique pour la réalisation du chantier.

c.1-Reconnaissance et essais

*** *Moyens de reconnaissance :***

Les moyens de reconnaissance sont :

- les pénétromètres statiques ou éventuellement dynamiques pour déterminer les différents niveaux de passage sableux, bedrock ;
- les carrières avec prélèvement d'échantillons intacts et remaniés pour reconnaître l'ensemble des sols traversés.

Il faut signaler ici les techniques très particulières nécessaires au prélèvement d'échantillons intacts valables.

*** *Essais in-situ :***

Il s'agit essentiellement :

- de scissomètre (évaluation de Cu) ;
- de perméabilité (pompage ou injection).

*** Implantation des sondages :**

Il faut utiliser l'ensemble des moyens de reconnaissance pour collecter le maximum de renseignements, la densité de la reconnaissance dépendant de l'hétérogénéité constatée.

On a l'habitude en première étape de distinguer entre la traversée de petites vallées et d'une grande étendue homogène.

- Dans le cas des petites vallées, une maille élémentaire de 500 m est reconnue par :
 - 4 à 5 essais pénétrométriques
 - 3 ou 4 essais scissométriques
 - 1 sondage par prélèvements intacts et remaniés.
- Dans le cas d'une grande zone homogène, la maille de reconnaissance est plus grande : 2.000 à 3.000 m.

*** Essais en Laboratoire**

- Sur les échantillons remaniés, on effectue les essais d'identification (granulométrie, limites d'Atterberg, teneur en matières organiques, teneur en eau),
- Sur les échantillons intacts, on effectue des essais mécaniques :
 - Oedomètres avec mesure de coefficient de consolidation et mesure de perméabilité
 - Essais triaxiaux UU ou UC
- Sur les matériaux d'emprunts pour remblai (voir tâche n° 2) caractéristiques mécaniques (C , φ et γ_d).

c.2-Données recueillies

L'ensemble des données recueillies doit permettre :

- de présenter une coupe suivant le profil en long avec épaisseur et nature de chaque couche de sols et niveau de la nappe ;
- de définir pour chaque type de sols des caractéristiques moyennes de compressibilité, de perméabilité et de résistance ;
- de définir les caractéristiques de matériau de remblai issues de la tâche n° 2.

c.3-Exploitation des données

* Des calculs de stabilité de remblai en fonction de la hauteur de remblaiement et du temps de consolidation, doivent permettre d'établir un programme de chargement et de montée du remblai avec vérification de stabilité à chaque niveau (voir II.10- 4 – II.1).

* Des dispositifs de drainage, de surcharge et de banquettes doivent être étudiés et comparés pour permettre un choix du type de construction (voir II.10-4 – II.1 et ouvrages spécialisés et exemple II.10-8).

* Un programme complémentaire de reconnaissance sera élaboré en fonction des problèmes rencontrés (hétérogénéité, profondeur, etc...) et des traitements proposés (curage, drainage interne, etc ...).

d) Traversées de zones marécageuses

Une reconnaissance doit être réalisée pour définir les types de sols rencontrés par tarières et pénétromètres.

Si l'on rencontre des sols meubles non compressibles ou des sols rocheux, seule la constitution du remblai doit être définie en fonction des résultats de la tâche n° 4.

En présence de sols mous compressibles, on se ramène à l'étude définie en c avec la particularité de la présence permanente d'une nappe. Différents procédés de construction peuvent être étudiés. De plus une prospection pour drainer les eaux stagnantes peut être envisagée au moins durant la période des travaux.

e) Cavités

La détection des cavités doit s'appuyer sur une étude géologique des formations traversées.

Au niveau des ouvrages, leur connaissance offre un caractère particulièrement important. Dans le cas des remblais ou des plateformes, il peut y avoir lieu d'effectuer des purges locales.

Seules les grandes cavités pouvant entraîner un effondrement méritent une reconnaissance. Il est cependant assez difficile de les déceler, seule la gravimétrie permet d'approcher ce problème.

On aura avantage à procéder cas par cas et surtout à évaluer les risques réels de rencontrer de tels problèmes.

f) Anciens remblaiements

C'est le cas des remblaiements d'anciennes carrières ou d'anciens canaux, ces problèmes sont généralement situés en zone urbaine ou sururbaine.

La connaissance de la profondeur de la zone remblayée et du type de remblaiement, nécessite l'utilisation de pénétromètre, de puits ou même de tranchées. Le caractère hétérogène général de ces remblaiements doit être pris en compte. Suivant l'importance de l'ouvrage (autoroute, accès urbain, etc...) les risques encourus devront être estimés. Une construction par étapes est souvent recommandée pour évaluer les hypothèses retenues.

CHAPITRE III

ETUDE D'EXECUTION

L'étude géotechnique au niveau de l'étude d'exécution est dénommée reconnaissance complémentaire. Elle comporte les tâches suivantes :

Tâche n° 1 : Etude du mouvement des terres (fin calage de la ligne rouge).

Tâche n° 2 : Caractéristiques des matériaux pour remblai et pour corps de chaussée.

Tâche n° 3 : Définition des structures de chaussée et d'accotement.

Tâche n° 4 : Définition des traitements spécifiques pour les talus de déblai et les versants (établissement des profils en travers).

Tâche n° 5 : Définition des traitements spécifiques pour les remblais sur sols compressibles, sur versants ou de grande hauteur (établissement des profils en travers).

On rencontre en fait trois situations :

a) Le projet se déroule en site homogène et sans rencontrer de difficultés. Dans ce cas, seules les trois premières tâches seront exécutées et elles consisteront essentiellement en l'exploitation des données déjà recueillies au niveau de l'avant-projet. Cette situation est par la suite appelée : **cas a.**

b) Le projet se déroule en site hétérogène, toujours sans rencontrer de difficultés. Dans ce cas, seules les trois premières tâches seront exécutées, mais leur contenu sera plus consistant puisqu'il s'agira par des reconnaissances de compléter les données de l'avant-projet pour aboutir à un niveau d'information satisfaisant. Cette situation est par la suite appelée : **cas b.**

c) Le projet rencontre des difficultés particulières qui nécessite l'exécution des tâches n° 4 et n° 5 en plus des tâches n° 1 à 3. Cette situation est appelée : **cas c**.

III.1-TACHE N° 1 : DEFINITION DU MOUVEMENT DES TERRES

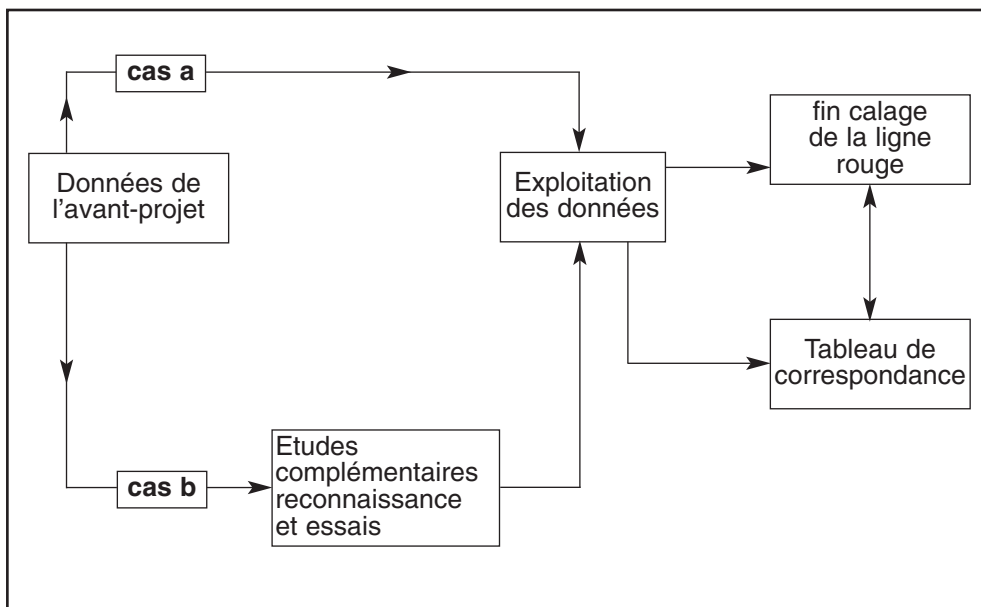
a) Définition

Cette étude a pour but d'élaborer un tableau de correspondance des déblais et remblais, prévoyant les conditions d'extraction et de réutilisation des sols meubles ou rocheux qui seront précisées en début d'exécution des travaux.

A partir de ce tableau de correspondance, le projeteur pourra élaborer un ou plusieurs mouvements des terres, suivant diverses hypothèses (traitement, emprunt, types d'engins, période de terrassement, etc...).

b) Déroulement de l'étude

L'étude se déroule suivant l'organigramme suivant :



ACTIVITE 1 : Collecte des données issues de l'avant- projet

A partir de ces données, on juge de l'homogénéité des sols rencontrés.

Dans le cas b : site hétérogène, il peut s'avérer nécessaire de compléter les informations recueillies au niveau de l'avant-projet.

Il est d'ailleurs probable que cette conclusion ait déjà été présentée enfin de tâche n° 1 de l'étude d'avant-projet.

ACTIVITE 2 : Etudes complémentaires

Dans le cas b, un programme de reconnaissance in-situ et d'essais (in-situ et en Laboratoire) doit être élaboré.

Les moyens de reconnaissance sont ceux déjà décrits en avant-projet (voir II.1).

Compte tenu de l'hétérogénéité déjà constatée, il convient de resserrer la reconnaissance afin de mieux maîtriser les variations des différents paramètres (nature du sol, profondeur des couches, etc...). Dans les déblais importants et pour étudier les variations dans le profil en travers, les reconnaissances sont multipliées, on pourra atteindre en moyenne 1 sondage tous les 50 à 100 m avec parfois 2 à 3 sondages sur le même profil en travers.

Dans le cas des sols rocheux, il peut être prévu un chantier expérimental (tir, rippage, etc...) dans une zone représentative et pour autant que le volume (donc le coût) des travaux le justifie.

Les essais à réaliser sont ceux décrits à l'avant-projet. Ils doivent permettre de recalculer tous les sols rencontrés avec ceux décrits en avant-projet et éventuellement définir les nouvelles familles de sols qui auraient pu apparaître (voir II.2 et II.3).

La reconnaissance et les essais exécutés doivent permettre (voir tâche n° 1 de l'avant-projet – Activité 4) :

- de compléter les coupes de sols par déblais et suivant les profils en travers, si nécessaire, pour les sols meubles et rocheux;
- de positionner les nappes avec leur variation;
- de compléter l'identification des familles de sols.

ACTIVITE 3 : Exploitation des données

Les résultats de la tâche n° 1 de l'avant- projet seront complétés, à savoir :

- description et délimitation de tous les types de sols rencontrés;
- évaluation des techniques d'extraction et de réutilisation des sols meubles et sols rocheux (Il. 5 et Il. 6) ;
- définition des travaux à effectuer au niveau de l'assiette des remblais et de l'arase des déblais ;
- définir les ouvrages spécifiques de protection des talus.

Enfin il doit être présenté un tableau de correspondance définissant pour chaque type de sols localisé les prescriptions à respecter pour leur mise en dépôt ou réutilisation. C'est à partir de ce tableau de correspondance que le projeteur choisira la ou (les) stratégie (s) de terrassement et calera la ligne rouge définitive, ce qui lui permettra de connaître l'équilibre du mouvement des terres avec son éventuel déficit ou excès.

III.2-TACHE N° 2 : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX POUR REMBLAIS ET CORPS DE CHAUSSEE

a) Définition

Cette étude a pour but :

De compléter si nécessaire la caractérisation des matériaux à produire pour élaborer des spécifications.

A partir de ces éléments, le projeteur doit proposer une stratégie d'approvisionnement le long du tracé à partir des différents emprunts et gîtes.

Ayant défini les besoins en matériaux d'emprunt en fin de tâche n° 1 (équilibre du mouvement des terres), le projeteur à partir d'une stratégie de terrassement doit estimer les possibilités offertes par les emprunts inventoriés en étude d'avant-projet et définir les caractéristiques minimales à respecter pour ces matériaux.

En ce qui concerne les gîtes à matériaux pour corps de chaussée, le premier dimensionnement effectué à l'avant-projet a permis de faire des choix de structure, d'autre part l'inventaire des gîtes à matériaux de l'avant-projet a aussi défini les matériaux utilisables.

III.3-TACHE N° 3 : DEFINITION DES STRUCTURES DE CHAUSSEES ET D'ACCOTEMENT

a) Définition

Cette étude a pour but de finaliser les structures de chaussée et d'accotement à partir de la stratégie de terrassement et du fin calage de la ligne rouge qui ont fait l'objet de la tâche n° 1.

b) Déroulement de l'étude

b.1-Dans le cas des *tracés anciens* à revêtir ou à renforcer, l'étude d'avant-projet a déjà permis d'aboutir au dimensionnement de la chaussée et des accotements, seuls sont à prendre en compte les résultats de la tâche n° 2 concernant les matériaux de corps de chaussée et à les affecter sur le linéaire de la chaussée en précisant les spécifications des matériaux.

b.2-dans le cas des *tracés neufs*, soit directement à partir des résultats de l'avant-projet (cas a), soit à partir des résultats de la tâche n° 1 de la présente étude (cas b), on peut identifier à partir d'une stratégie de terrassement quels sont les sols en tête de plateforme avec ou sans couche de forme.

Le dimensionnement s'effectue alors comme exposé dans la tâche n° 4 de l'avant-projet et suivant les règles rappelées en II.8.

Les dispositions concernant l'utilisation des gîtes d'emprunts pour couche de forme doivent être précisées.

L'utilisation des gîtes à matériaux et des spécifications retenues doivent être précisées.

III.4-TACHE N° 4 : DEFINITION DES TRAITEMENTS SPECIFIQUES POUR LES TALUS DE DEBLAIS ET LES VERSANTS

a) Définition

Cette tâche a pour but de fixer les profils en travers des déblais et versants, compte tenu des ouvrages confortatifs. Elle s'applique aux projets où des difficultés particulières ont été rencontrées au niveau de l'avant-projet.

Tous les éléments permettant au projeteur de définir le profil en travers et les différentes possibilités d'ouvrages stabilisateurs et confortatifs doivent être fournis.

b) Déroulement de l'étude

Cette étude n'est réalisée que dans les zones où l'étude d'avant-projet n'a pas permis d'aboutir à une solution définitive par manque d'informations.

L'étude doit donc comporter :

Activité 1 : élaboration d'un programme de reconnaissance et d'essais

Activité 2 : exécution du programme

Activité 3 : exploitation des données.

ACTIVITE 1 : Elaboration d'un programme de reconnaissance et d'essais

Les moyens de reconnaissance tant en sols meubles que rocheux sont ceux décrits lors de la tâche n° 5 de l'avant-projet.

A partir des résultats de l'étude d'avant-projet, une implantation doit être étudiée pour répondre aux incertitudes qui demeurent.

Les études de nappe commencées au niveau de l'avant-projet sont poursuivies.

Les essais d'identification et mécaniques sont ceux décrits dans la même tâche. Il s'agit de confirmer les résultats déjà obtenus ou d'identifier d'éventuelles formations nouvellement rencontrées.

ACTIVITE 2 : Exécution du programme

Les reconnaissances effectuées viennent compléter les informations déjà recueillies en fin d'avant-projet pour :

- affiner l'étude géomorphologique des versants,
- compléter les coupes et les profils en travers des formations traversées;
- confirmer les caractéristiques géotechniques de ces formations ou définir les mêmes caractéristiques pour les formations nouvellement rencontrées.

ACTIVITE 3 : Exploitation des données

L'exploitation des données recueillies doit permettre :

- de définir l'équilibre des talus selon la pente et la hauteur (II.10-2 à II. 10-5).
- de calculer la poussée des terres et la stabilité des ouvrages de soutènement (mur, gabion, ancrage, etc...),
- d'implanter et dimensionner les ouvrages de drainage interne (épis drainants, masque, drains subhorizontaux, etc...),
- de prévoir les dispositifs de parades pour les déblais rocheux (II. 10-6 et II. 10-7).

III.5-TACHE N° 5 : DEFINITION DES TRAITEMENTS SPECIFIQUES POUR LES REMBLAIS SUR SOLS COMPRESSIBLES, SUR VERSANTS OU DE GRANDE HAUTEUR

a) Définition

Cette tâche a pour but de fournir les éléments géotechniques nécessaires, pour fixer les profils en travers et les travaux confortatifs

prévus pour l'exécution des remblais sur sols compressibles ou sur versants ainsi que pour les remblais de grande hauteur.

Cette tâche vient compléter les résultats déjà obtenus au niveau de l'avant-projet et ne se justifie que pour les zones où des difficultés particulières sont rencontrées (hétérogénéité, variation de nappe, etc...).

b) Déroulement de l'étude

L'étude est basée sur l'exploitation des données d'avant-projet.

ACTIVITE 1 : Elaboration d'un programme de reconnaissance et d'essais

a) Remblais sur sols compressibles

Les moyens de reconnaissance sont ceux définis en avant-projet.

Devant l'hétérogénéité rencontrée en avant-projet ou devant l'étendue de la zone, la fréquence de la reconnaissance doit être étendue, on peut envisager aller jusqu'à :

- 1 sondage par 100 m sur les petites vallées hétérogènes.
- 1 par 500 m pour les grandes étendues plus homogènes.

Les prélèvements et essais in-situ (scissomètre) sont à effectuer de façon à couvrir l'ensemble des sols avec leur variation.

La connaissance des perméabilités in-situ est importante et des essais doivent être réalisés dans les sondages par injection ou pompage.

En Laboratoire, on doit compléter la connaissance de la compressibilité du temps de consolidation et de la perméabilité parallèlement aux essais mécaniques (triaxial et cisaillement).

b) Remblais sur versants

La reconnaissance doit être approfondie sur les zones présentant

les risques maximums d'instabilité par sondages sur le profil en travers avec les moyens décrits en avant-projet.

Les essais mécaniques peuvent s'avérer nécessaires pour compléter l'identification des caractéristiques des formations impliquées en fondation.

c) Remblais de grande hauteur

La reconnaissance du sol de fondation peut être approfondie pour évaluer l'importance du tassement si celui-ci a paru préjudiciable lors de l'avant-projet.

Les moyens à mettre en œuvre sont identiques à ceux de l'avant-projet.

ACTIVITE 2 : Exécution du programme

a) Remblais sur sols compressibles

L'exécution du programme doit permettre :

- de compléter les coupes suivant profil en long et en travers de l'avant-projet ;
- de compléter les données géotechniques concernant les formations traversées, à partir des essais in-situ et en Laboratoire ;
- de définir les caractéristiques mécaniques des matériaux de remblais choisis en fin de tâche n° 2.

b) Remblais sur versants

L'exécution du programme permet de compléter les coupes de sols sous remblai avec détermination des caractéristiques mécaniques des formations rencontrées.

c) Remblais de grande hauteur

D'une part on présente les coupes de sondage avec résultats des essais de compressibilité et d'autre part, on définit les caractéristiques des matériaux de remblai en fin de tâche n° 1 et n° 2.

ACTIVITE 3 : Exploitation des données

a) Remblais sur sols compressibles

On doit présenter différentes solutions de construction en dégageant le délai de construction nécessaire pour chacune d'elles.

- Curage partiel ou total.
- Chargement progressif avec surcharge éventuelle.
- Dispositifs de drainage interne (puits verticaux, etc...).
- Dispositifs de banquette de stabilité.
- Choix des matériaux de remblai.

Les calculs sont effectués selon les abaques indiqués en II.10-4 –II.1 et II.10-8).

Le projeteur pourra choisir la solution la plus adaptée aux contraintes de temps et de coût.

b) Remblais sur versants

On doit présenter les dispositifs constructifs assurant la stabilité:

- pentes des talus ;
- ouvrages de soutènement ;
- éventuel drainage interne.

c) Remblais de grande hauteur

On présente :

- les choix de matériaux du corps de remblai ;
- les choix des équipements des talus (banquettes, protection contre l'érosion, etc...) ;
- les tassements prévisibles et l'influence sur les ouvrages de rétablissement du drainage.

PARTIE II

Dans cette partie, sont remis des documents permettant au géotechnicien d'exploiter les données géotechniques recueillies pour aboutir à des propositions constructives et de dimensionnement.

– Il s'agit généralement d'extraits de documents plus complets auxquels l'ingénieur aura intérêt à se référer pour l'utilisation des documents présentés.

CHAPITRE I

MOYENS DE RECONNAISSANCE GEOTECHNIQUE

Ces tableaux permettent de choisir le moyen de reconnaissance le plus approprié en fonction du problème rencontré, des sols en place et des prélèvements envisagés. Y figurent également les essais in-situ possibles, les difficultés que l'on peut rencontrer ainsi que quelques observations relatives à leur utilisation.

TYPE	PROFONDEUR MAXI	SOLS	NAPPE	DIFFICULTES	ECHANTILLONS	ESSAIS POSSIBLES	OBSERVATIONS
Puits manuels	5 à 7 m	- Tous sols excepté sable (étayage) - Sols rocheux (marteau piqueur) + compresseur	En cas de Nappe arrêt En sol Meuble	- obstacle dangereux (zone urbaine) - risque d'éboulis	Intacts et remaniés possibles (boîtes paraffines)	Essais in-situ (y d W-cisaillement Essai de plaque tous essais de labo. sur prélèvement	Très recommandé car permet de voir les formations
Tarrière à main	10 m	Sols fins	Si nappe en terrain sableux arrêt	Présence d'un seul caillou peut arrêter la tarrière faire attention pour la détermination des troits rocheux	remaniés	Essais in-situ (perméabilité) essais d'ident. sur prélèvement	Difficultés de préciser la côte de chacune des formations traversées à 20 ou 30 cm près.
Pelle Mécanique	5 à 7 m	Tous sols non rocheux et sols rocheux altérés	Arrêt avec nappe	Très destructifs Obstacle dangereux	Intacts et remaniés	Tous essais in-situ et en laboratoire	permet l'observation utilisé peu avant les trav.

TYPE	PROFONDEUR MAXI	SOLS	NAPPE	DIFFICULTES	ECHANTILLONS	ESSAIS POSSIBLES	OBSERVATIONS
Tarrière mécanique	20 à 30 m	Sol meuble	Niveau relevable des qu'atteint	Limitation suivant la compacité du sol et les éboulements éventuels	Remanié continu intact possible avec équipement	In-situ perméabilité - en labo identification	Permet une reconnaissance plus profonde précision de la coupe 0,50 m
Sondeuses mécaniques	30 m	Tous sols même rocheux	Après tubage et attente de la stabil.	Matériel assez lourd demandant un accès parfois coûteux	Remaniés possibles intacts avec équipement spécifique	Vitesse d'avancement essais sur échantillon intact en laboratoire	Il faut faire attention à la qualité du pré. intact en fonct. du type de sol
Pénétromètre dynamique		Sols Meubles	Présence de nappe possible mais pas toujours détectable	Nécessité la proximité de sondage pour caler les résultats	non	Résistance à l'avancement	Utile pour détec- -mination du toit rocheux attention aux niveaux caillouteux et aux zones d'altération

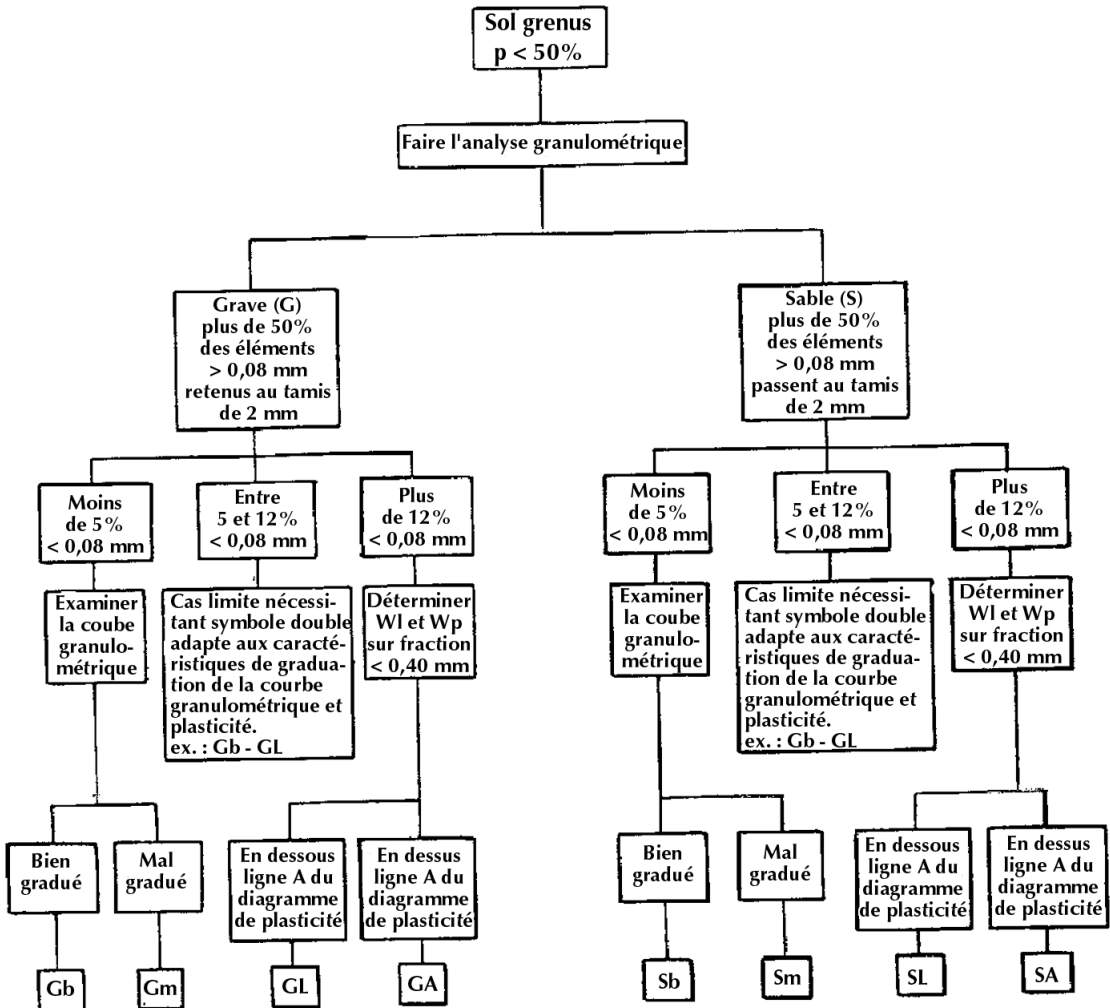
CHAPITRE II

CLASSIFICATION DES SOLS

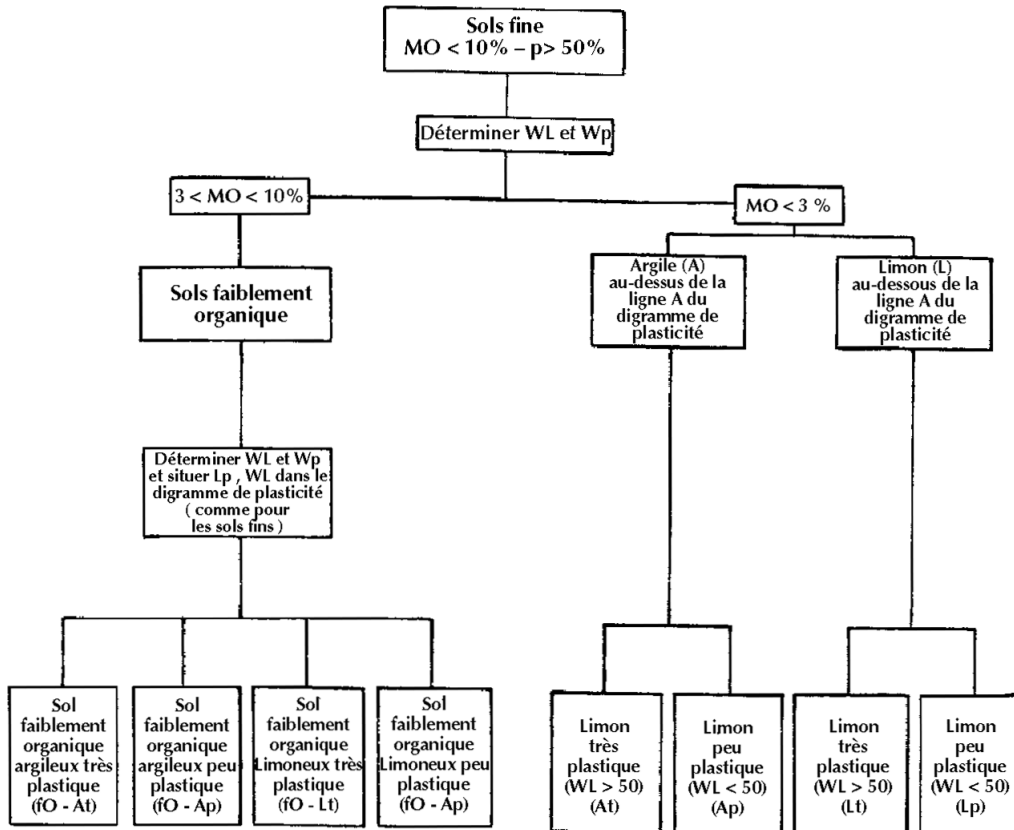
Dans ce chapitre sont présentés les systèmes de classification les plus utilisés en géotechnique routière à savoir :

- Classification L.P.C.
- Classification R.T.R.
- Classification du Catalogue Marocain des Structures de chaussées neuves.

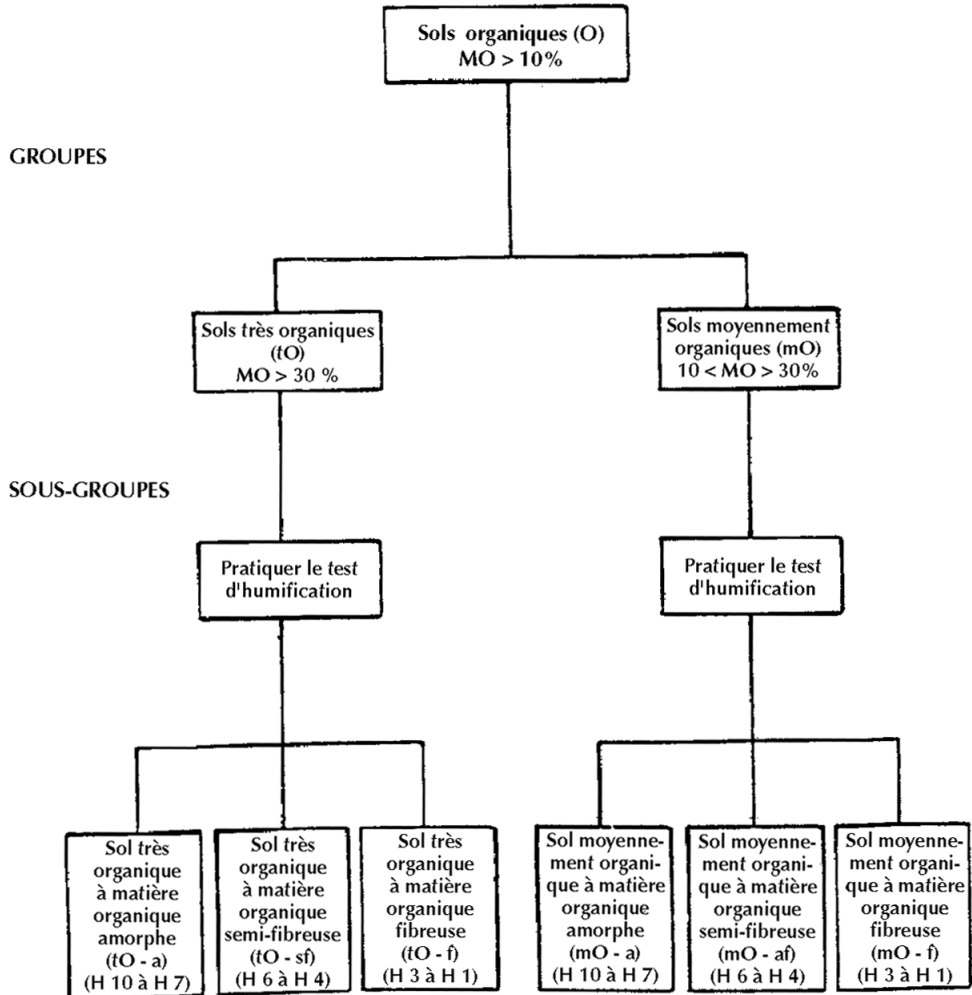
II. 2-1-CLASSIFICATION L.P.C.



II. 2-1-CLASSIFICATION L.P.C.



II. 2-2 CLASSIFICATION L.P.C.(Suite)



II. 2-3 CLASSIFICATION DES SOLS R.T.R.

Sols fins. A	D < 50 mm Tamisat à 80µm > 35%	lp < 10		A1	
		10 < lp < 20		A2	
		20 < lp < 20		A3	
		lp > 50		A4	
Sols sableux et graveleux avec fines. B	D < 50 mm Tamisat à 60 µm entre 5 et 35%	Tamisat à 80 µm de 5 à 12%	Refus à 2 mm inférieur à 30%	ES > 35	B1
				ES < 35	B2
			Refus à 2 mm supérieur à 30%	ES > 25	B3
				ES < 25	B4
		Tamisat à 80 µm de 12 à 35%	lp < 10		B5
			lp > 10		B6
Sols comportant des fines et des gros éléments. C	D > 50 mm Tamisat à 60 µm > 5%	Tamisat à 80 µm élevé		C1	
		Tamisat à 80 µm faible	D < 250 mm	C2	
			D > 250 mm	C3	
Sols et roches intensibles à l'eau. D	Tamisat à 80 µm < 5%	D < 50 mm	Refus à 2 mm inférieur à 30%	D1	
			Refus à 2 mm supérieur à 30%	D2	
		50 mm < D < 250 mm		D3	
		D > 250 mm		D4	
Roches évolutives E	Matériaux à structure fine, fragile avec peu ou pas d'argile	NON CONSIDÉRÉS DANS CE DOCUMENT		E1	
				Matériaux à structure grossière, fragile avec peu ou pas d'argile	E2
					Matériaux évolutifs argileux.
Matériaux putres- cibles, combusti- bles, solubles ou polluants. F					

II-2-4 DETERMINATION DE LA CLASSE DE SOLS

CLASSIFICATION	Limites d'Atterberg WL= limite de liquidité IP = Indice de plasticité	Indice portant CBR	Zone non aride		Zone aride				
			Régime hydraulique	Classe du sol	Conditions Hydrauliques particulières	Classement du sol			
Sols grenus sablo-graveleux ayant moins de 50% passant à 0,080 mm	Sols graveleux moins de 50% de la fraction retenue à 2mm						S 4		
								Gb-Gm graves propres	
		IP < 7 IP > 7						S 4	
									GL graves limoneuses
		WL > 50% IP > 0,73 (WL-20)						S 4	
									GA graves argileuses
	Sols sableux plus de 50% de la fraction retenue à 0,080 mm	Sols sableux plus de 50% de la fraction retenue à 2 mm						S 3	
									Sb - Sm Sables propres
			IP < 7 IP > 7						S 3
		WL > 50% IP > 0,73 (WL-20)						S 3	
									SA Sables argileux
Sols fins limono - argileux		Sols fins plus de 50% passant à 0,080 mm						S 3	
									Lp Limons
			WL < 50% IP < 0,73 (WL-20)						S 3
		IP > 0,73 (WL-20)						S 3	
									Lt - Of Limons très plastiques
		WL < 50% IP > 0,73 (WL-20)						S 2	
									At Argiles très plastiques

Dans le cas de conditions hydraulique particulières dans la zone aride (Zone irriguée - Zone inondable annuellement - nappes peu profondes dans les sols fins limono-argileux) adopter le classement des zones non arides pour bon régime hydraulique).

Voir note de recommandations n°1
 Voir note de recommandations n°1

CHAPITRE III

CLASSIFICATION DES ROCHES

Est présentée ici une classification des roches et des massifs rocheux, en vue de leur réutilisation en remblai ou leur exploitation en carrière.

1) Dénomination des roches

ROCHES ERUPTIVES	Famille des Granites	<i>Granite</i> , granulite, granodiorite. Syénite, microgranite, rhyolite. Rhyodacite, trachyte, tuf...
	Famille des Diorites	<i>Diorite</i> , diorite quartzique, microdiorite andésite, dacite, trachyandésite, lamprophyre...
	Famille des Basaltes et Gabbros	<i>Gabbro</i> , dolérite, diabase, ophite basalte, trapp, serpentinite, Péridotite...
ROCHES METAMORPHIQUES	Roches métamorphiques massives	<i>Gneiss</i> , amphibolites, cornéennes quartzites, marbres, calcaires leptynites, cristallins, migmatites
	Roches métamorphiques schisteuses	<i>Schistes</i> , micaschistes, phyllades ardoises, calcschistes, schistes cristallins
ROCHES SEDIMENTAIRES	Roches sédimentaires Carbonatées	<i>Calcaires</i> , craies, dolomies, cargneules, travertins
	Roches sédimentaires Siliceuses	<i>Grès</i> , grès quartzitiques molasses, meulière, silex arbores
	Roches sédimentaires Carbonato-silicatées	<i>Marnes</i> , calcaires marneux, argiles, grauwacks
	Roches solubles	Sel gemme, gypse, anhydrite, potasse

2) Description du massif rocheux

2.1-Description de l'état d'altération du massif rocheux

Classe	Description	Terminologie
AM 1	Pas de signe visible d'altération ou très légères traces d'altération limitées aux surfaces des discontinuités principales.	Sain
AM 2	Les surfaces des discontinuités principales sont altérées mais la roche n'est que légèrement altérée.	Légèrement altéré
AM 3	L'altération s'étend à toute la masse rocheuse, mais la roche n'est pas friable.	Moyennement altéré
AM 4	L'altération s'étend à toute la masse rocheuse et la roche est en grande partie friable.	Très altéré
AM 5	La roche est entièrement décomposée et très friable. Cependant, la texture et la structure de la roche sont conservées.	Complètement altéré

Notes

(1) Dans le cas des roches altérées contenant un fort pourcentage de minéraux argileux le matériau peut présenter de la plasticité plutôt que de la friabilité.

(2) Lorsque cela est possible, on précisera s'il s'agit d'une altération essentiellement météorique ou d'une altération d'origine profonde, hydrothermale

2.2-Etat de discontinuité du massif rocheux

a) L'état est décrit par deux paramètres :

- le nombre N de formules principales de discontinuité (joints de stratification, litage, schistosité, diaclase).

Classe		Description
N 1		<i>Pas de discontinuité ou quelques discontinuités diffuses.</i>
N 2	a	<i>Une famille principale.</i>
	b	<i>Une famille principale et des discontinuités diffuses.</i>
N 3	a	<i>Deux familles principales.</i>
	b	<i>Deux familles principales et des discontinuités diffuses.</i>
N 4	a	<i>Trois (et plus) familles principales.</i>
	b	<i>Trois (et plus) familles principales et des discontinuités diffuses.</i>
N 5		<i>Nombreuses discontinuités sans hiérarchisation si constance dans la répartition.</i>

– l'emplacement S ou E (cm) entre les discontinuités de chaque famille.

Classe		(S) ou (E) (cm)	Description	
Espacement	Epaisseur		Espacement des discontinuités d'une famille	Epaisseur des bancs
S1	E1	200	Discontinuités très espacées	Bancs très épais
S2	E2	60 à 200	Discontinuités espacées	Bancs épais
S3	E3	20 à 60	Discontinuités moyennement espacées	Bancs moyennement épais
S4	E4	6 à 20	Discontinuités rapprochées	Bancs minces
S5	E5	6	Discontinuités très rapprochées	Bancs très minces

b) Autre méthode : évaluation de l'intervalle ID en cm entre les discontinuités mesurées le long d'une ligne tracée sur l'affleurement, la paroi de la tranchée, etc..

Classe	Intervalles entre les discontinuités ID (cm)	Densité de discontinuités dans le massif rocheux
ID 1	> 200	Très faible
ID 2	60 à 200	Faible
ID 3	20 à 60	Moyenne
ID 4	6 à 20	Forte
ID 5	< 6	Très forte

c) Autre méthode à partir des carottes prélevées

* Indice R.Q.D (Rock Quality Désignation)

$$R.Q.D = 100 \times \frac{\sum \text{longueur de carottes de longueur} \geq 10 \text{ cm}}{\text{Longueur de la passe de carottage}}$$

* ou on utilise les carottes prélevées pour déterminer un I.D comme ci-dessus.

3) Etat de la roche

3.1 Indice de continuité : rapport de la célérité des ondes de compression V_1 dans la roche sèche avec la valeur théorique $V1^*$ (m/s).

Roches	$V1^*$ (m/s).
Granites	6.000
Diorites	6.500
Gabbros	7.000
Roches métamorphiques	6.000
Amphibolites	6.500
Roches carbonatées	6.500
Roches siliceuses	6.000
$IC = \frac{V1}{V1^*} \times 100$	

Classe	Indice IC de la roche IQ (%)	Densité de microfissures et pores	Continuité
IC1	100/90	Nulle	Très forte
IC2	90 à 75	Faible	Forte
IC3	75 à 50	Moyenne	Moyenne
IC4	50 à 25	Elevée	Faible
IC5	25 à 0	Très élevée	Très faible

3.2-Résistance de la roche

Résistance à la compression axial (préciser l'orientation par rapport à une direction de la roche ou du massif).

Classe	Résistance σ_c (Mpa)	Description
R 1	> 200	Résistance très élevée
R 2	200 à 60	Résistance élevée
R 3	60 à 20	Résistance moyenne
R 4	20 à 6	Résistance faible
R 5	< 6	Résistance très faible

3.3-Abrasivité de la roche

Cette abrasivité est définie à l'abrasimétrie L.C.P.C.

Classe	Coefficient d'abrasivité ABR g/t	Description de l'abrasivité
ABR 1	< 500	Très faible
ABR 2	500 à 100	Faible
ABR 3	1.000 à 1.500	Moyenne
ABR 4	1.000 à 2.000	Forte
ABR 5	> 2.000	Très forte

CHAPITRE IV

DOCUMENTS TECHNIQUES ISSUS DU C.P.C.

Dans ce chapitre sont reproduits des extraits du C.P.C – Fascicule n° 3 concernant les clauses techniques communes aux travaux de terrassement.

Il permet de vérifier la conformité des sols avec leur réutilisation en remblai ou en couche de forme.

EXTRAIT C.P.C – FASCICULE N° 3
Clauses techniques communes aux travaux de terrassement

CHAPITRE I

QUALITE ET PREPARATION DES MATERIAUX

Article 1 – TERRE VEGETALE POUR REVETEMENT

La terre choisie pour le revêtement des surfaces destinées à être plantées sera choisie parmi les terres locales les plus propres à la végétation.

Article 2 – SOLS POUR REMBLAIS

Tous les sols mis en remblais devront être exempts d'éléments végétaux de toute nature, de toute quantité appréciable d'humus et d'éléments dont la plus grande dimension excède les 2/3 de l'épaisseur de la couche élémentaire du remblai. Toutefois, pour la couche supérieure du remblai, la plus grande dimension des éléments n'excédera pas deux cents (200) millimètres.

Sous ces conditions sont utilisables ou réutilisables en remblai les sols suivants :

1) Sols utilisables sans restriction :

a) Les sols rocheux non évolutifs

b) Les sols grenus de la classification LPC à l'exception :

- des sols Sm, Sm SL et SM SA :
- des sols GL, GA, SL et SA ayant un pourcentage de fines (passant à 0,08 mm) supérieur à 35 % et un indice de plasticité supérieur à 20.

c) Les sols fins autres qu'organiques de la classification LPC dont l'indice de plasticité est inférieur à 20.

2) Sols utilisables avec les précautions ci-après :

a) Hauteur de remblai limité à huit (8) mètres pour :

- Les sols fins dont l'indice de plasticité est compris entre 20 et 50 et dont le produit du pourcentage des fines (passant à 0,08 mm) par l'indice de plasticité est inférieur à 2.500.
- Les sols grenus ayant un pourcentage de fines (passant à 0,08 mm) supérieur à 35 % et un indice de plasticité compris entre 20 et 50.

b) Couverture de protection anti-érosive dont l'épaisseur sera au minimum de quinze (15) centimètres pour les sols grenus des types Sm SI, Sm SA et Sm.

c) Traitement ou protection à définir par un laboratoire agréé, pour les sols fins dont l'indice de plasticité est supérieur à 50 et les roches évolutives.

Pour l'application des dispositions de l'alinéa 2a, la hauteur de remblai à prendre en compte est la distance verticale mesurée à l'axe de la route, qui sépare le terrain naturel du niveau supérieur de la plate-forme.

Les traitements et protection des sols visés aux alinéas 2b et 2c ne seront à la charge de l'Entrepreneur que s'ils sont prescrits explicitement par le CPS.

Les conditions d'utilisation de différentes natures de sol peuvent être assorties, à la demande de l'ingénieur Subdivisionnaire, de mesures spécifiques destinées à rendre l'état du sol contraintes météorologiques. Ces mesures dont la charge incombe à l'Entrepreneur, portent sur les modalités d'extraction et de correction de la teneur en eau sans apport d'un liant ou d'un réactif.

Article 3 – EAU DE COMPACTAGE

L'eau nécessaire au compactage des remblais ne sera pas boueuse et ne devra pas contenir de matières organiques en suspension.

L'eau saumâtre pourra être utilisée après accord de l'ingénieur Subdivisionnaire sauf aux abords des ouvrages.

L'addition éventuelle de produits destinés à faciliter le compactage ne pourra se faire qu'après son accord. L'accord précisera les modalités d'utilisation de ces produits.

Article 4 – SOLS POUR COUCHE DE FORME

Les sols pour couche de forme ne devront pas avoir d'éléments dont la plus grande dimension excède cent (100) millimètres.

Sous ces conditions sont utilisables ou réutilisables en couche de forme les sols suivants :

a) Sans traitement

- Les sols grenus de la classification LPC, dont l'indice de plasticité est inférieur à 10, à l'exception des sols Sm, Sm SI, Sm SA.
- Les sols rocheux non évolutifs bien gradués.

b) Avec traitement à définir par un Laboratoire agréé.

- Les sols dont l'indice de plasticité est inférieur à 20 ainsi que les sols des types Sm, Sm SL et Sm SA.

Si le CPS l'exige , les sols pour couche de forme devront en outre respecter la règle des filtres vis-à-vis des remblais en place.

Article 5 – SOLS POUR COUVERTURE DE PROTECTION

Les sols à utiliser en couverture de protection des remblais érodables ne devront pas avoir d'éléments dont la plus grande dimension excède cent (100) millimètres.

Ils devront en outre avoir les qualités exigées de sols de remblai, les sols des types Sm, Sm SL et Sm Sa étant exclus.

Article 6 – VERIFICATION QUALITATIVE DES SOLS

6.1-A défaut de stipulation contrainte du C.P.S, les sols pour remblai et l'eau de compactage ne seront soumis à des contrôles de qualité que si l'ingénieur Subdivisionnaire le prescrit.

CHAPITRE V

UTILISATION DE LA RECOMMANDATION POUR LES TERRASSEMENTS ROUTIERS

La R.T.R est un document du SETRA – LCPC composé de quatre volumes.

Les extraits présentés ici, comportent :

- un rappel de la classification du sol (nature et état) ;
- une description des conditions de réutilisation en remblai, compte tenu des conditions météorologiques ;
- une présentation des moyens de mise en œuvre avec une liste de classification de compacteurs vibrants et à pneus.

On a de plus présenté un exemple d'utilisation pour le choix d'une stratégie de terrassement, permettant d'élaborer un tableau de correspondance et de définir les types d'engins souhaités pour le chantier.

a) Classification du sol

A partir de l'identification du sol, on classe le sol suivant la classification ci-après :

Sols fins. A	D < 50 mm Tamis à 90 µm > 35%	Ip < 10		A1	
		10 < Ip < 20		A2	
		20 < Ip < 20		A3	
		Ip > 20		A4	
Sols sableux et graveleux avec fines. B	D < 50 mm Tamis à 60 µm entre 5 et 35%	Tamis à 90 µm de 5 à 12%	Refus à 2 mm Inférieur à 30%	ES > 35	B1
			ES < 35	B2	
		Tamis à 90 µm de 12 à 35%	Refus à 2 mm supérieur à 30%	ES > 25	B3
				ES < 25	B4
		Ip < 10		B5	
		Ip > 10		B6	
Sols comportant des fines et des gras éléments. C	D > 50 mm Tamis à 60 µm > 5%	Tamis à 90 µm élevé		C1	
		Tamis à 90 µm faible	D < 250 mm	C2	
			D > 250 mm	C3	
Sols et roches insolubles à l'eau. D	Tamis à 90 µm < 5%	D < 50 mm	Refus à 2 mm Inférieur à 30%	D1	
			Refus à 2 mm supérieur à 30%	D2	
		50 mm < D < 250 mm		D3	
		D > 250 mm		D4	
Roches évolutes E	Matériaux à structure fine, fragile avec peu ou pas d'argile	NON CONSIDERES DANS CE DOCUMENT		E1	
				E2	
				E3	
Matériaux pulvérisables, combustibles, solubles ou pathogènes. F				F	

b) Etat du sol

En fonction de la teneur en eau en place, chaque sol se voit attribuer un indice d'état.

- h = humide
- m = moyen
- s = sec

EXEMPLE

Classification

C

Sols comportant des fines et des gros éléments

– D > 50mm ; tamisat à 80 µm > 5 %

SOUS-CLASSE		SOLS LES PLUS FRÉQUEMENT RENCONTRÉS	CARACTÈRES PRINCIPAUX	CLASSEMENT D'APRÈS L'ÉTAT DU SOL		
< 80 µm	D			MOYENS D'ÉVALUATION DE L'ÉTAT	CAS POSSIBLES	COMMENTAIRES
Élevé (> 10 à 20% selon que la granulométrie est plus ou moins continue)	C1 (pas de condition sur D pour la classe C1)	Argiles à silex. Argiles à meulière. Eboulis. Moraines. Roches altérées. Alluvions grossières.	Le pourcentage de fines (< 80 µm) définissant cette classe correspond au fait que les gros éléments sont noyés dans la fraction plastique du matériau; le comportement global du sol se rapproche donc de celui de cette fraction. Si la granulométrie du sol est nettement discontinue le tamisat à 80 µm doit atteindre environ 20%; si elle est plus continue, ce tamisat est plus faible. Le comportement de la fraction fine dépend de sa plasticité (cf. caractères principaux des sols de la classe A).	L'état du sol est déterminé par la teneur en eau de la fraction inférieure à 20 mm; on peut : - déterminer le CBR immédiat sur cette fraction ; - ou mesurer sa teneur en eau et la comparer à W_{OPN} ; - ou évaluer visuellement la consistance du matériau.	C _{1h} Teneur en eau élevée.	Les limites entre les teneurs en eaux élevés, moyenne et faible sont fonction de la plasticité de la fraction fine du sol (cf. classe A). Le plus souvent on peut considérer que w est élevée si : CBR < 3 ou $w > W_{OPN} + 4$
					C _{1m} Teneur en eau moyenne.	Le plus souvent si: 3 < CBR < 15 ou $W_{OPN} - 2 < w < W_{OPN} + 4$
					C _{1s} Teneur en eau faible.	Le plus souvent si: CBR > 15 ou $W_{OPN} - 2 < w < W_{OPN} + 4$
Faible (< 10 à 20% selon que la granulométrie est plus ou moins continue)	C ₂ (D < 250 mm)	Argiles à silex. Argiles à meulière. Eboulis. Moraines. Roches altérées. Alluvions grossières.	Lorsque ces sols sont dans un état relativement compact il y a contact entre les éléments de la fraction granulaire. La fraction fine intervient cependant sur le comportement, notamment en rendant le sol peu perméable et en réduisant la profondeur d'action des compacteurs.	L'état du sol dépend de la teneur en eau de la fraction < 20 mm, mais il est difficile en pratique de déterminer cette teneur en eau (volume important de matériau à manipuler, risque de manque de représentativité des prélèvements). C'est pourquoi aucune valeur chiffrée ne figure dans la colonne "commentaires". En pratique l'évaluation de la consistance de la fraction plastique se fait par examen direct du sol.	C _{2h}	
					C _{2m}	
					C _{2s}	
Faible (< 10 à 20% selon que la granulométrie est plus ou moins continue)	C ₃ (D > 250 mm)	Argiles à silex. Argiles à meulière. Eboulis. Moraines. Roches altérées. Alluvions grossières.	Mêmes caractères que les sols C ₂ , avec en plus la présence de gros éléments constituant un obstacle au réglage des couches et au réglage des plates-formes.	L'état du sol dépend de la teneur en eau de la fraction < 20 mm, mais il est difficile en pratique de déterminer cette teneur en eau (volume important de matériau à manipuler, risque de manque de représentativité des prélèvements). C'est pourquoi aucune valeur chiffrée ne figure dans la colonne "commentaires". En pratique l'évaluation de la consistance de la fraction plastique se fait par examen direct du sol.	C _{2h}	
					C _{2m}	
					C _{1s}	

c) Réutilisation du sol

Suivant la classe du sol et son état, les conditions de sa réutilisation en remblai, ou en couche de forme, est définie par une série de tableaux.

On donne ci-après l'exemple d'un sol de classe C_1 - tableaux C_1 et C_2 ; puis un résumé concernant l'ensemble des sols (tableau C_3).

La colonne 5 présente un résumé du contenu de la colonne précédente. Le code est le suivant :

- Chaque fois qu'aucune indication particulière n'a été jugée nécessaire dans une rubrique déterminée, le code correspondant est O ;
- La signification des autres chiffres est la suivante pour chaque rubrique, sous réserve des précisions et des nuances explicitées dans la colonne 4 :

E (extraction)

- 1 – extraction en couche.
- 2 – extraction frontale.
- 3 – extraction sous l'eau avec lavage.

W (action sur la teneur en eau)

- 1 – réduction de la teneur en eau par aération.
- 2 – essorage par dépôt provisoire.
- 3 – arrosage.

T (traitement ou technique d'amélioration)

- 1 – traitement du sol en général avec un réactif ou un liant quel qu'il soit, compris la chaux.
- 2 – cas particulier du traitement à la chaux seule.
- 3 – élimination des éléments supérieur à 500 mm.
- 4 – sandwich avec un autre matériau.

R (réglage)

- 1 – couches minces.
- 2 – couche minces ou moyennes.

C (compactage)

- 1 – compactage intense.
- 2 – compactage moyen.
- 3 – compactage faible.

H (Hauteur des remblais)

- 1 – limité aux remblais de faible hauteur.
- 2 – limité aux remblais de hauteur faible ou moyenne.

Remblai

C₁C₁ condition de réutilisation en remblaiSOL DE CLASSE C₁ Sols comportant des fines et des gros éléments

	OBSERVATION GÉNÉRALES	SITUATION MÉTÉOROLOGIQUE		CONDITIONS D'UTILISATION EN REMBLAI	CODE
					EWTRCH
C _{1h}				Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de quantité suffisantes, en raison de la difficulté pratique de procéder à un traitement ou d'extraire et de régaler en couches minces.	Non
C _{1m}	Ces sols sont d'autant plus difficiles à mettre en œuvre qu'ils comportent des éléments de gros calibre (difficultés d'éliminer les très gros éléments, difficultés de réglage, obstacles au compactage).	++	Pluie moyenne ou forte.	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes.	Non
		+	Légère pluie.	E Extraction frontale pour limiter la surface exposée à la pluie (si la granulométrie le permet). T Elimination des éléments supérieurs à 500 mm. R Pas d'indication particulière car l'épaisseur des couches doit tenir compte du diamètre des plus gros éléments (et, comme pour les possibilités des compacteurs). C Compactage moyen. H La difficulté de maîtriser w par ce type d'exécution introduit un risque (surtout pour les sols C ₁ dont la fraction fine est peu plastique) conduisant à n'indiquer ces conditions de mise en remblai que pour des remblais de hauteur faible ou moyenne.	2 0 3 0 2 2
		=	Ni pluie, ni évaporation importante, température moyenne avec hydrométrie élevée.	T Elimination des éléments supérieurs à 500 mm. R Pas d'indication particulière car l'épaisseur des couches doit tenir compte du diamètre des plus gros éléments (et, comme pour tous les matériaux, être compatible avec les possibilités des compacteurs). C Compactage moyen.	0 0 3 0 2 0
		-	Evaporation importante (température moyenne ou élevée, temps sec, vent).	T Elimination des éléments supérieurs à 500 mm. R Pas d'indication particulière car l'épaisseur des couches doit tenir compte du diamètre des plus gros éléments (et, comme pour tous les matériaux, être compatible avec les possibilités des compacteurs). C Compactage intense.	0 0 3 0 1 0
C _{1s}	Même observation que pour les sols C _{1m} . De plus, la teneur en eau faible oblige à un compactage intense, qui est le plus souvent difficile. Pour des teneurs en eau très faibles et des sols assez plastiques, le compactage peut devenir pratiquement impossible ; la mise en remblai n'est alors pas réalisable avec des garanties de qualité suffisantes.	++	Pluie forte.	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes.	Non
		+ ou =	Pluie modérée ou ni pluie, ni évaporation, température basse ou température moyenne avec hydrométrie élevée.	T Elimination des éléments supérieurs à 500 mm. R Pas d'indication particulière car l'épaisseur des couches doit tenir compte du diamètre des plus gros éléments (et, comme pour les possibilités des compacteurs). C Compactage intense. H La difficulté de compacter ce type de sol introduit un risque (d'autant plus grand que la fraction fine du sol est plastique) conduisant à n'indiquer ces conditions de mise en remblai que pour des remblais de hauteur faible ou moyenne.	0 0 3 0 1 2
		-	Evaporation importante.	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes.	Non

C₂ Condition de réutilisation en couche de forme

SOL DE CLASSE C

Couche de forme C₁		Sols comportant fines et gros éléments			
	OBSERVATION GÉNÉRALES	SITUATION MÉTÉOROLOGIQUE		CONDITIONS D'UTILISATION EN COUCHE	CODE T P H
C₁	<p>Ces sols, en raison de La présence de gros Eléments, ne se prêtent Pas au traitement en Place en raison des Difficultés de malaxage.</p> <p>Les gros éléments font Obstacle à la qualité Du Réglage</p>			<p>En raison de leur proportion de fines, ces Sols exigeraient d'être traités pour réaliser Une couche de forme. Une malaxage Poussé ne pouvant être normalement Obtenu dans des conditions Satisfaisantes, ces sols ne peuvent pas Etre utilisés en couche de forme.</p> <p>Les difficultés de réglage corroborent cette conclusion.</p>	NON
C_{1h}				<p>La teneur en eau élevée n'autorise pas un Compactage suffisant pour une couche De forme.</p>	NON
C_{2m} C_{2s}	<p>Ces sols peuvent être Compactés à des densités assez élevées à condition que leur granulométrie soit Continue ils manifestent alors une bonne stabilité, mais ils restent néanmoins sensibles à l'eau.</p>	+	Pluie	<p>La difficulté de maîtriser la teneur en eau en cas de précipitations ne permet pas de Réaliser des couche de forme avec des Garanties de qualité suffisantes.</p>	NON
		= ou -	Pas de pluie	<p>Ces sols surtout s'ils sont bien gradués Peuvent dans certains cas être utilisés en Couche de forme sans traitement dans la Masse mais à condition d'être imperméabilisés en surface de façon sûre. Si leur teneur en eau est faible, un Arrosage est nécessaire. Les conditions D'utilisation de ces sols sont les suivantes :</p> <p>T Imperméabilisation de surface.</p> <p>P Plate-forme en matériaux à l'eau, de Bonne portance à la mise en œuvre de La couche de forme et ne risquent pas de S'humidifier par la nappe.</p> <p>H La couche de forme doit être d'épaisseur au moins moyenne (fonction de la Granulométrie du matériaux et des Sollicitations de la couche de forme Souvent 40 à 50 cm).</p>	6 2 2
C₃	<p>Les gros éléments de ces sols font obstacle a la qualité lité du réglage.</p>			<p>Ces sols ne peuvent être utilisés en couche de forme en raison de la présence de gros éléments (sauf possibilité de criblage peuvent ramener le sol C3 à un sol C2).</p>	NON

T (traitement) :

- 1- Traitement avec un réactif ou liant, quel qu'il soit.
- 2- Emploi d'un textile.
- 3- Imperméabilisation de surface.

P (plate-forme) :

- 1- Plate-forme de bonne portance insensible à l'eau (mais pouvant poser des problèmes de réglage ou de traficabilité).
- 2- Plate-forme en matériau sensible à l'eau, de bonne portance à la mise en œuvre de la couche de forme et ne risquant pas de s'humidifier par la nappe.
- 3- Plate-forme en matériau sensible à l'eau, de bonne portance à la mise en œuvre de la couche de forme mais risquant de s'humidifier par la nappe avant la mise en œuvre de la chaussée.
- 4- Plate-forme de faible portance.

H (épaisseur totale de la couche de forme) :

- 1- Couche mince possible.
- 2- Couche d'épaisseur au moins moyenne.
- 3- Couche épaisse nécessaire.

C₃ Tableau récapitulatif des réutilisations de tous les sols

TABLEAU RECAPITULATIF DES CONDITIONS DES SOLS EN REMBLAI

<table border="1"> <tr><td colspan="2"></td><td>EWTRCH</td></tr> <tr><td rowspan="3">A_h</td><td>+</td><td>NON</td></tr> <tr><td>=</td><td>0 0 1 2 3 0</td></tr> <tr><td>-</td><td>1 1 0 2 3 2 0 0 1 2 3 0</td></tr> <tr><td rowspan="3">A_m</td><td>++</td><td>NON</td></tr> <tr><td>+</td><td>2 0 0 2 3 2</td></tr> <tr><td>=</td><td>0 0 0 2 2 0</td></tr> <tr><td rowspan="3">A_s</td><td>-</td><td>0 0 0 2 1 0 0 3 0 2 2 0</td></tr> <tr><td>+</td><td>0 0 0 2 2 0</td></tr> <tr><td>=</td><td>0 0 0 1 1 0</td></tr> <tr><td>-</td><td>0 3 0 2 2 0</td></tr> </table>					EWTRCH	A _h	+	NON	=	0 0 1 2 3 0	-	1 1 0 2 3 2 0 0 1 2 3 0	A _m	++	NON	+	2 0 0 2 3 2	=	0 0 0 2 2 0	A _s	-	0 0 0 2 1 0 0 3 0 2 2 0	+	0 0 0 2 2 0	=	0 0 0 1 1 0	-	0 3 0 2 2 0	<table border="1"> <tr><td colspan="2"></td><td>EWTRCH</td></tr> <tr><td colspan="2">B₁ : B₁</td><td>Voir D₁, D₂</td></tr> <tr><td rowspan="3">B_h</td><td>+</td><td>NON</td></tr> <tr><td>=</td><td>0 0 4 0 2 2 0 0 1 2 2 0</td></tr> <tr><td>-</td><td>1 1 0 2 2 0</td></tr> <tr><td rowspan="3">B_m</td><td>+</td><td>NON</td></tr> <tr><td>=</td><td>0 0 0 2 2 0</td></tr> <tr><td>-</td><td>0 0 0 2 2 0</td></tr> <tr><td rowspan="3">B_s</td><td>++</td><td>NON</td></tr> <tr><td>+</td><td>0 0 0 2 2 0</td></tr> <tr><td>-</td><td>0 0 0 2 1 0 0 3 0 2 2 0</td></tr> <tr><td>B_j</td><td></td><td>1 2 0 0 2 0</td></tr> </table>					EWTRCH	B ₁ : B ₁		Voir D ₁ , D ₂	B _h	+	NON	=	0 0 4 0 2 2 0 0 1 2 2 0	-	1 1 0 2 2 0	B _m	+	NON	=	0 0 0 2 2 0	-	0 0 0 2 2 0	B _s	++	NON	+	0 0 0 2 2 0	-	0 0 0 2 1 0 0 3 0 2 2 0	B _j		1 2 0 0 2 0	<table border="1"> <tr><td colspan="2"></td><td>EWTRCH</td></tr> <tr><td rowspan="3">C_h</td><td colspan="2">NON</td></tr> <tr><td rowspan="3">C_m</td><td>++</td><td>NON</td></tr> <tr><td>+</td><td>2 0 3 0 2 2</td></tr> <tr><td>=</td><td>0 0 3 0 2 0</td></tr> <tr><td rowspan="3">C_s</td><td>++</td><td>NON</td></tr> <tr><td>+</td><td>0 0 3 0 1 2</td></tr> <tr><td>=</td><td>0 0 3 0 1 2</td></tr> <tr><td>-</td><td>NON</td></tr> </table>					EWTRCH	C _h	NON		C _m	++	NON	+	2 0 3 0 2 2	=	0 0 3 0 2 0	C _s	++	NON	+	0 0 3 0 1 2	=	0 0 3 0 1 2	-	NON	<table border="1"> <tr><td colspan="2"></td><td>EWTRCH</td></tr> <tr><td>D₁</td><td></td><td>0 0 0 0 2 0</td></tr> <tr><td>D₂</td><td></td><td>0 0 0 0 2 0</td></tr> <tr><td>D₃</td><td></td><td>0 0 0 0 2 0</td></tr> <tr><td>D₄</td><td></td><td>0 0 3 0 2 0</td></tr> </table>					EWTRCH	D ₁		0 0 0 0 2 0	D ₂		0 0 0 0 2 0	D ₃		0 0 0 0 2 0	D ₄		0 0 3 0 2 0																	
		EWTRCH																																																																																																																							
A _h	+	NON																																																																																																																							
	=	0 0 1 2 3 0																																																																																																																							
	-	1 1 0 2 3 2 0 0 1 2 3 0																																																																																																																							
A _m	++	NON																																																																																																																							
	+	2 0 0 2 3 2																																																																																																																							
	=	0 0 0 2 2 0																																																																																																																							
A _s	-	0 0 0 2 1 0 0 3 0 2 2 0																																																																																																																							
	+	0 0 0 2 2 0																																																																																																																							
	=	0 0 0 1 1 0																																																																																																																							
-	0 3 0 2 2 0																																																																																																																								
		EWTRCH																																																																																																																							
B ₁ : B ₁		Voir D ₁ , D ₂																																																																																																																							
B _h	+	NON																																																																																																																							
	=	0 0 4 0 2 2 0 0 1 2 2 0																																																																																																																							
	-	1 1 0 2 2 0																																																																																																																							
B _m	+	NON																																																																																																																							
	=	0 0 0 2 2 0																																																																																																																							
	-	0 0 0 2 2 0																																																																																																																							
B _s	++	NON																																																																																																																							
	+	0 0 0 2 2 0																																																																																																																							
	-	0 0 0 2 1 0 0 3 0 2 2 0																																																																																																																							
B _j		1 2 0 0 2 0																																																																																																																							
		EWTRCH																																																																																																																							
C _h	NON																																																																																																																								
	C _m	++	NON																																																																																																																						
		+	2 0 3 0 2 2																																																																																																																						
=		0 0 3 0 2 0																																																																																																																							
C _s	++	NON																																																																																																																							
	+	0 0 3 0 1 2																																																																																																																							
	=	0 0 3 0 1 2																																																																																																																							
-	NON																																																																																																																								
		EWTRCH																																																																																																																							
D ₁		0 0 0 0 2 0																																																																																																																							
D ₂		0 0 0 0 2 0																																																																																																																							
D ₃		0 0 0 0 2 0																																																																																																																							
D ₄		0 0 3 0 2 0																																																																																																																							
<table border="1"> <tr><td colspan="2"></td><td>EWTRCH</td></tr> <tr><td rowspan="3">A_h</td><td>-</td><td>NON</td></tr> <tr><td>+</td><td>0 0 2 2 3 0</td></tr> <tr><td>=</td><td>0 0 2 2 3 0 0 0 4 0 3 1</td></tr> <tr><td rowspan="3">A_m</td><td>-</td><td>1 1 0 2 3 1 0 0 2 2 2 0</td></tr> <tr><td>-</td><td>2 0 0 2 2 2</td></tr> <tr><td>=</td><td>0 0 0 2 2 0</td></tr> <tr><td rowspan="3">A_s</td><td>-</td><td>0 0 0 2 1 0</td></tr> <tr><td>+</td><td>0 0 0 2 2 0</td></tr> <tr><td>=</td><td>0 0 0 2 1 0</td></tr> <tr><td>-</td><td>0 0 0 1 1 0</td></tr> </table>					EWTRCH	A _h	-	NON	+	0 0 2 2 3 0	=	0 0 2 2 3 0 0 0 4 0 3 1	A _m	-	1 1 0 2 3 1 0 0 2 2 2 0	-	2 0 0 2 2 2	=	0 0 0 2 2 0	A _s	-	0 0 0 2 1 0	+	0 0 0 2 2 0	=	0 0 0 2 1 0	-	0 0 0 1 1 0	<table border="1"> <tr><td colspan="2">B₁</td><td>Voir A.</td></tr> <tr><td rowspan="3">B_h</td><td>-</td><td>NON</td></tr> <tr><td>-</td><td>0 0 4 0 3 2 0 0 2 2 3 0</td></tr> <tr><td>-</td><td>1 1 0 2 3 2 0 0 2 2 2 0</td></tr> <tr><td rowspan="3">B_m</td><td>-</td><td>NON</td></tr> <tr><td>=</td><td>0 0 0 2 2 0</td></tr> <tr><td>-</td><td>0 0 0 2 1 0</td></tr> <tr><td rowspan="3">B_s</td><td>++</td><td>NON</td></tr> <tr><td>+</td><td>0 0 0 2 2 0</td></tr> <tr><td>-</td><td>0 0 0 2 1 0 0 3 0 2 2 0</td></tr> </table>			B ₁		Voir A.	B _h	-	NON	-	0 0 4 0 3 2 0 0 2 2 3 0	-	1 1 0 2 3 2 0 0 2 2 2 0	B _m	-	NON	=	0 0 0 2 2 0	-	0 0 0 2 1 0	B _s	++	NON	+	0 0 0 2 2 0	-	0 0 0 2 1 0 0 3 0 2 2 0	<table border="1"> <tr><td colspan="2"></td><td>EWTRCH</td></tr> <tr><td rowspan="3">C_h</td><td>+</td><td>NON</td></tr> <tr><td>=</td><td>0 0 0 0 2 2</td></tr> <tr><td>-</td><td>0 0 0 0 2 2</td></tr> <tr><td rowspan="3">C_m</td><td>-</td><td>NON</td></tr> <tr><td>-</td><td>0 0 0 0 2 2</td></tr> <tr><td>-</td><td>0 0 0 0 2 0</td></tr> <tr><td rowspan="3">C_s</td><td>-</td><td>0 0 0 0 1 0</td></tr> <tr><td>++</td><td>NON</td></tr> <tr><td>-</td><td>0 0 0 0 1 2</td></tr> <tr><td>=</td><td>0 3 0 0 1 2</td></tr> <tr><td>-</td><td>0 3 0 0 1 2</td></tr> </table>					EWTRCH	C _h	+	NON	=	0 0 0 0 2 2	-	0 0 0 0 2 2	C _m	-	NON	-	0 0 0 0 2 2	-	0 0 0 0 2 0	C _s	-	0 0 0 0 1 0	++	NON	-	0 0 0 0 1 2	=	0 3 0 0 1 2	-	0 3 0 0 1 2	<table border="1"> <tr><td rowspan="3">CRa</td><td>++</td><td>NON</td></tr> <tr><td>+</td><td>0 0 0 2 2 0</td></tr> <tr><td>=</td><td>0 0 0 2 1 0</td></tr> <tr><td>-</td><td>0 0 0 2 1 0</td></tr> <tr><td rowspan="3">CRb</td><td>++</td><td>NON</td></tr> <tr><td>+</td><td>0 0 0 2 1 1</td></tr> <tr><td>=</td><td>0 0 0 2 1 2</td></tr> <tr><td>-</td><td>0 0 0 2 1 2</td></tr> <tr><td rowspan="3">CRc</td><td>+</td><td>NON</td></tr> <tr><td>=</td><td>2 0 0 2 3 1 0 0 4 0 2 2 0 0 1 2 2 0</td></tr> <tr><td>-</td><td>2 0 0 2 3 1 0 1 0 2 3 1 0 0 4 0 2 2 0 0 1 2 2 0</td></tr> <tr><td rowspan="3">CRd</td><td>+</td><td>NON</td></tr> <tr><td>=</td><td>0 0 1 2 2 0</td></tr> <tr><td>-</td><td>0 0 1 2 2 0</td></tr> </table>			CRa	++	NON	+	0 0 0 2 2 0	=	0 0 0 2 1 0	-	0 0 0 2 1 0	CRb	++	NON	+	0 0 0 2 1 1	=	0 0 0 2 1 2	-	0 0 0 2 1 2	CRc	+	NON	=	2 0 0 2 3 1 0 0 4 0 2 2 0 0 1 2 2 0	-	2 0 0 2 3 1 0 1 0 2 3 1 0 0 4 0 2 2 0 0 1 2 2 0	CRd	+	NON	=	0 0 1 2 2 0	-	0 0 1 2 2 0
		EWTRCH																																																																																																																							
A _h	-	NON																																																																																																																							
	+	0 0 2 2 3 0																																																																																																																							
	=	0 0 2 2 3 0 0 0 4 0 3 1																																																																																																																							
A _m	-	1 1 0 2 3 1 0 0 2 2 2 0																																																																																																																							
	-	2 0 0 2 2 2																																																																																																																							
	=	0 0 0 2 2 0																																																																																																																							
A _s	-	0 0 0 2 1 0																																																																																																																							
	+	0 0 0 2 2 0																																																																																																																							
	=	0 0 0 2 1 0																																																																																																																							
-	0 0 0 1 1 0																																																																																																																								
B ₁		Voir A.																																																																																																																							
B _h	-	NON																																																																																																																							
	-	0 0 4 0 3 2 0 0 2 2 3 0																																																																																																																							
	-	1 1 0 2 3 2 0 0 2 2 2 0																																																																																																																							
B _m	-	NON																																																																																																																							
	=	0 0 0 2 2 0																																																																																																																							
	-	0 0 0 2 1 0																																																																																																																							
B _s	++	NON																																																																																																																							
	+	0 0 0 2 2 0																																																																																																																							
	-	0 0 0 2 1 0 0 3 0 2 2 0																																																																																																																							
		EWTRCH																																																																																																																							
C _h	+	NON																																																																																																																							
	=	0 0 0 0 2 2																																																																																																																							
	-	0 0 0 0 2 2																																																																																																																							
C _m	-	NON																																																																																																																							
	-	0 0 0 0 2 2																																																																																																																							
	-	0 0 0 0 2 0																																																																																																																							
C _s	-	0 0 0 0 1 0																																																																																																																							
	++	NON																																																																																																																							
	-	0 0 0 0 1 2																																																																																																																							
=	0 3 0 0 1 2																																																																																																																								
-	0 3 0 0 1 2																																																																																																																								
CRa	++	NON																																																																																																																							
	+	0 0 0 2 2 0																																																																																																																							
	=	0 0 0 2 1 0																																																																																																																							
-	0 0 0 2 1 0																																																																																																																								
CRb	++	NON																																																																																																																							
	+	0 0 0 2 1 1																																																																																																																							
	=	0 0 0 2 1 2																																																																																																																							
-	0 0 0 2 1 2																																																																																																																								
CRc	+	NON																																																																																																																							
	=	2 0 0 2 3 1 0 0 4 0 2 2 0 0 1 2 2 0																																																																																																																							
	-	2 0 0 2 3 1 0 1 0 2 3 1 0 0 4 0 2 2 0 0 1 2 2 0																																																																																																																							
CRd	+	NON																																																																																																																							
	=	0 0 1 2 2 0																																																																																																																							
	-	0 0 1 2 2 0																																																																																																																							
<table border="1"> <tr><td colspan="2"></td><td>EWTRCH</td></tr> <tr><td rowspan="3">A_h</td><td>+</td><td>NON</td></tr> <tr><td>=</td><td>0 0 2 2 2 0</td></tr> <tr><td>-</td><td>1 1 0 2 2 1 0 0 2 2 2 0</td></tr> <tr><td rowspan="3">A_m</td><td>+</td><td>NON</td></tr> <tr><td>+</td><td>2 0 0 2 2 2</td></tr> <tr><td>=</td><td>0 0 0 2 1 2</td></tr> <tr><td>-</td><td>0 0 0 2 1 2</td></tr> <tr><td rowspan="3">A_s</td><td>+</td><td>NON</td></tr> <tr><td>+</td><td>0 0 0 2 1 2</td></tr> <tr><td>-</td><td>1 0 0 1 1 2</td></tr> <tr><td>-</td><td>1 0 0 1 1 2</td></tr> </table>					EWTRCH	A _h	+	NON	=	0 0 2 2 2 0	-	1 1 0 2 2 1 0 0 2 2 2 0	A _m	+	NON	+	2 0 0 2 2 2	=	0 0 0 2 1 2	-	0 0 0 2 1 2	A _s	+	NON	+	0 0 0 2 1 2	-	1 0 0 1 1 2	-	1 0 0 1 1 2	<table border="1"> <tr><td colspan="2"></td><td>EWTRCH</td></tr> <tr><td rowspan="3">C_h</td><td>-</td><td>NON</td></tr> <tr><td>=</td><td>0 0 3 0 2 2</td></tr> <tr><td>-</td><td>0 0 3 0 2 2</td></tr> <tr><td rowspan="3">C_m</td><td>++</td><td>NON</td></tr> <tr><td>+</td><td>0 0 3 0 2 2</td></tr> <tr><td>=</td><td>0 0 3 0 2 0</td></tr> <tr><td>-</td><td>0 0 3 0 1 0</td></tr> <tr><td rowspan="3">C_s</td><td>++</td><td>NON</td></tr> <tr><td>+</td><td>0 0 3 0 1 2</td></tr> <tr><td>=</td><td>0 3 3 0 1 2</td></tr> <tr><td>-</td><td>0 3 3 0 1 2</td></tr> </table>					EWTRCH	C _h	-	NON	=	0 0 3 0 2 2	-	0 0 3 0 2 2	C _m	++	NON	+	0 0 3 0 2 2	=	0 0 3 0 2 0	-	0 0 3 0 1 0	C _s	++	NON	+	0 0 3 0 1 2	=	0 3 3 0 1 2	-	0 3 3 0 1 2	<table border="1"> <tr><td colspan="2"></td><td>EWTRCH</td></tr> <tr><td colspan="2">A₁</td><td>NON</td></tr> </table>					EWTRCH	A ₁		NON																																																			
		EWTRCH																																																																																																																							
A _h	+	NON																																																																																																																							
	=	0 0 2 2 2 0																																																																																																																							
	-	1 1 0 2 2 1 0 0 2 2 2 0																																																																																																																							
A _m	+	NON																																																																																																																							
	+	2 0 0 2 2 2																																																																																																																							
	=	0 0 0 2 1 2																																																																																																																							
-	0 0 0 2 1 2																																																																																																																								
A _s	+	NON																																																																																																																							
	+	0 0 0 2 1 2																																																																																																																							
	-	1 0 0 1 1 2																																																																																																																							
-	1 0 0 1 1 2																																																																																																																								
		EWTRCH																																																																																																																							
C _h	-	NON																																																																																																																							
	=	0 0 3 0 2 2																																																																																																																							
	-	0 0 3 0 2 2																																																																																																																							
C _m	++	NON																																																																																																																							
	+	0 0 3 0 2 2																																																																																																																							
	=	0 0 3 0 2 0																																																																																																																							
-	0 0 3 0 1 0																																																																																																																								
C _s	++	NON																																																																																																																							
	+	0 0 3 0 1 2																																																																																																																							
	=	0 3 3 0 1 2																																																																																																																							
-	0 3 3 0 1 2																																																																																																																								
		EWTRCH																																																																																																																							
A ₁		NON																																																																																																																							

**TABLEAU RECAPITULATIF DES CONDITIONS D'UTILISATION DES SOLS
EN COUCHE DE FORME**

A ₁ , A ₂ , B ₅	+	NON	T P H
	=	1 2 1	
	et	1 3 2	
	—	1 4 3	
A ₃ , A ₄		NON	
B ₂ , B ₄ h, B ₄ l non lavé, B ₄	+	NON	T P H
	=	1 2 1	
	et	1 3 2	
	—	1 4 3	
B ₄ m, B ₄ s	+	NON	T P H
	=	6 2 2	
	et	1 2 1	
	—	1 3 2	
C ₁ , C ₂ h, C ₂		NON	
C ₂ m, C ₂ s	+	NON	T P H
	=	6 2 2	
	et —		
D ₁ , B ₁		1 1 1	T P H
		1 2 1	
		1 3 2	
		1 4 3	
D ₁ , B ₁ , B ₄ i lavé		0 1 1	T P H
		0 2 3	
		6 2 1	
		5 2 2	
		1 2 1	
		0 3 3	
		5 3 2	
	1 3 2		
D ₂		0 1 2	T P H
		0 2 3	
		5 2 2	
		0 3 3	
		5 3 2	
		0 4 3	
D ₃		NON	
CRa	+	NON	T P H
	=	1 2 1	
	et	1 3 2	
	—	1 4 3	

d) Moyens de mise en œuvre

Des tableaux permettent pour chaque cas, type de sol et condition d'état en fonction des conditions météorologiques, de définir les types d'engins de compactage avec ou sans traitement, permettant d'atteindre un état de compacité satisfaisant, soit en corps de remblai, soit en couche de forme.

On a d'abord classé les engins de compactage :

Rouleaux à pneus

Le classement est fait selon la charge par roue :

- P1 : rouleaux dont la charge par roue est de 2,5 à 4 t.
- P2 : rouleaux dont la charge par roue est de 4 à 6 t.
- P3 : rouleaux dont la charge par roue est supérieure à 6 t.

COMPACTEURS A PNEUS
IDENTIFICATION - CLASSEMENT

CONSTRUCTEUR	DESIGNATION COMMERCIALE	CHARGE PAR ROUE		Nbre de ROUES	LARGEUR EFFECTIVE COMPACTAGE	CLASSIFICATION
		Sans lest	Avec lest			
ALBARET	Orthopactor P5	2 700	5 000	7	2,40	CP1 / CP2
ALBARET	Orthopactor PF2	1 000	2 000	7	1,70	CP1
ALBARET	Orthopactor PF3	1 700	3 150	7	1,94	CP1 / CP2
ALBARET	Orthopactor P3	1 700	3 150	7	1,94	CP1 / CP2
ALBARET	Isopactor léger M6	2 500	3 000	11	2,75	CP1
ALBARET	Géopactor	6 000	10 000	7	2,65	CP3
		2 830	3 330			
RICHIER	C 791	3 300	5 000	7	2,30	CP1 / CP2
RICHIER	C 785	1 900	3 000	7	2,50	CP1 / CP2
RICHIER	C. 788 A	2 000	2 700	7	2,80	CP1 / CP2
RICHIER	C 782 D	2 250	3 000	7	1,95	CP1 / CP2

Note – CP1/ CP2 : Classe CP1 ou CP2 selon charge par roue et pression de gonflage.
CP2 à charge maximale et pression de gonflage maximale.

Rouleaux vibrants

Un premier classement est fait à partir de la charge statique appliquée par unité de largeur de cylindre vibrant.

- V1 : charge statique par unité de largeur de 15 à 25 kg/cm.
- V2 : charge statique par unité de largeur de 25 à 35 kg/cm.
- V3 : charge statique par unité de largeur de 35 à 45 kg/cm.
- V4 : charge statique par unité de largeur supérieur à 45 kg/cm.

A l'intérieur de chacune des classes ci-avant, des sous-classes désignées a, b, c et d sont définies à partir de caractéristiques dynamiques de l'engin.

ROULEAUX VIBRANTS
IDENTIFICATION – CLASSEMENT

La liste des données ci-après n'est pas exhaustive ; pour les matériels relativement anciens ou pour les matériels dont nous n'avons pas l'ensemble des paramètres, on pourra se reporter à l'annexe de la Recommandation pour les Terrassements Routiers [9].

ROULEAUX VIBRANTS - CLASSIFICATION

CONSTRUCTEUR	DESIGNATION DU COMPACTEUR	CLASSE	CONSTRUCTEUR	DESIGNATION DU COMPACTEUR	CLASSE	CONSTRUCTEUR	DESIGNATION DU COMPACTEUR	CLASSE	
ALBARET	SISMO 900	RV 2	DYNAPAC	C A 15	RV 1	RAY GO	304 A	RV 1	
	SISMO TT 900	RV 2		C A 15 A	RV 1		410 A	RV 2	
	SISMO TT 901	RV 2		C A 25	RV 1		450 A	RV 2	
	SISMO TT 1600	RV 5		C A 25 A	RV 2		500 A	RV 3	
	VA 10	RV 2		C A 30 D série 2	RV 3		RANGER 2.66	RV 2	
	VA 12 DC	RV 2		C C 20	RV 1		RANGER 2.84	RV 2	
	VA 15 DV	RV 2		C C 41	RV 2		RASCAL 510 A	RV 4	
	VM 1204	RV 4		C C 50	RV 2		RUSTLER 6604 A	RV 2	
A.B.G.	ALEXANDER 128 G	RV 2	GALION	V o s 84	RV 1	RICHTER	A 625	RV 2	
	D T V 42	RV 1					A 625 (masse addit)	RV 3	
	PUMA 168	RV 1					CV 415	RV 2	
	PUMA 178	RV 2					CV 415 (masse addit)	RV 3	
BITELLI	B V 237	RV 3	GLYCO	GLYCO 340	RV 2	SIMESA	632	RV 3	
	TIFONE B	RV 3					832	RV 2	
BOMAG	BW 160 A	RV 2	HAMM	D V 6	RV 1	TAMPO	RS 166 A	RV 2	
	BW 160 AD 1	RV 2		D V B,22	RV 2		RS 188 A	RV 2	
	BW 211 AD	RV 2		D V 10 B	RV 3	URSUS PERQUI	RAS 100	RV 1	
	BW 211 ADH	RV 2		2301 SB	RV 2		YIDROMAX	801	RV 1
	BW 212	RV 1	2401 F	RV 2	1501			RV 2	
	BW 212 DH	RV 2	2401 S	RV 2	W 551			RV 1	
	BW 213 D	RV 2	HYSTER	C 610 B	RV 1	W 552		RV 1	
	BW 214	RV 3		C 727 A	RV 2	W 554	RV 1		
	BW 215 D	RV 4	INGERSOLL BAND	DA 50	RV 2	W 751	RV 2		
	BW 217	RV 4		SP 54 T	RV 2	W 852	RV 2		
	BW 220 A	RV 2		SP 56 DD	RV 2	W 854	RV 2		
	BW 220 AD	RV 2		SP 56 DH	RV 4	W 1101	RV 2		
CLARK SCHEID	D V 60	RV 2	LEBRERO	AVTA 75	RV 2	VOEST ALPINE	RT 7 U	RV 1	
	P V 60	RV 2		AVTA 105	RV 2		RW 10	RV 2	
DEMAG	V W T 9	RV 2		RAHILE 120	RV 3		VOEST ALPINE	RT 7 U	RV 1
	DERRUPPE	C D 3		RV 2	RAHILE 120 RM			RV 3	RW 10
C D 4		RV 2	RAHILE 130	RV 2					
C D 8		RV 3	RAHILE 180 RM	RV 5					
C D 300 L		RV 2							
C D 900 M	RV 4								

Rouleaux à pieds d'ameurs (non vibrants)

Le classement est fait d'après la charge statique moyenne par unité de largeur de tambour à pieds d'ameurs :

- PD1 : charge moyenne de 30 à 60 kg/cm.
- PD2 : charge moyenne supérieure à 60 kg/cm.

Puis on a défini l'épaisseur e de la couche compactée et le rapport Q/S où Q est le volume compacté pendant un temps donné et S la surface balayée dans le même temps.

On aboutit à des tableaux du type suivant, indiquant si l'engin du compactage est utilisable, pour des couches de quelle épaisseur et avec quel débit (Q/S).

SOLS C

SOLS ET MODALITES D'UTILISATION		ENGIN		PNEUS			VIBRANTS												DAMEURS					
				P ₁	P ₂	P ₃	V ₁				V ₂				V ₃				V ₄			PD ₁	PD ₂	
							a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c			
C ₁	REMBLAIS	03 11	Q/S e	0,06 0,30	0,10 0,50	0,20 0,80	0,06 0,30	0,06 0,30	0,07 0,80	0,06 0,30	0,11 0,50	0,11 0,50	0,12 0,40	0,12 0,40	0,20 0,80	0,20 0,80	0,14 0,40	0,14 0,40	0,30 0,10	0,24 0,80	2 2	0,08 0,30	0,08 0,50	
				Q/S e	0,07 0,40	0,10 0,60	0	0	0	0	0,07 0,40	0,07 0,40	0,065 0,30	0,065 0,30	0,13 0,70	0,13 0,70	0,075 0,30	0,075 0,30	0,15 0,80	0,14 0,70	0,15 0,80	2 2	0,05 0,30	0,08 0,40
				Q/S e	0,04 0,30	0,06 0,40	0	0	0	0	0,045 0,30	0,045 0,30	0,04 0,30	0,04 0,30	0,07 0,50	0,07 0,50	0,05 0,30	0,05 0,30	0,10 0,70	0,085 0,50	6-7 2	0,05 0,70	0,05 0,40	
C ₂	REMBLAIS	03 11	Q/S e	0,08 0,30	0,12 0,50	0,30 0,80	0,08 0,30	0,08 0,30	0,09 0,30	0,08 0,30	0,15 0,50	0,15 0,50	0,135 0,40	0,135 0,40	0,30 0,80	0,30 0,80	0,185 0,40	0,185 0,40	0,40 1,0	0,32 0,80	6 2	0,10 0,40	0,10 0,40	
				Q/S e	0,05 0,30	0,08 0,40	0,10 0,50	0,05 0,30	0,05 0,30	0,055 0,30	0,05 0,30	0,095 0,40	0,095 0,40	0,10 0,35	0,10 0,35	0,12 0,50	0,12 0,50	0,12 0,40	0,12 0,40	0,20 0,70	0,15 0,50	6 2	0	0
				Q/S e	0,02 0,20	0,04 0,40	0,06 0,40	0,03 0,30	0,03 0,30	0,035 0,30	0,03 0,30	0,05 0,40	0,05 0,40	0,045 0,30	0,045 0,30	0,07 0,50	0,07 0,50	0,055 0,30	0,055 0,30	0,08 0,60	0,075 0,50	6 2	0	0
COUCHE DE FORME		Q/S e	0,020 0,20	0,035 0,30	0,055 0,40	0,030 0,30	0,030 0,30	0,035 0,30	0,030 0,30	0,050 0,40	0,050 0,40	0,045 0,30	0,045 0,30	0,065 0,50	0,065 0,50	0,050 0,30	0,050 0,30	0,075 0,60	0,070 0,50	6 2	0	0		
C ₃	REMBLAIS	03 11	Q/S e	0,10 0,50	0,20 0,80	0	0	0	0	0,12 0,50	0,12 0,50	0	0	0,25 0,80	0,25 0,80	0	0	0,35 1,0	0,27 0,80	6 2	0,10 0,40	0,10 0,40		
				Q/S e	0,08 0,40	0,12 0,60	0	0	0	0	0,08 0,40	0,08 0,40	0	0	0,12 0,70	0,12 0,70	0	0	0,20 0,80	0,14 0,70	6 2	0	0	
				Q/S e	0,05 0,40	0,08 0,50	0	0	0	0	0,06 0,40	0,06 0,40	0	0	0,10 0,60	0,10 0,60	0	0	0,12 0,80	0,105 0,60	7-5 2	0	0	

Q/S	en mètre
e	en mètre
O	engin ne convenant pas

- (1) Sous réserve que la traficabilité le permette.
- (2) Apparemment, il n'existe encore aucun engin appartenant à cette catégorie.
- (3) Pour les rouleaux tandem à 2 billes vibrantes, Q/S peut être un peu plus élevé.
- (4) Prévoir un engin annexe pour effacer les empreintes laissées par les pieds.
- (5) Des conditions d'utilisation légèrement plus favorables pourront être appliquées aux engins présentant une fréquence variable, lorsque celle-ci correspondra à la fréquence de résonance (prendre l'avis de spécialistes)
- (6) Valeurs qui tiennent compte du fait que le seul engin de cette catégorie est un compacteur mixte vibrant-pneus voisin de la limite supérieure de la classe V3 a.b.
- (7) Impose que le D_{max} < 2/3 de l'épaisseur de la couche en question.
- (8) Impose que le D_{max} < 1/5 de l'épaisseur de la couche en question.
- (9) Impose que le D_{max} < 1/4 de l'épaisseur de la couche en question.
- (10) Des conditions d'utilisation légèrement moins favorables devront être appliquées aux engins les moins lourds de cette classe.
- (11) Cas non envisagé dans le fascicule 2, mais indiqué ici pour mieux traduire certaines possibilités des compacteurs éventuellement utilisables dans certaines cas (remblais non routiers).

EXEMPLE D'UTILISATION

Soit un sol graveleux argileux (classe L.P.C - G.A) contenant des éléments supérieurs à 50 mm et plus de 20 % d'éléments passant à 0,80 mm (mais moins de 35 %).

- * Ce sol sera classé en C1 (tableau II.5-1).
- * La teneur en eau in-situ voisine la teneur en eau optimale Proctor (état m) donc C1 m (tableau 11.5-2).
- * Les travaux vont se réaliser en début d'année (Mars à Juin) (situation météorologique = du tableau II.5- 4) le code d'utilisation en remblai est le suivant :
 - E = 0 type d'extraction indifférent.
 - W = 0 pas d'action à prévoir sur la teneur en eau.
 - T = 3 élimination des éléments supérieurs à 500 mm quand ils existent.
 - R = 0 épaisseur de réglage, fonction des éléments les plus gros et du type de compacteur.
 - C = 2 compactages d'intensité moyenne.
 - H = 0 hauteur de remblai : sans limitation.

* En couche de forme pour la R.T.R ce sol est inutilisable (voir tableau II.5-5) en raison de fines trop sensibles à l'eau et de la présence d'éléments grossiers empêchant un bon réglage.

* Moyens de mise en œuvre en remblai.

Le tableau (II.5.10) (couche épaisse possible et compactage moyen code 02) indique la possibilité de compacter :

- soit avec rouleau à pneus type P2 ou P3.
 - P2 en 40 cm d'épaisseur donc $D_{max} \frac{2}{3} \times 40 < 250$
 - P3 en 60 cm d'épaisseur donc $D_{max} \frac{2}{3} \times 60 < 400$

Les rouleaux à pneus P1 sont inefficaces.

- soit avec des pieds dameurs type P D2 en 40 cm d'épaisseur :
 - les pieds dameurs P D1 étant inefficaces.
- soit avec des rouleaux vibrants type V2 ou plus :
 - les rouleaux type V1 sont inefficaces
 - pour les rouleaux V2, l'épaisseur ne devra pas dépasser 30 cm et donc le D max doit être inférieur à 200 mm ($\frac{2}{3} \times 30$).

CHAPITRE VI

RIPPABILITE DES SOLS ROCHEUX

Les moyens d'étudier la rippabilité sont divers, mais aussi souvent contradictoires :

- a) Sismique avec échelle de rippabilité en fonction de la vitesse du son et de la nature du matériau.
- b) Microsismique dans les sondages avec les mêmes échelles.

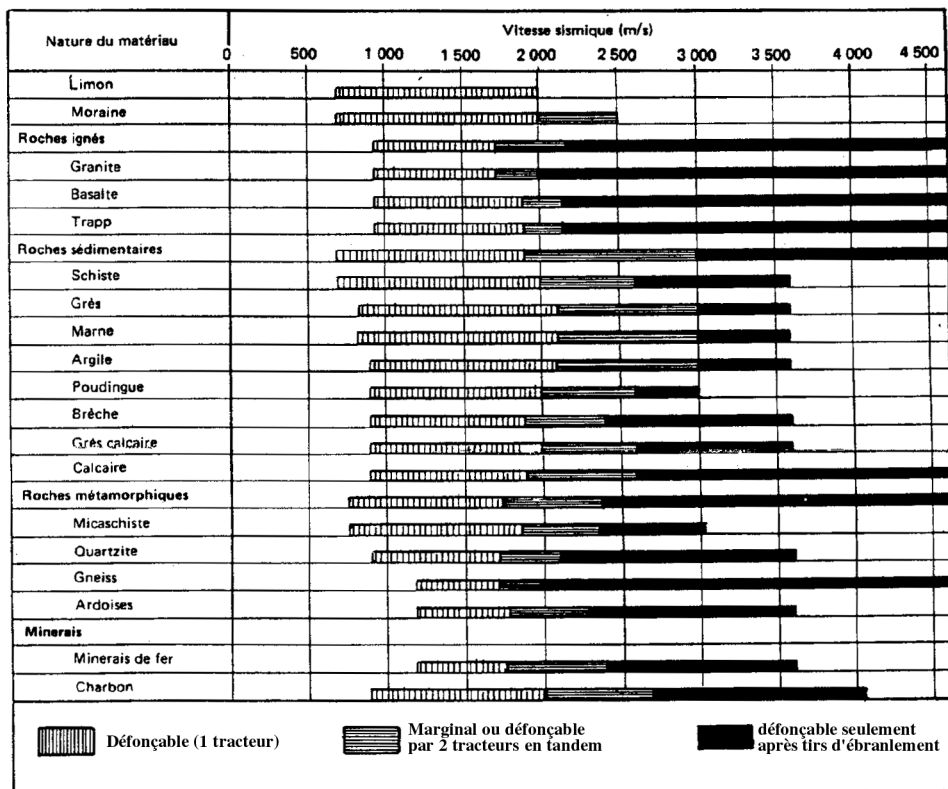


Fig. 32-Table caterpillar pour tracteur D 9G (390 cv) avec défonceuse 96 une dent.





Nature du matériau			Vitesse sismique: (m/t)								
			500	1000	1500	2000	2500	3000			
Eruptif	Granite	gros grain	6 mm								
			5 mm								
		4 mm									
		3 mm									
	grain moyen	2 mm									
		1 mm									
	grain fin	0,5 mm									
		Roche grenues basiques (diorites, tonalite, granodiorites An > 30%)									
Métamorphique	Migmatites										
	Roche gneissiques	Micaschistes et gneiss sup									
		Gneiss sup									
	Roches broyées										
LEGENDE				Terrassable au engins à lames (décapeuse, boteur, chargeuse, pelleuse)							
				Défonçable (limites valables pour défonceuse 1 dont portée par un tracteur de puissance > 230év dont l'effort maxi de traction est supérieur à 35000kg)							
				Marginal (tantôt défonçable, tantôt non défonçable)							
				Dislocation à l'explosif nécessaire							

Fig.33 - Table de terrassabilité applicable aux roches éruptives grenues et roches métamorphiques

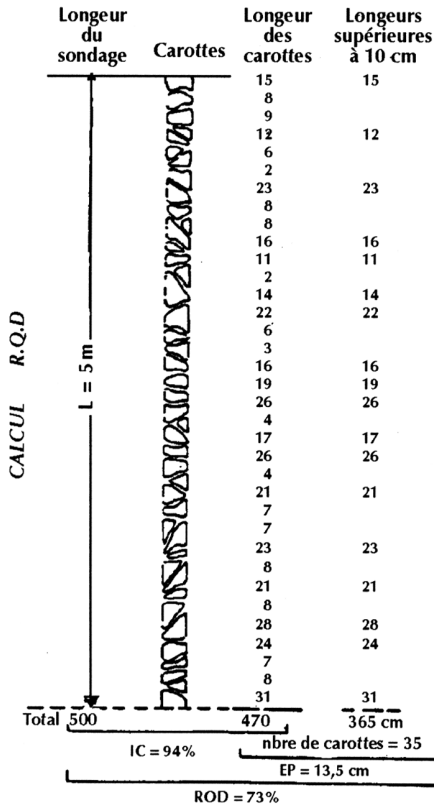
C) Nature, état et caractéristiques mécaniques de la roche.

A titre d'exemple :

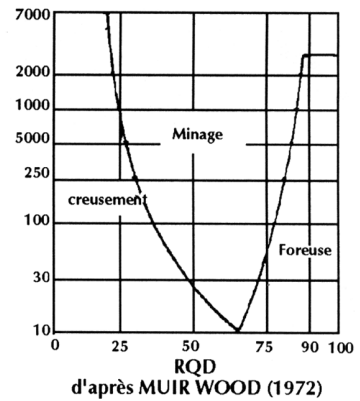
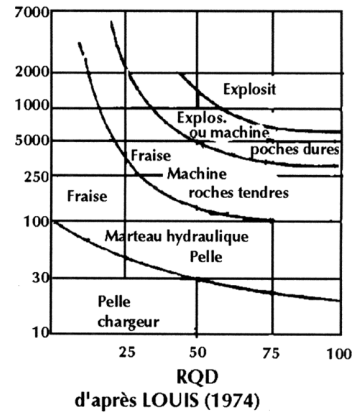
- Définition de R Q D (Rock Quality Désignation).

$$RQD = \frac{\text{longueur des carottes de longueur } > 10 \text{ cm}}{\text{longueur de la passe de sondage}} \times 100$$

- σ_c résistance à la compression simple.



σ_c Résistance en d_a N/cm²



- Enfin bien souvent le problème ne peut être résolu qu'après une tranchée expérimentale à la pelle hydraulique de 300 CV, qui permet de récaler les données.

Par ailleurs, même si un sol peut être considéré comme rippable, il peut être plus utile pour sa réutilisation de prévoir un tir de fragmentation en place.

CHAPITRE VII

UTILISATION DES MATERIAUX

DETERMINATION DES UTILISATIONS POSSIBLES DES MATERIAUX

Sont rassemblées ici sous forme de tableau les spécifications requises d'après le C.P.C - travaux routiers sur les qualités intrinsèques des matériaux et les qualités de fabrication pour les techniques habituelles de corps de chaussée :

- RS : Revêtement superficiel
- EB : Enduit Bitumineux à chaud
- G.B.B : Grave Bitume
- GNA - GNB : Grave non traitée type A et type B
- G.N.F : Grave non traitée pour couche de fondation

1) Qualité intrinsèque du matériau

CATEGORIE	L. A.	M.D.E	C.P.A
I	≤ 15	≤ 10	$\geq 0,5$
II	≤ 20	≤ 15	$\geq 0,5$
III	≤ 25	< 20	$\geq 0,45$
IV	< 30	< 20	-
V	< 35	< 25	-
VI	< 40	< 25	-

2) Spécification sur les qualités intrinsèques

	I	II	III	IV	V	VI
R.S	T_0	T_1	T_2 et infér.	0	0	0
E.B	--	--	T_0 et infér.*	0	0	0
GBR	--	--	--	T_0 et infér.*	0	0
GNA	--	--	--	T_0 et infér.	0	0
GNF	--	--	--	--	$T_0-T_1-T_2$	T_3-T_4

0 = non utilisable

- = utilisable

* = M.D.E. < 20 non spécifié.

3) Qualité de fabrication

- Dimension des agrégats
- Angularité concassé pur ou indice de concassage
- Propreté passant à 1 mm ou (P)
 - équivalent de sable (E.S.)
 - indice de plasticité (I.P.)
- Adhésivité
- Coefficient de forme ou d'aplatissement.

4) Spécification sur la qualité de fabrication

	Division	Angularité	Propreté	Adhésivité	Forme
R.S	4/6 6/3 10/14	Concassé pur	$P \leq 1$	$T_0 - 3h$ $T_1 - 6h$ $T_2 T_3 T_4 24h$	T_0 et T_1 ≤ 20 $T_2 T_3 T_4 \leq 25$
E.B	0/10 ou 0/14	Concassé pur	$E.S > 40$ T_3	-	
G.B.B	0/20 0/25	T_0 concassé pur T_1 lc = 100 % T_2 lc > 50 % $T_3 T_4 > 20$ %	N.P et $E.S > 30$	-	
G.N.A G.N.B	0/31,5 0/40	GNA concas.pur ou ic = 100 % GNB lc > 35 %	$E.S > 30$ et - NP pou T_0 $T_1 T_2 T_3$ - IP < 6 pour T_4		
G.N.F	0/40 ou 0/60	lc > 30 % pour $T_0 T_1 T_2$ non spécifié pour $T_3 T_4$	$ES > 25$ et - IP < 6 zone non aride - IP < 8 zone aride		< 20

BIBLIOGRAPHIE

- C.P.S des travaux routiers – Fascicule 5 cahier n° 2,3 et 4.
- Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et chaussées - numéro spécial IV - granulats de juin 1977.

CHAPITRE VIII

CATALOGUE DES STRUCTURES TYPES DES CHAUSSEES

PRESENTATION DU CATALOGUE

Le catalogue des structures types des chaussées se présente sous la forme des fiches devant permettre à l'ingénieur de choisir une structure de chaussée en fonction des paramètres suivants :

- Trafic (T)
- Sol support (S)

Les fiches ont été établies pour deux zones climatiques " zone non aride " qui correspond au cas général, " zone aride " qui correspond au Sud Marocain.

UTILISATION DU CATALOGUE

I – Détermination du paramètre T :

La classe de trafic est définie par le tableau ci-après. Les circulations y sont exprimées en véhicules/ jour (tout véhicules), l'année de mise en service dans les deux sens de circulation mais on se souviendra que le trafic déterminant dans le dimensionnement est le trafic lourd que doit supporter la chaussée au moment où elle est le plus sensible (généralement au printemps).

Le tableau a été établi avec les hypothèses suivantes :

- Le trafic est équilibré dans les deux sens de circulation.
- Les poids lourds représentent 35 % du trafic total. Dans les deux cas d'espèce s'écartant sensiblement de cette hypothèse, on considérera que le trafic T tout véhicule de la voie chargée est égal à :

$$\frac{\text{Nombre de poids lourd/jour}}{0,35}$$

TABLEAU DU TRAFIC

Trafic en véhicule/jour l'année de mise en circulation dans les deux zones de circulation	Classe de trafic conseillée
$T > 4.500$	Etude spéciale
$4.500 > T > 2.000$	T_1
$2.000 > T > 750$	T_2
$750 > T > 200$	T_3
$200 > T > 50$	T_4

II – DETERMINATION DU PARAMETRE S :

II-1. Le paramètre S caractérise le sol support, il sera choisi en tenant compte des caractéristiques géotechniques du sol (classification du L.C.P.C et éventuellement indice portant C.B.R et indice de plasticité I.P.) et de la qualité du drainage ainsi que des conditions hydrauliques (voir tableaux ci-après).

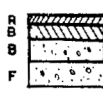
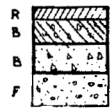






II-2. Régime hydraulique : les conditions hydrauliques seront réputées bonnes, lorsque la nappe restera toujours à une profondeur supérieure à un mètre à partir du fond de forme de la chaussée, et que les accotements traités, ainsi que le drainage seront réalisés de manière correcte (notamment pentes suffisantes et possibilités d'exutoires convenables).

II-3. Gel : le catalogue n'est pas applicable aux chaussées exposées au gel qui feront l'objet d'une étude spéciale quel que soit le trafic.

DETERMINATION DE LA CLASSE DE SOL S_j

CLASSIFICATION	Limites d'Atterberg WL= limite de liquidité IP = Indice de plasticité	Indice portant CBR	Zone non aride		Zone non aride			
			Régime hydraulique	Classe du sol	Conditions Hydrauliques particulières	Classement du sol		
Sols grenus sablo-graveleux ayant moins de 50% passant à 0,080 mm	Gb-Gm graves propres				S 4		S 4	
	GL graves limoneuses	IP < 7		Bon	S 4		S 4	
		IP > 7		Mauvais	S 3			S 4
Sols graveleux moins de 50% de la fraction retenue à 0,080mm	GA graves argileuses	WL > 50%		Bon	S 3		S 4	
		IP > 0,73 (WL-20)		Mauvais	S 2		S 4	
	Sb - Sm Sables propres			Bon	S 3		S 3	
Sols sableux plus de 50% de la fraction retenue à 2 mm	SL Sables limoneux	WL < 50	IP < 7	Mauvais	S 2		S 3	
		IP < 0,73 (WL-20)	IP > 7	Bon	S 3		S 3	
	SA Sables argileux	WL > 50%		Mauvais	S 2		S 3	
Sols fins Limono - argileux plus de 50% passant à 0,080 mm	Lp Limons	WL < 50%	CBR > 4	Bon	S 2		S 3	
		IP < 0,73 (WL-20)	CBR < 4	Mauvais	S 1		S 3	
	Ap Argiles peu plastique craies et marnes	WL < 50%			Bon	S 2		S 2
		IP > 0,73 (WL-20)			Mauvais	S 1		S 2
	Lr - Ol Limons très plastiques	WL > 50%						
		IP < 0,73 (WL-20)			Voir note de recommandations n°1			S 2
At Argiles très plastiques	WL > 50%						S 2	
	IP > 0,73 (WL-20)			Voir note de recommandations n°1			S 2	

CHAUSSEES DU TYPE 1 ZONE NON ARIDE	<p>(R) Couche de surface : enrobe bitumeux EB</p> <p>(B) Couche de base : grave bitume GBB ou grave bitume GBB, grave non traitée GNB ou grave non traitée GNA</p> <p>(F) Couche de fondation : grave non traitée GNF Couche de forme : matériaux selectionés FQGL Sb-Sm-SL ou sols traités à la chaux</p>
---	--

Trafic classe du sol	T 1	T 2	T 3 - T 4
S 0	Voir Structures expérimentales	(Voir chaussées type 2)	VOIR CHAUSSEE DU TYPE 2
S 1	 <p>R = 5 cm EB B = 15 cm GBB B = 20 cm GNB F = 20 cm GNF</p>	 <p>R = 5 cm EB B = 10 cm GBB B = 20 cm GNB F = 20 cm GNF</p>	
S 2	 <p>R = 5 cm EB B = 10 cm GBB B = 20 cm GNB F = 20 cm GNF</p>	 <p>R = 10 cm EB B = 30 cm GNB</p>	
S 3	 <p>R = 5 cm EB B = 10 cm GBB B = 20 cm GNB</p>	 <p>R = 10 cm EB B = 20 cm GNB</p>	
S 4	 <p>R = 10 cm EB B = 20 cm GNA</p>	 <p>R = 5 cm EB B = 20 cm GNA</p>	
<p>Le jeu des coefficients d'équivalence ne doit en aucun cas être appliqué aux couches de chaussées encadrées par un trait fort qui constituent les couches de base et de surface.</p>			

Catalogue des structures des chaussées

CT 1 bis Octobre 1977

Edition n°1

CHAUSSEES NEUVES

CHAUSSEES DU TYPE 1 bis Zone aride	(R) Couche de surface: enrobés bitumineux. (B) Couche de base (B); grave non traitée GNA ou GNB
--	---

Trafic Classe du sol	T 1	T 2	T 3	T 4
S1	 EB = 10 cm B = 30cm GNA	 EB = 10 cm B = 20cm GNB	Voir chaussées type 2 bis	
S2	 EB = 10 cm B = 30cm GNA	 EB = 10 cm B = 20cm GNB	Voir chaussées type 2 bis	
S3	 EB = 10 cm B = 20cm GNA	 EB = 5 cm B = 20cm GNB	Voir chaussées type 2 bis	
S4	 EB = 10 cm B = 20cm GNA	 EB = 5 cm B = 20cm GNB	Voir chaussées type 2 bis	

Le jeu des coefficients d'équivalence ne doit en aucun cas être appliqué à couches de chaussées encadrées par un trait fort qui constituent les couches de base et de surface .

Edition n° 1	CHAUSSEES NEUVES
CHAUSSEE DU TYPE 2 Zone non aride	<p>Couche de surface : Enduit superficiel RS multi-couche</p> <p>(B) couche de base : grave non traitée GNA - GNB</p> <p>(F) couche de fondation : grave non traitée GNF</p> <p>Couche de forme : matériaux sélectionnés GL - Sb - Sm - SL ou sols traités à la chaux</p>

Traffic classe du sol	T1	T2	T3	T4
S0	<p>RS B=20cm GNA F=40cm GNF FO=60cm couche de forme mini S1</p>	<p>RS B=20cm GNA F=30cm GNF FO=50cm couche de forme mini S2</p>	<p>RS B=20cm GNB F=20cm GNF FO=40cm couche de forme mini S2</p>	<p>RS B=20cm GNB F=20cm GNF FO=40cm couche de forme mini S2</p>
NB se reporter impérativement à la note n°1 sur les recommandations concernant les chaussées sur sols argileux instables				
S1	Voir chaussée type 1	<p>RS B=20cm GNA F=30cm GNF</p>	<p>RS B=20cm GNB F=20cm GNF</p>	<p>RS B=20cm GNB F=20cm GNF</p>
S2	Voir chaussée type 1	<p>RS B=20cm GNA F=20cm GNF</p>	<p>RS B=20cm GNB F=20cm GNF</p>	<p>RS B=20cm GNB</p>
S3	Voir chaussée type 1	<p>RS B=30cm GNA</p>	<p>RS B=20cm GNB</p>	<p>RS B=20cm GNB</p>
S4	Voir chaussée type 1	<p>RS B=20cm GNA</p>	<p>RS B=20cm GNB</p>	<p>RS B=15cm GNB</p>

Le jeu des coefficients d'équivalence ne doit en aucun cas être appliqué aux couches de chaussées encadrées par un trait fort qui constituent les couches de base et de surface.













Catalogue des structures des chaussées

CT 2 bis Octobre 1977

Edition n°1

CHAUSSEES NEUVES

CHAUSSEES DU TYPE 2 bis Zone aride	Couche de surface : enduit superficiel RS multicouche couche de base (B) : grave non traitée GNA ou GNB couche de fondation (F) : grave non traité GNF.
---------------------------------------	---

tritic classe du sol	T1	T2	T3	T4
S1	Voir chaussée type 1 bis	 R.S B=30 cm GNA F=30 cm GNF	 R.S B=20 cm GNB	 R.S B=20 cm GNB
S2	Voir chaussée type 1 bis	 R.S B=30 cm GNA	 R.S B=20 cm GNB	 R.S B=20 cm GNB
S3	Voir chaussée type 1 bis	 R.S B=20 cm GNA	 R.S B=20 cm GNB	 R.S B=20 cm GNB
S4	Voir chaussée type 1 bis	 R.S B=20 cm GNA	 R.S B=20 cm GNB	 R.S B=20 cm GNB

Le jeu des coefficients d'équivalence ne doit en aucun cas être appliqué aux couches de chaussées encadrées par un trait fort qui constituent les couches de base et de surface .

CHAPITRE IX

METHODES DE RENFORCEMENT

1) Par chaussée résiduelle

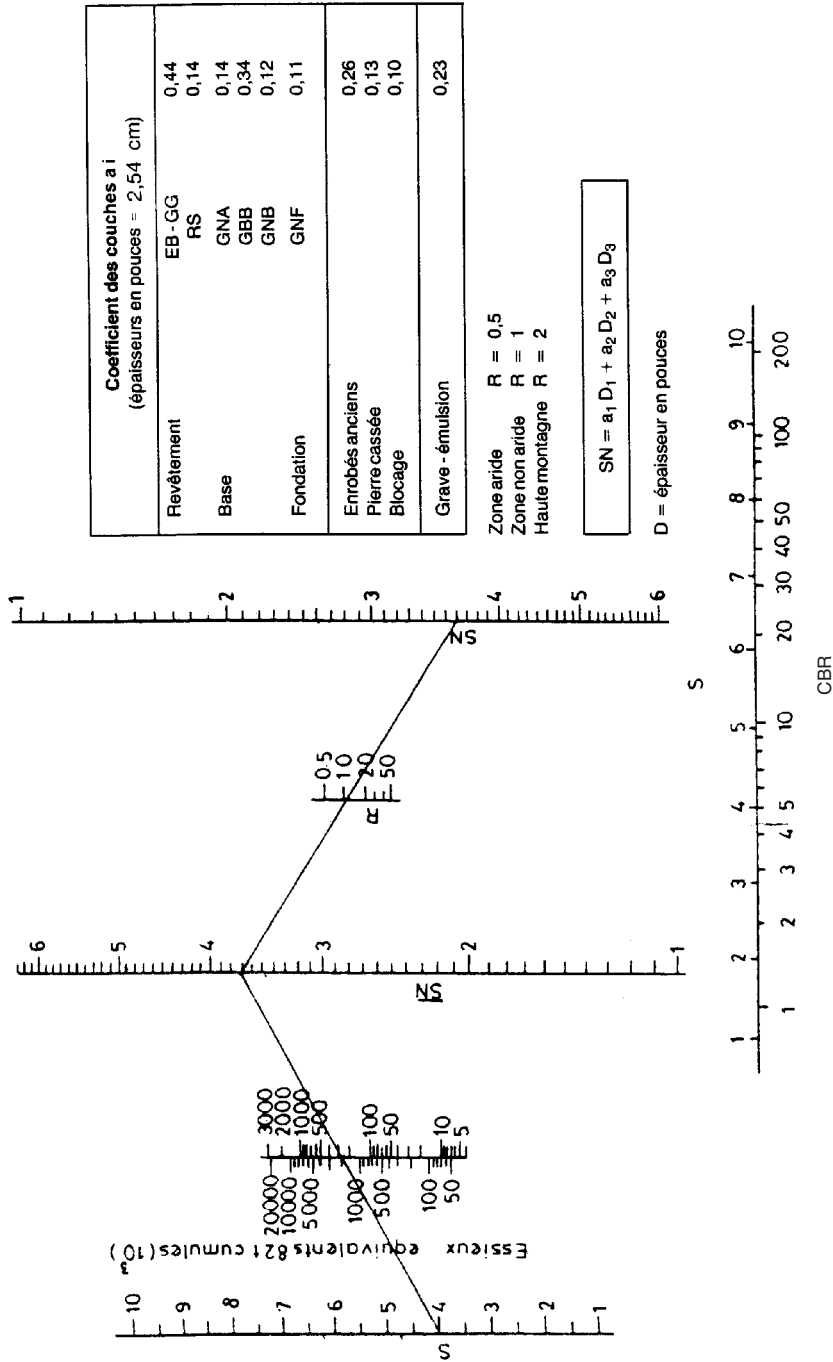
- Chaussée neuve A.A.S.H.T.O
- Chaussée neuve ROAD NOTE 29
- Chaussée neuve ROAD NOTE 31
- Méthode TRRL – LR 571 (déflexion)

2) Catalogue de renforcement

- SETRA – LCPC

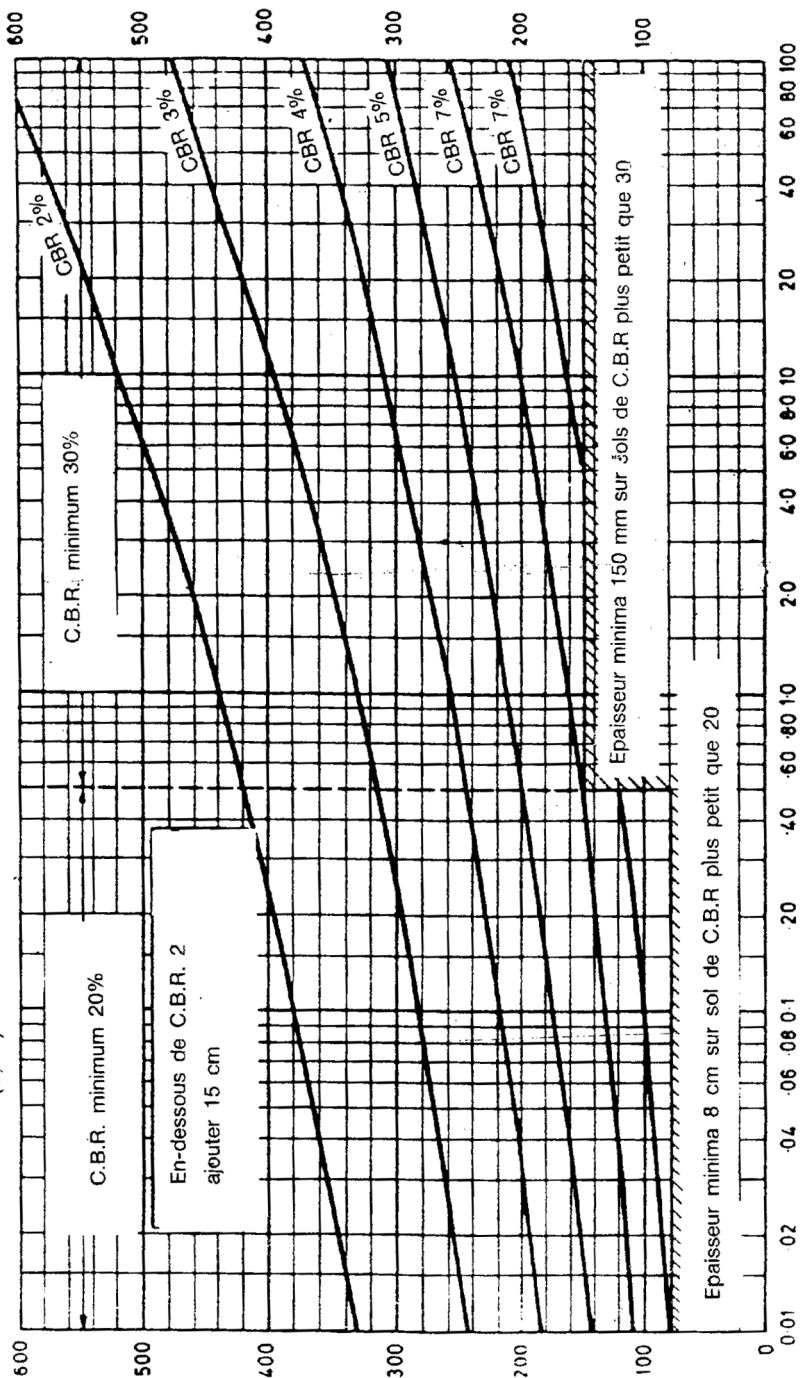
3) Restructuration des accotements

AASHTO -- NIVEAU DE SERVICE Pt = 2,0



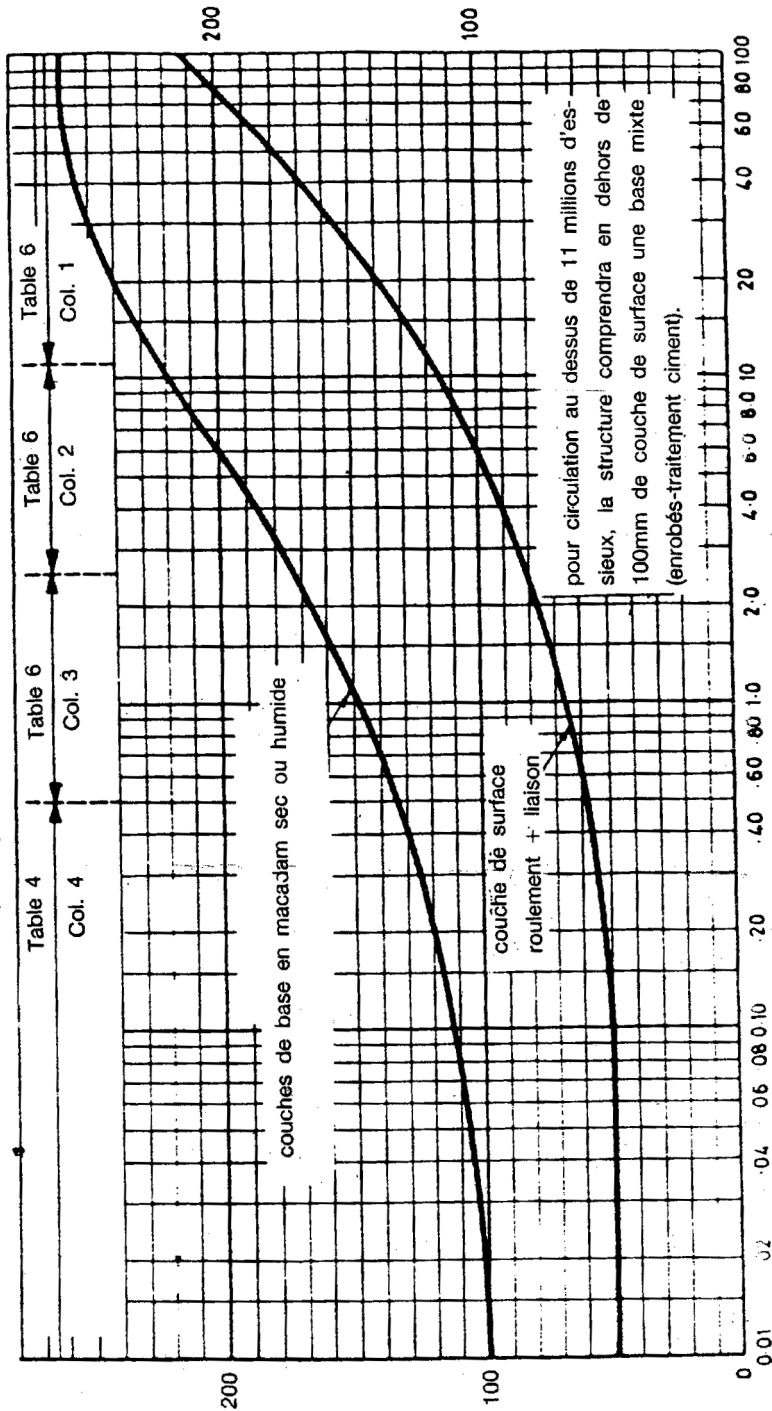
ROAD NOTE 29 - ABAQUE 2.

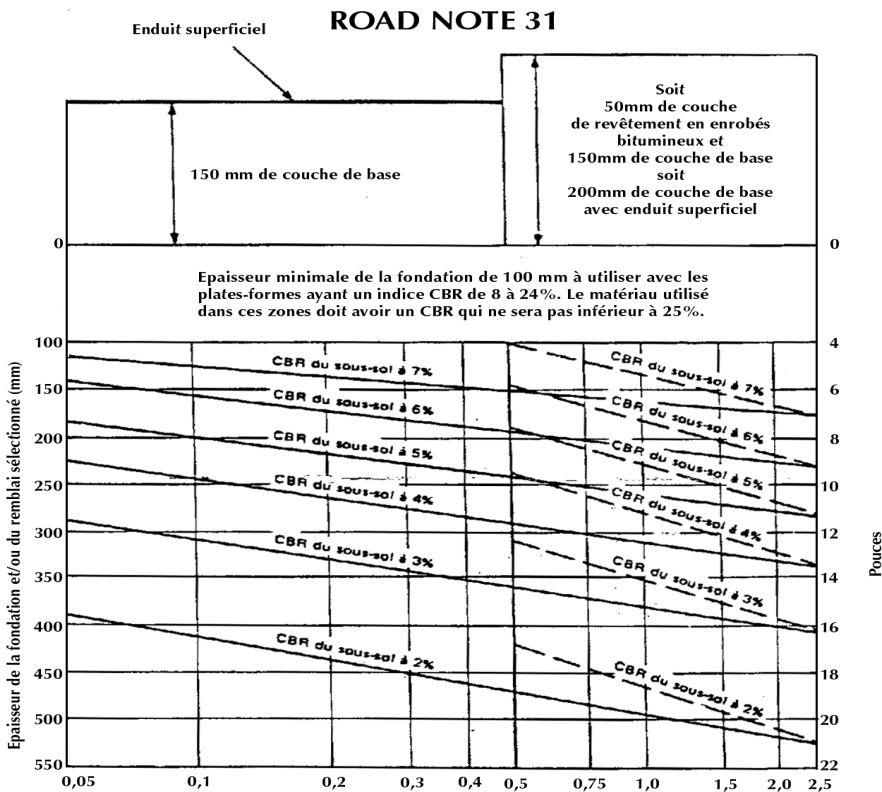
Epaisseur en mm, portée en ordonnée, de la couche de fondation en matériaux non traités, en fonction du nombre cumulé d'essieux (8,2T) normaux $\times 10^6$ et du C.B.R du terrain de fondation.



ROAD NOTE 29 – ABAQUE 1

Epaisseurs minima en mm (portées en ordonnée) de couches de surface souples et de couches de base en macadam non traité en fonction du nombre d'essieux (8,2 T) normaux $\times 10^6$





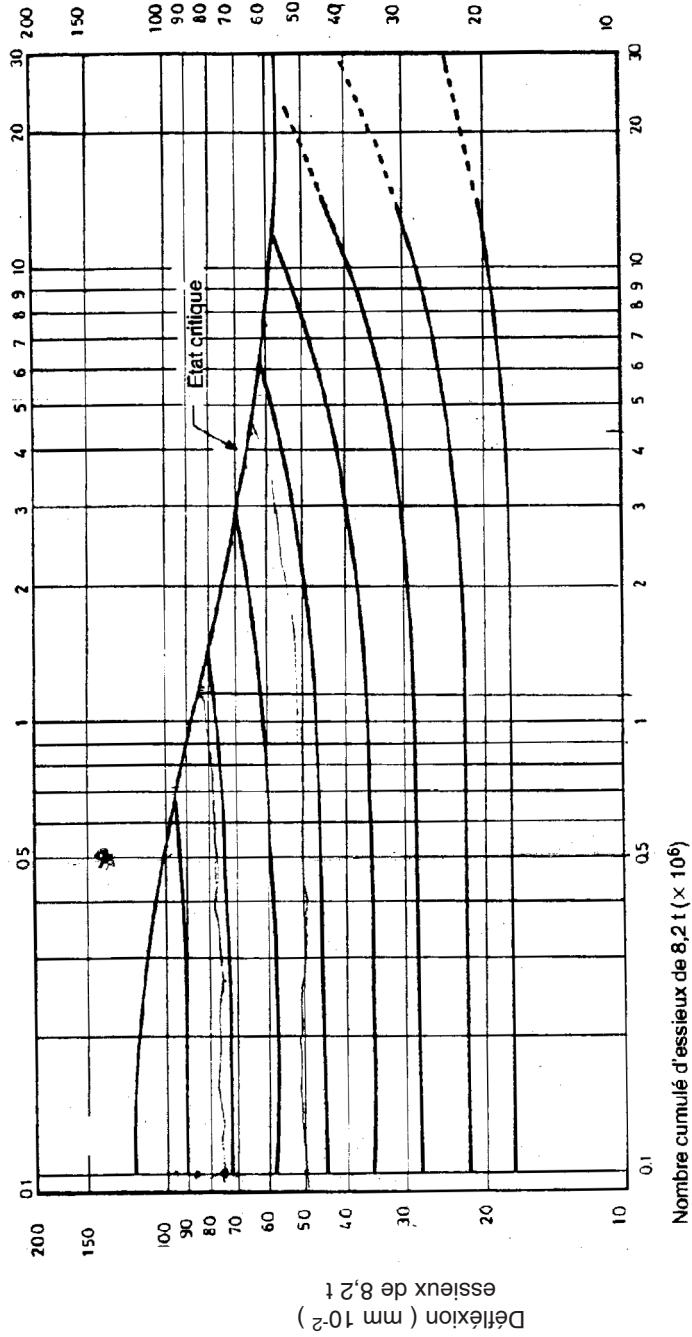
Nombre cumulé d'essieux standards se déplaçant dans une direction ($\times 10^6$)

Si l'on désire au moment de la construction une chaussée capable de supporter plus de 0,5 million d'essieux standards, le projeteur peut choisir soit une couche de base de 150 mm avec une couche enrobés bitumineux de 50 mm, soit une couche de base de 200 mm avec un enduit bicouche. Dans ces deux cas, l'épaisseur de la fondation recommandée est indiquée par la ligne brisée.

On peut aussi utiliser une couche de base de 150 mm d'épaisseur avec enduit bicouche, transportés. L'épaisseur supplémentaire peut se composer de 50 mm d'enrobés bitumineux ou d'au moins 75 mm de roche concassée avec un enduit bicouche. La dimension de l'agrégat le plus gros de la roche concassée ne doit pas dépasser 19 mm et l'ancienne surface doit être préparée par scarification à une profondeur de 50 mm. Pour l'aménagement par étapes, l'épaisseur recommandée de la fondation est indiquée par la ligne en trait plein.

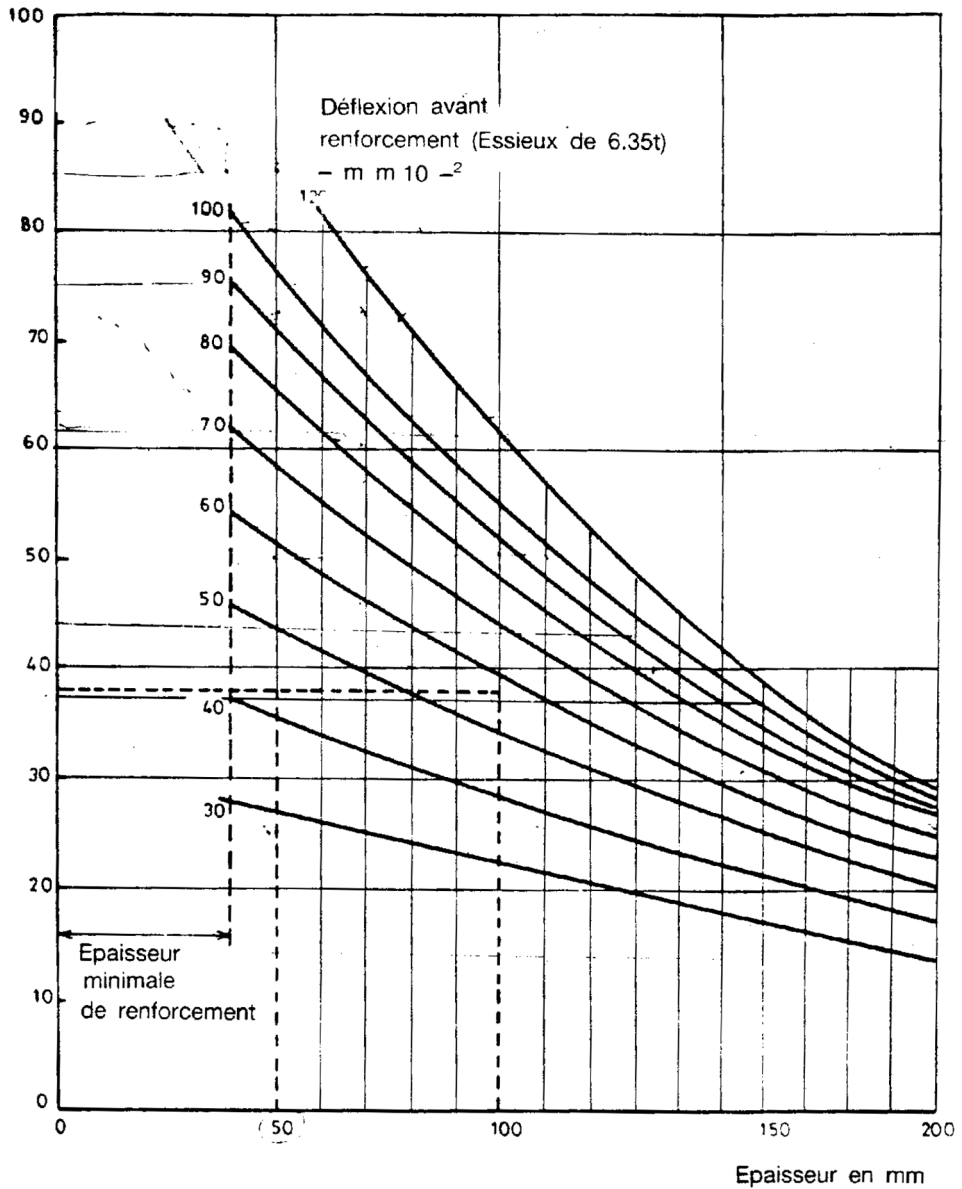
Fig.3 : ABAQUE POUR LA DETERMINATION DE L'ÉPAISSEUR DES CHAUSSEES SOUPLES

T.R.R.L Report LR - 571
ABAQUE I



Déflexion Durée de vie pour chaussées non traitées

T.R.R.L Report LR - 571
ABAQUE II



**Epaisseur de Renforcement
 (Béton bitumineux)**

METHODE DE RENFORCEMENT SETRA – LCPC

1– CLASSE DE TRAFIC : T_i

Les différentes classes de trafic adoptées sont les suivantes :



PL – MJA sur la voie la plus chargée pendant l'année des travaux.

2– CLASSE DE STRUCTURE DE L'ANCIENNE CHAUSSEE – C_j

S'il y a concordance entre les divers aspects de la chaussée la valeur de la déflexion caractéristique d_c qui est un paramètre quantifié, sera choisie pour déterminer la classe C_j en adoptant la correspondance suivante :

Valeur de la déflexion caractéristique d_c	0-50	50-75	75-100	100-150	150-200	200-300
C_j	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6

3– REMISE EN ETAT DES ROUTES DE MOINDRE IMPORTANCE (en général trafic inférieur à T_3)

C_j	C_1 à C_3	C_4	C_5	C_6
Inférieur à T_3	—	8 BB	20 GH + 6 BB ou 10 BB	22 GH + 6 BB ou 12 GB + 6 BB

METHODE DE RENFORCEMENT SETRA - LCPC (Suite)

TABEAU N°2
RENFORCEMENT EN GRAVES-BITUME (GB) ET BETON BITUMINEUX (BB)
 (avant prise en compte du gel)

SOLUTION R

T _i	C _j	C2			C3			C4			C5			C6		
		e1 (2)	e2	e3	e1	e2	e3	e1	e2	e3	e1	e2	e3			
T0		15GB	12	12	18	15	12	18	18	15	15	18	15	15	(1)	
		8BB	8	8	8	8	8	8	(4)	8	8	10	8	8		
T1		2 x 7 BB			15GB	12GB+8BB ou 2 x 7BB		18	15	12	18	15	12	18		
T2					10 BB		15GB 12GB+6BB ou 6BB		12GB+6BB ou 2 x 7 BB		18	15	12	18		
T3							10 BB		10 BB			15	12	12	12	6

1) Cases en pointillé : ces cas ne se rencontrent généralement pas. Le cas échéant, une étude particulière est à envisager

2) e₁, e₂, e₃ épaisseur de la couche de roulement de l'ancienne chaussée

e₁ < 5 cm (enduit superficiel ou enrobés)

5 cm < e₂ < 10 cm (enrobés)

e₃ > 10 cm (enrobés)

Si ces enrobés sont « très fatigués », il conviendra de réduire d'une classe l'épaisseur réelle en place.

3) Dans ce cas, un renforcement n'est pas nécessaire. Toutefois, si le renouvellement de la couche de roulement s'impose (pour des raisons de sécurité par exemple), la solution retenue sera fonction du problème à résoudre et tiendra compte de l'intensité du trafic (un Guide technique provisoire de l'entretien, en cours de préparation, traitera de ces problèmes).

4) Pour obtenir de meilleures qualités superficielles, on pourra exceptionnellement admettre de répandre la GB en couche de 20 cm d'épaisseur et remplacer la structure 18 GB + 10 BB par la structure 20 GB + 8 BB

**RESTRUCTURATION DES ACCOTEMENTS DANS LE CADRE
DES RENFORCEMENTS DE CHAUSSEE**

I SOLUTION RECOMMANDEE

Décaissement de l'ancien accotement sur toute sa largeur et sur la totalité de l'épaisseur de l'ancien corps de chaussée.

1er Cas où $e \leq 50$ cm et $T < T_1$, (e = épaisseur ancien corps de chaussée)

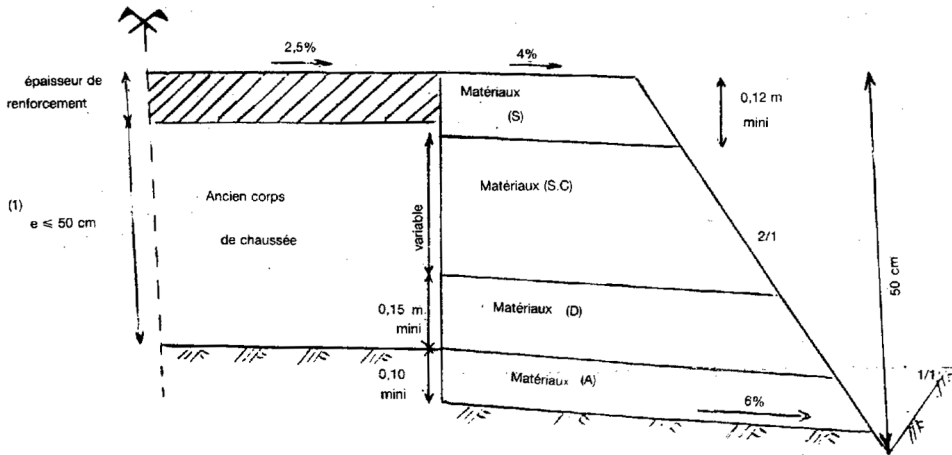


Schéma I-1

2ème Cas où $e \leq 50$ cm et $T \geq T_1$

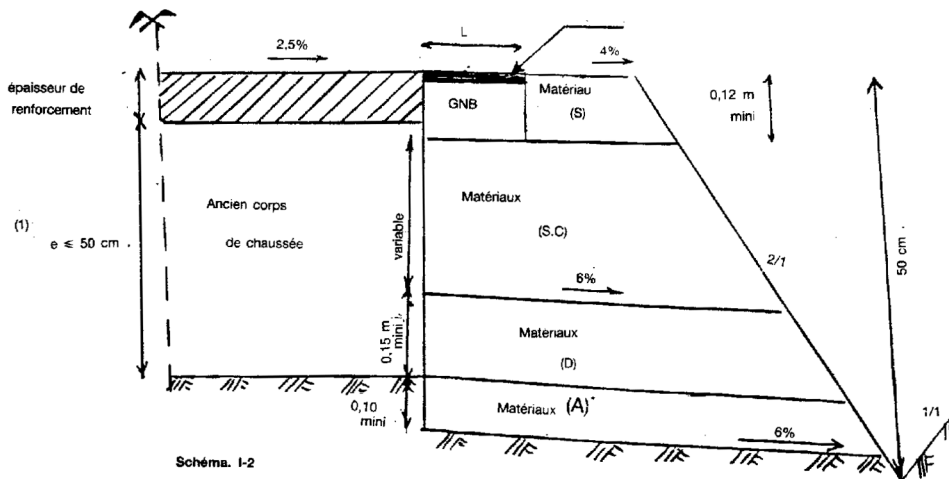


Schéma. I-2

$$L = \begin{cases} 1 \text{ m si } T = T_1 \\ 1,5 \text{ m si } T = T_0 \end{cases} \quad \text{Croquis sans échelle}$$

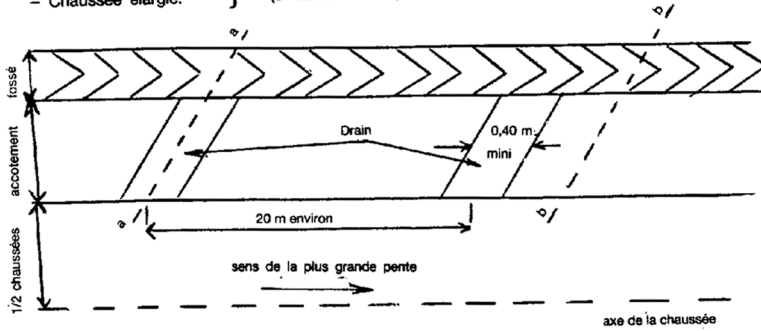
(*) la mise en place de cette couche sera nécessaire sur un sol tirseux ou constitué d'un matériau d'IP > 30.

II. SOLUTIONS ECONOMIQUES :

A : Drains transversaux disposés dans l'accotement

Solution non applicable dans les cas suivants :

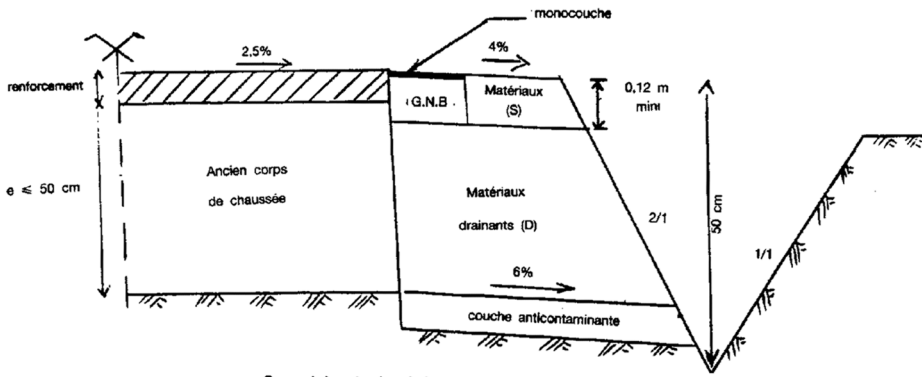
- Points bas. (CF schémas I.1 et I.2)
- Jonction déblai-remblai } (cf schémas b-1)
- Chaussée élargie.



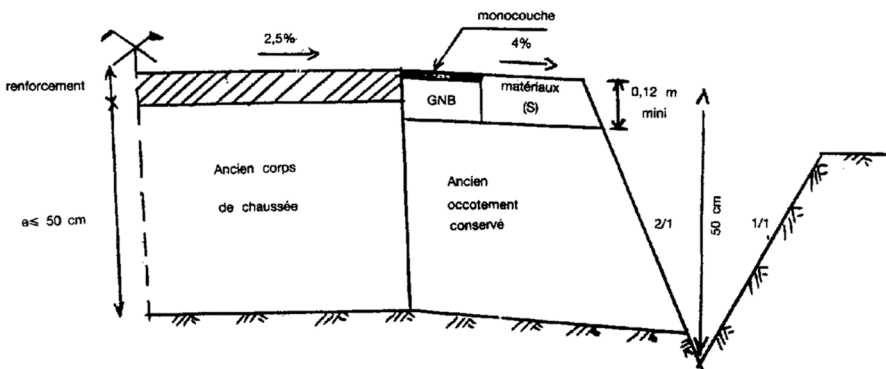
Vue en plan de 1/2 chaussée

Schéma a-1

Coupe a-a sur drain

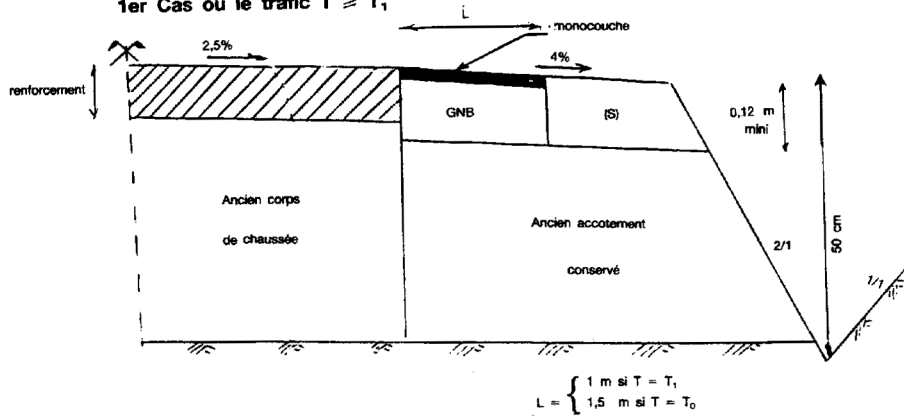


Coupe b-b entre les drains

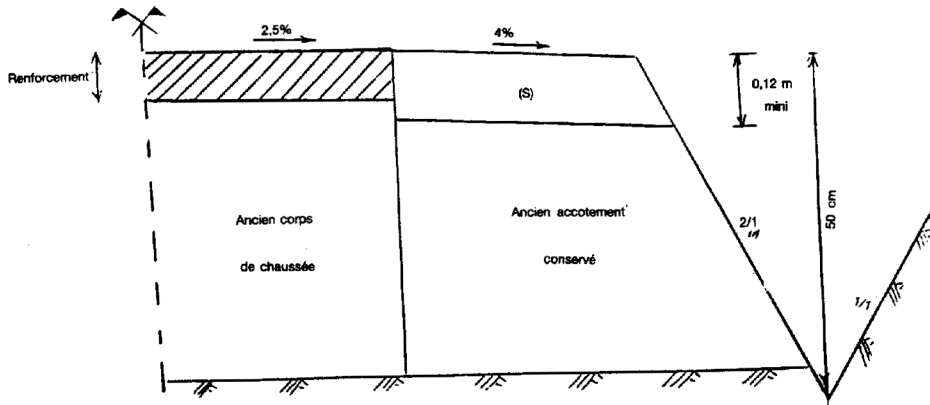


III SOLUTIONS EXTREMES

1er Cas où le trafic $T \geq T_1$



2ème Cas où le trafic $T < T_1$



CHAPITRE X

STABILITE DES TALUS ET DES VERSANTS

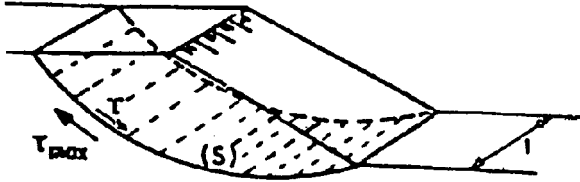
Dans ce chapitre sont rassemblés des documents divers relatifs à la stabilité des talus et des versants.

- Terminologie des stabilités de versant
- Principes d'analyse de stabilité des talus et versants.
- Bibliographie concernant les abaques de calcul de stabilité de talus de déblai, de remblai sur sols mous.
- Terminologie des instabilités de talus rocheux et ouvrages confortatifs .
- Analyse de stabilité de remblai sur sol mou en complément

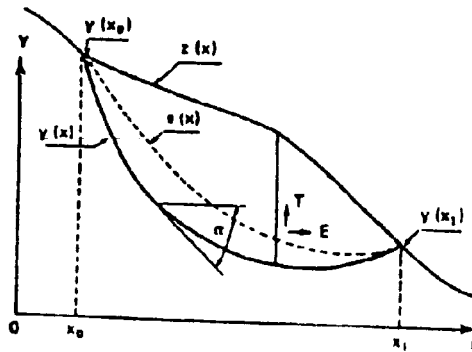
TABLEAU 1 Classification des mouvements de terrain (J.-P. Mougin)

SURFACE DE RUPTURE DEFINIE ou NON	RELATION DE LA SURFACE DE RUPTURE AVEC LA GEOLOGIE	REMANIEMENT INTERNE	FORME DE LA SURFACE DE RUPTURE	TERRAINS CONCERNES	EXTENSION des MASSES ou MOUVEMENT	ZONE DE DEPART	CLASSE	TYPE	SCHEMA	
SURFACE DE RUPTURE DEFINIE	SURFACE DE RUPTURE INDEPENDANTE DE LA STRUCTURE GEOLOGIQUE DES TERRAINS OU DANS UN TERRAIN HOMOGENE	FAIBLE	CIRCULAIRE	TOUS SAUF ROCHES DURES	FAIBLE A MOYENNE	EXISTANTE	GLISSEMENTS DE TERRAIN AU SENS STRICT	GLISSEMENT CIRCULAIRE		
			PLANE					GLISSEMENT PLAN		
			MIXTE					GLISSEMENT MIXTE		
	SURFACE DE RUPTURE DEFINIE	QUELCONQUE	FORT	SOLS MEUBLES	FAIBLE A MOYENNE	EXISTANTE	COULEES	COULEE DE TERRE		
					FORTE A TRES FORTE			COULEE DE BOUE		
				ROCHES DURES	MOYENNE A TRES FORTE	EXISTANTE	ECROULEMENTS			
				SOLS MEUBLES	FAIBLE	INEXISTANTE		SOLIFLUXION		
	NON DEFINIE	DANS UNE COUCHE ET EN RELATION AVEC LA GEOMETRIE	FAIBLE	SELON LA STRUCTURE GEOLOGIQUE	TOUS SAUF TRES DURS	FAIBLE A MOYENNE	EXISTANTE	GLISSEMENTS DANS UNE COUCHE	GLISSEMENT DE BLOC	
						MOYENNE A FORTE			GLISSEMENT DE BLOC ET ECROULEMENT	
		EN CONTACT DE DEUX COUCHES OU DE DEUX TERRAINS	FAIBLE	SELON LA LIMITE ENTRE LES TERRAINS	TOUS ALTERATIONS SOL SUR ROCHE	FAIBLE A FORTE	EXISTANTE	GLISSEMENTS SUR COUCHE	GLISSEMENT SELON LA STRATIFICATION	
FORT									GLISSEMENT SUPERFICIEL D'ALTERATION	
		VARIABLE	PAS	ROCHES	FAIBLE		FAUCHAGE			

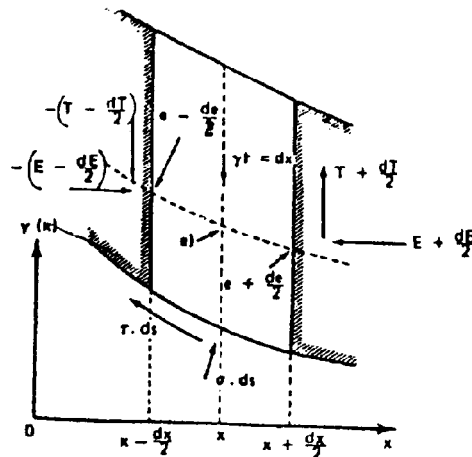
ANALYSE DE STABILITE DES PENTES EN SOL MEUBLE



2 - 16- Schéma d'analyse de stabilité à la rupture



2 - 17-Schéma des forces mécaniques

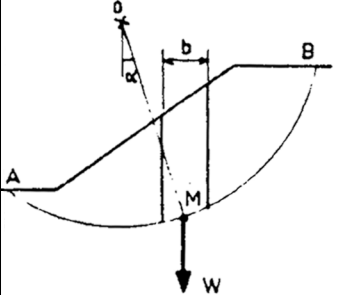


2 - 18-Equilibre d'une tranche élémentaire

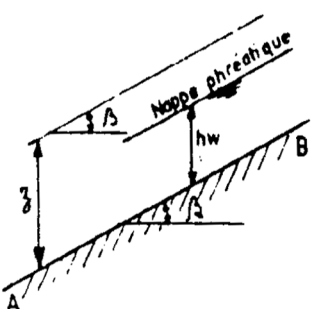
**EXTRAIT DE FONDATION ET OUVRAGE EN TERRE
PHILIPPONAT - EDITIONS EYROLLES**

FORMULES ET ABAQUES

**I- RECAPITULATIF DES PRINCIPAUX CAS ETUDIES
DANS CE CHAPITRE**

TYPES DE RUPTURE ET DEFINITIONS	CAS	FORMULES OU ABAQUES
<p align="center">RUPTURE CIRCULAIRE</p>  <p> $T = W \sin \alpha$ $N = W \cos \alpha$ φ et c caractéristiques du sol en M. </p>	<p>FELLENIUS</p> <p>- Cas général</p> <p>• Contraintes effectives</p>	$F_s = \frac{\sum_1^m c' \frac{b}{\cos \alpha} + (N - \frac{ub}{\cos \alpha}) \operatorname{tg} \varphi'}{\sum_1^m T} \quad \textcircled{4}$ $\textcircled{4} \text{ bis}$
	<p>• Contraintes totales</p>	$F_s = \frac{\sum_1^m c_i \frac{b}{\cos \alpha} + N \operatorname{tg} \varphi_i}{\sum_1^m T} \quad \textcircled{1}$
	<p>MILIEU HOMOGENE</p> <p>- Formule générale</p>	$F_s = \frac{c \widehat{AB} + \operatorname{tg} \varphi \sum N}{\sum T} \quad \textcircled{2}$
	<p>- Méthode graphique</p>	$F_s = \frac{c \widehat{AB} + S_b \operatorname{tg} \varphi}{S_c} \quad \textcircled{3}$
	<p>• Sol pulvérulent</p>	<p>sans écoulement $F_s = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \beta} \quad \textcircled{10}$</p>
	<p>• Sol cohérent</p> <p>• Talus vertical</p> <p>(Hauteur critique : H_c pour $F_s = 1$)</p>	<p>écoulement :</p> <p>- parallèle à la pente $\operatorname{tg} \beta = \frac{1}{2} \operatorname{tg} \varphi \quad \textcircled{11}$</p> <p>- horizontal $\beta = \frac{1}{2} \varphi \quad \textcircled{12}$</p> <p>- Abaque de TAYLOR BIAREZ - Fig. 25</p> <p>• sans fissure $H_c = \frac{3,85 c}{\gamma} \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \quad \textcircled{15}$</p> <p>• fissures de traction</p> $H_c = \frac{2,67 c}{\gamma} \left(\operatorname{tg} \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \quad \textcircled{15} \text{ ter}$
	<p>BISHOP simplifiée</p>	$F_s = \frac{1}{\sum_1^m T} \sum_1^m \left[\frac{(W - ub) \operatorname{tg} \varphi' + cb}{\cos \alpha + \sin \alpha \cdot \frac{\operatorname{tg} \varphi'}{F_s}} \right] \quad \textcircled{6}$
<p>ATTENTION : Choix des valeurs de c et φ : Tableau page : 180</p>		

stabilité des pentes et des talus

<p>RUPTURE PLANE</p>  <p>$\sum \gamma h$ = poids total des terres au dessus du plan de glissement AB (contraintes totales)</p> <p>P_p composante selon AB de la butée aval P_a composante selon AB de la poussée amont</p>	<p>PENTE INFINIE</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avec écoulement // à la pente. • Pas de nappe 	$F_s = \frac{c' + (\sum \delta h - \gamma_w h_w) \cos \beta \operatorname{tg} \psi'}{\sin \beta \cos \beta \sum \delta h} \quad (7)$
		$F_s = \frac{c + \gamma \cos \beta^2 \operatorname{tg} \psi'}{\gamma \sin \beta \cos \beta} \quad (8)$
	<p>PENTE DE HAUTEUR FINIE</p>	$F_s = \frac{R + P_p}{P_a + T} \quad (9)$ <p>avec $R = c' L + (w \cos \beta - U) \operatorname{tg} \psi'$ $T = W \sin \beta$</p>
<p>BARRAGES EN TERRE</p> <p>W' : poids déjaugé W : poids saturé</p>	<p>– Surface phréatique</p>	<p>Parabole de Kozeny (16) à (16) ter</p>
	<p>– Règle de Lane</p>	<p>Formule (17)</p>
	<p>• Stabilité à court terme</p>	<p>avec ψ_u et c_u § VIII.31</p>
	<p>• Stabilité à long terme</p>	<p>– réseau d'écoulement avec ψ' et c' § VIII.32</p>
	<p>• Vidange rapide</p>	$F_s = \frac{\sum c' l + \sum W' \cos \alpha \operatorname{tg} \psi'}{\sum W \sin \alpha} \quad (18)$

II - BIBLIOGRAPHIE DES ABAQUES DE STABILITÉ DE TALUS

(d'après Pilot - Réf. [8j])

II.1- Remblais sur sols mous

Schéma traité	Description sommaire	Références
	<p>Rupture circulaire par la méthode de Bishop.</p> <p>Calcul à court terme.</p> <p>Matériau de remblai seulement frottant.</p> <p>Paramètres :</p> $\text{Cotg } \beta, N = \frac{C_u}{H}, \frac{H_B}{\gamma H}, \gamma.$	<p>PILOT G.</p> <p><i>Abaques pour le calcul de la stabilité des talus de remblais sur sols mous. Matériau pulvérulent.</i></p> <p>Bull. Liaison Labo. Routiers P. et Ch. n° 25 (mai-juin 1967) p. 4-1 à 4-10.</p>
	<p>Rupture circulaire par la méthode de Bishop.</p> <p>Calcul à court terme.</p> <p>Matériau de remblai cohérent et frottant.</p> <p>Paramètres :</p> $\text{Cotg } \beta, N = \frac{C_u}{\gamma H}, \frac{H_B}{H}, \gamma.$	<p>PILOT G. et Mme KACMAZ S.</p> <p><i>Abaques pour le calcul de la stabilité des talus de remblais sur sols mous. Matériau de remblai cohérent et frottant.</i></p> <p>Bull. Liaison Labo. Routiers P. et Ch. n° 29 (janv.-févr. 1968) p. 7-1 à 7-6.</p>
<p style="text-align: center;">$\text{cotg } \beta = 2/1$</p>	<p>Rupture circulaire par la méthode de Bishop.</p> <p>Calcul à court terme.</p> <p>Matériau de remblai frottant.</p> <p>Surcharge latérale.</p> <p>Paramètres :</p> $N = \frac{C_u}{\gamma H}, \frac{H_B}{H}, \gamma, \frac{h}{H}, \frac{l}{H}$	<p>MOREAU M. et PILOT G.</p> <p><i>Abaques de calcul de stabilité des remblais sur sols mous équipés de banquettes latérales.</i></p> <p>Rapport interne L.C.P.C. (décembre 1970).</p>

II.2- Remblais sur versants

Schéma traité	Description sommaire	Références
<p style="text-align: center;">$\text{cotg } \lambda = 2/1$</p>	<p>Rupture plane parallèle au terrain naturel.</p> <p>Calcul à court et à long terme.</p> <p>Remblai de forme « trapézoïdale » ou triangulaire.</p> <p>Paramètres :</p> $\frac{\gamma N}{F}, \frac{\gamma_R}{\gamma_F}, \frac{2B}{Z}, \frac{H}{2B}, m,$ $N = \frac{C_u}{\gamma_F z} \left(\text{ou } \frac{c'}{\gamma_F \cdot z} \right), \varphi$	<p>PILOT G. et Mme KACMAZ S.</p> <p><i>Abaques de stabilité d'ensemble des remblais sur sols inclinés.</i></p> <p>Bull. Liaison Labo. Routiers P. et Ch. n° 32 (juin-juil. 1968) p. 35-52.</p>

II.3- Tranchées de déblais et barrages

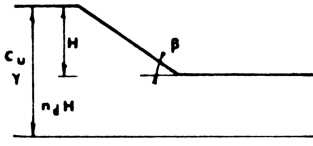
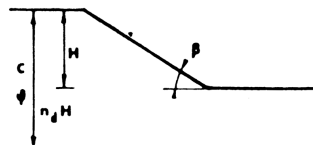
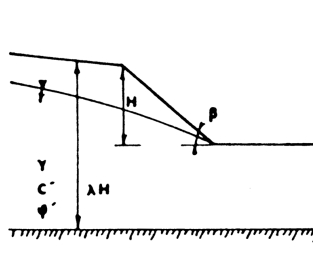
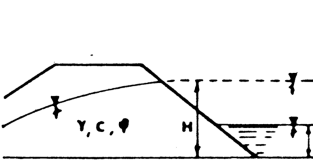
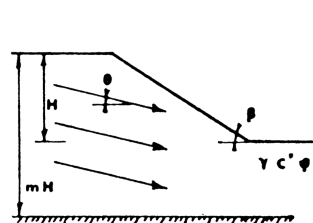
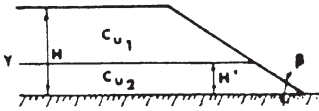
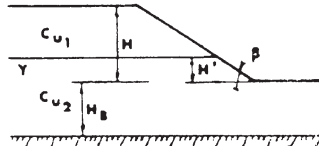
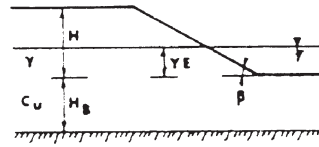
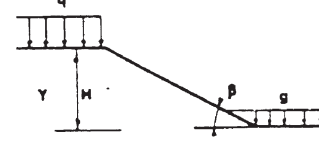
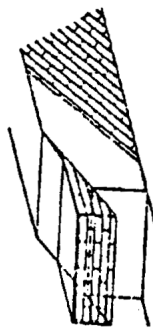
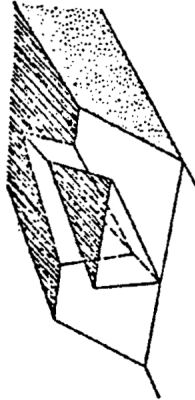
Schéma traité	Description sommaire	Références
	<p>Rupture circulaire par la méthode de Fellenius. Calcul à court terme. Paramètres : $n_d, \beta, N = \frac{C_u}{\gamma H}$</p>	<p>TERZAGHI et PECK <i>Mécanique des Sols Appliquée</i>. J. Wiley and Sons (1948). Dunod, Paris (1961).</p>
	<p>Rupture circulaire par la méthode de Taylor. Calcul à court terme ou long terme. Paramètres : $n_d, \beta, N = \frac{c}{\gamma H}, \varphi$</p>	<p>TAYLOR <i>Fundamentals in Soil Mechanics</i>.</p>
	<p>Rupture circulaire par la méthode de Bishop. Calcul à long terme. (Le régime hydraulique est caractérisé par un paramètre $n_u =$ valeur moyenne de $\frac{u}{\gamma_w h}$ dans la nappe) Paramètres : $\lambda, \text{Cotg } \beta, N = \frac{c'}{\gamma H}, n_u, \varphi'$</p>	<p>BISHOP et MORGENSTERN <i>Stability Coefficients for earth slope</i>. Géotechnique 1960. Vol. 10 (décembre) p. 129-150.</p>
	<p>Rupture circulaire par la méthode de Bishop. Calcul de stabilité d'un parement amont de barrage en terre en vidange rapide c'est un calcul à court terme en contraintes totales. Paramètres : $\frac{H'}{H}, \text{Cotg } \beta, N = \frac{C'}{H}, N_u, \varphi'$</p>	<p>MORGENSTERN <i>Stability charts for earth slopes during rapid draw-down</i>. Géotechnique 1963. Vol. 13 (juin) p. 121-131.</p>
	<p>Rupture circulaire par la méthode de Caquot. Calcul à long terme pour un écoulement rectiligne uniforme. Paramètres : $m, \text{Cotg } \beta, X = \frac{c'}{2BH}, \theta, \varphi'$ Donne également la position du cercle la plus défavorable.</p>	<p>KERISEL <i>Glissements de Terrains</i>. Dunod, Paris (1966).</p>

Schéma traité	Description sommaire	Références
	<p>Calcul en rupture circulaire par la méthode de Bishop.</p> <p>Calcul à court terme (bicouche cohérent).</p> <p>Paramètres :</p> $\frac{H'}{H}, \text{Cotg } \beta, N = \frac{c_{u1}}{H}, \frac{c_{u2}}{c_{u1}}$	<p>BLONDEAU F., CHIRIE et PILOT G. <i>Abaques de calcul de stabilité des talus de déblais en sol bicouche.</i> Première partie. Rapport interne L.C.P.C. (1969). Rapport de travail personnel E.N.P.C.</p>
	<p>Calcul en rupture circulaire par la méthode de Bishop.</p> <p>Calcul à court terme (bicouche cohérent).</p> <p>Paramètres :</p> $\frac{H'}{H}, \text{Cotg } \beta, N = \frac{c_{u1}}{\gamma H}, \frac{c_{u2}}{c_{u1}}, \frac{H_B}{H}$	<p>BLONDEAU F. et BERCHE J.C. <i>Abaques de calcul de stabilité des talus de déblais en sol bicouche.</i> Deuxième partie. Rapport interne L.C.P.C. (décembre 1970).</p>
	<p>Calcul en rupture circulaire par la méthode de Bishop.</p> <p>Calcul à court terme.</p> <p>Paramètres :</p> $\frac{YE}{H}, \frac{H_B}{H}, N = \frac{c_u}{\gamma H} - \text{Cotg } \beta$	<p>SMIRES, LAYACHI et PILOT G. <i>Abaques de calcul de stabilité des talus partiellement immergés.</i> Rapport L.C.P.C. (juillet 1970). Rapport de travail personnel E.N.P.C.</p>
	<p>Calcul en rupture circulaire.</p> <p>Combinaisons diverses de surcharges en tête et en pied, avec ou sans nappe horizontale.</p>	<p>JANBU <i>Stability analysis of slopes with dimensionless parameters.</i> Harvard Soil Mechanic Series (janvier 1954).</p>



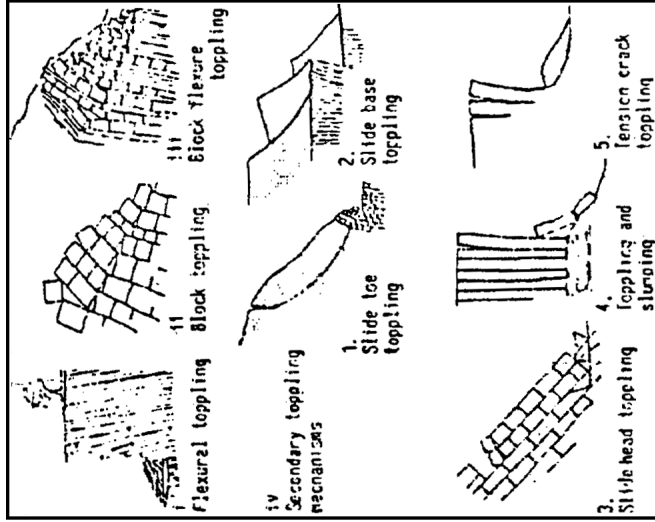
Glissement plan suivant un plan.



Glissement en coin



Fauçage



Les trois principaux types de rupture des massifs rocheux.

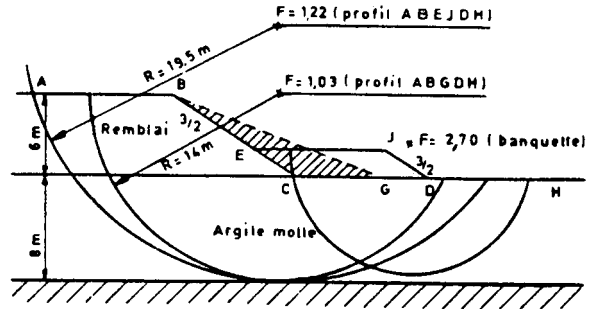
Types de basculements de bloc (fauchage) (Goodman et Bray).

CLASSE	TYPE		MODE
A PARADES ACTIVES Procédés visant à la stabilisation	1	Revêtement naturel	Végétalisation
			Fascines, implants d'arbustes
			Reboisement de versant
	2	Revêtement artificiel	Béton projeté
			Perré
			Grillage plaqué ou ancré
			Masque d'encrochement
	3	Soutènement	Contrefort, buton
			Mur
			Ancrage précontraint
			Ancrage passif
	B PARADES PASSIVES Procédés visant au contrôle de la chute et au maintien d'une emprise sans obstacles	1	Ecran de l'emprise
Blocs de béton			
Séparateur en béton			
Merlon de terre			
Mur cellulaire			
Ecrans divers, gabions...			
2		Obstacle sur pente	Mur barrage
			chambre d'éboulis
			Risberme avec ou sans écran grillage
			Ecrans divers, filets métalliques..
3		Contrôle chutes de pierres	Couverture grillagée
4		Ouvrage de transit	Galerie paravalanche
			Etraves, tremplins...
5		Abattage contrôlé	Purge
			Rescindement
6		Déplacement d'itinéraire	Modification du tracé

Classification des différentes parades
 (document L.C.P.C.)

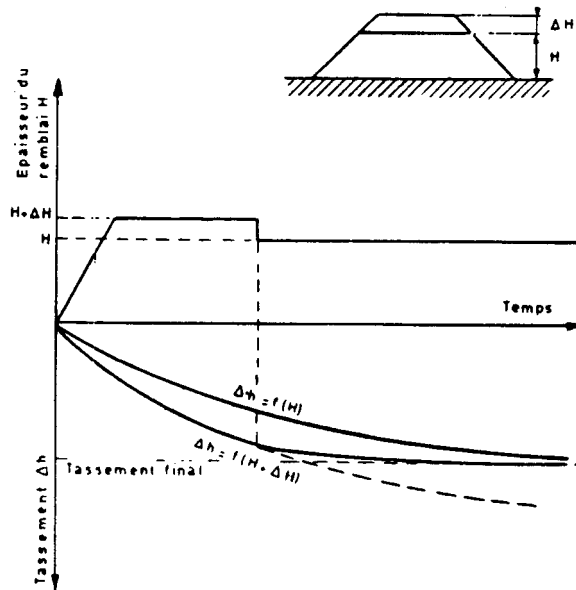
REMBLAIS SUR SOL COMPRESSIBLES

Exemple de méthodes constructives :



- Exemple d'amélioration de la stabilité à l'aide d'une banquette latérale. Les aires B.C.G. et E.J.D.C. sont identiques.

1 - Banquettes stabilisations

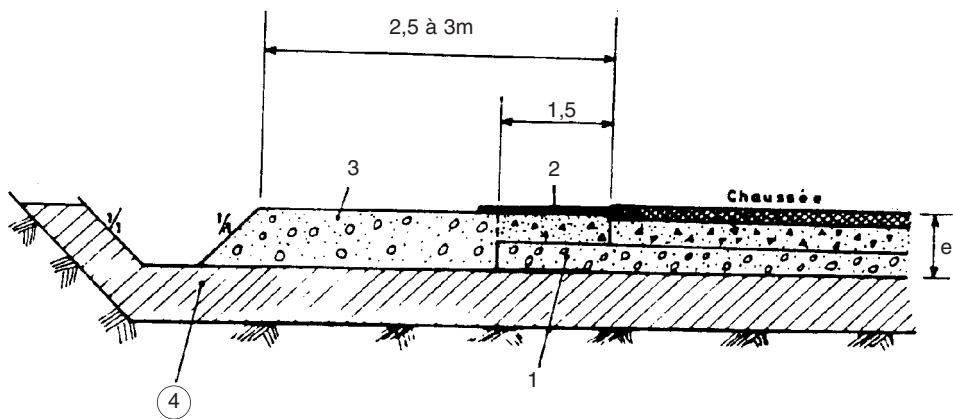


- Utilisation d'une surcharge temporaire pour accélérer les tassements.

2 - Surcharges pour accélération de la consolidation

CHAPITRE XI

CHAUSSEE SUR SOL ARGILEUX INSTABLE



- 1 → Butée latérale (prolongement du corps de chaussée).
- 2 → Enduit monocouche ou imprégnation sablée sur toute la largeur de la butée latérale.
- 3 → Accotement en grave non traitée type GNF
- 4 → Couche de forme en sol d'apport ou en sol stabilisé à la chaux

PARTIE III

Dans cette partie sont réunis à titre indicatif des documents de présentation d'études géotechniques tels qu'ils ont été utilisés dans des études antérieures.

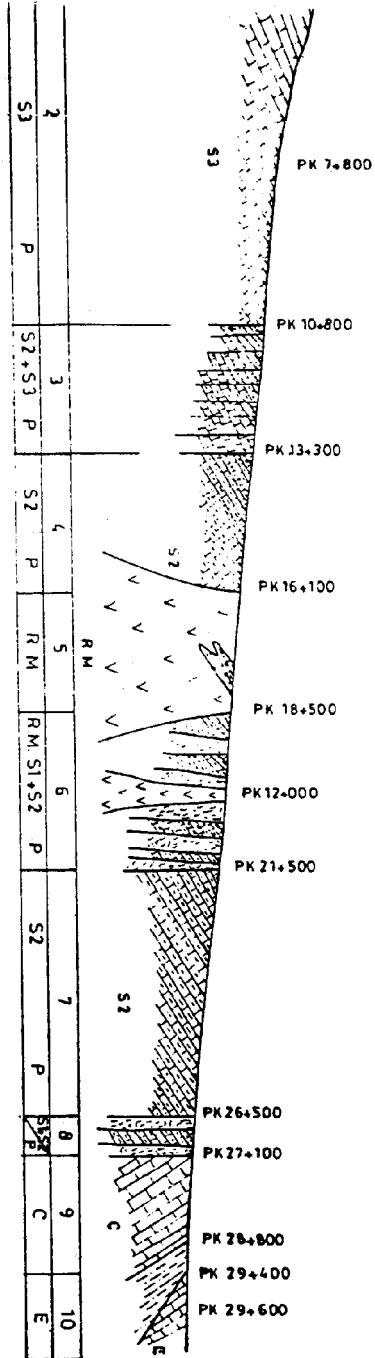
Ces documents ne prétendent pas normaliser la présentation des différentes études car bien souvent c'est en fonction du contenu de chaque étude que le document est bâti. Cependant, certains de ces documents (schéma itinéraire pour études de renforcement par exemple) ont été mis au point et utilisés très fréquemment et dans ce cas peuvent être considérés comme ayant atteint une forme quasi-définitive.

CHAPITRE I

ETUDE DE DEFINITION

- Tâche n° 1** : Description des massifs rocheux III.1-1 à III.1-3.
- Tâche n° 2** : Appréciation de la stabilité des versants III.1-4.
- Tâche n° 3** : Estimation globale sur la réutilisation des matériaux de déblai III.1-5.
- Tâche n° 6** : Connaissance des matériaux pour corps de chaussée III.1-6.

COUPE SCHEMATIQUE DU TRACE
Echelle approximative : 1/1000



II- FORMATIONS TRAVERSEES

II.1 – Introduction :

La description a été faite en se référant à la carte géologique (feuille d'Ouarzazate) à l'échelle 1/500.000; elle a été illustrée par une série de planches dessinées à partir des photos aériennes.

Le nombre de matériaux rencontrés est assez faible, seulement en fin de tracé, la variation devient plus importante. La plupart des roches reconnues sont des schistes bien que l'on puisse distinguer différents types de schistes, comme on verra ci-après. Vers la moitié du tracé à peu près il y a aussi un affleurement de roches magmatiques bien développé.

II.2 – Description des faciès :

II.2-1 - Précambrien :

La série schisteuse débute par des schistes précambriens. Il s'agit de micaschistes à couleur gris brillant, dans lesquels il est difficile de voir la stratification étant donné leur déformation par les différents glissements qu'ils ont subis. Ils affleurent toujours à la faveur de failles qui les exhausent sur les matériaux postérieurs. De façon générale, on peut dire que les schistes ne se trouvent presque jamais à l'état sain mais sont généralement altérés donnant des sables plus ou moins grossiers.

Ces schistes du Précambrien ont été appelés S 1 dans la suite du rapport.

II.2-2 - Cambrien :

Ce sont les schistes vert olive à paroxides de l'Acadien. Au point de vue de leur composition il s'agit d'une puissante série grésopélitique, chloriteuse. Cette série couronne une grande partie des reliefs qui traverse la route. A leur base ils se présentent en gros bancs de 1,00 à 1,50 mètres de puissance, tandis que à leur toit la puissance devient d'échelle centimétrique. La fracturation est très importante il y'a deux jeux de diaclase perpendiculaires à

la stratification et dans la partie finale de la série cette fracturation produit une grande quantité de petits cailloux de schiste qui tombent le long des versants plus forts.

Ces schistes du Cambrien ont été appelés S 2.

II.2-3 - Ordovicien :

Il s'agit des schistes des feijas externes du Trémadoc à lande largement décrites dans la bibliographie du domaine de l'Anti-Atlas. Les feijas externes sont des dépressions allongées remplis de sédiment. La série Ordovicienne a une composition argilo-pélitique et débute par des schistes argileux en bancs peu épais avec une alternance de termes plus compacts et épais et de termes plus argileux, moins compacts et épais.

La partie pélitique de la série est formée par des bancs généralement d'échelle centimétrique de schistes de couleur noire compacts bien que, à la fin de la série, ils soient très altérés surtout dans les zones de faille.

Ces schistes ont été appelés S 3.

II.2-4 - Permien :

En discordance franche sur les terrains inférieurs reposent les restes de la formation permienne qui a été très érodée. Ils constituent la plupart des éboulis (voir ci-dessous). Ils se présentent comme une série graveleuse, non totalement conglomératiques, dans lesquelles les blocs de composition quartzitique sont de taille très variable, du centimètre jusqu'à deux et trois mètres, (masses de plusieurs tonnes de poids). La matrice est argilo-limoneuse et l'ensemble a des teintes rouges.

APPRECIATION DE LA STABILITE DES VERSANTS

Zones (5) :

Du PK 16 + 100 au PK 18 + 500, il existe une prédominance des roches volcaniques bien qu'il y ait des schistes du Cambrien. Cette zone n'est pas trop instable ; on note seulement au niveau de la courbe entre

les PK 16+300 et 16+600 des glissements de la formation graveleuse du Permien parfois chargée en blocs compacts de roches magmatiques. De même des glissements de faible importance affectent la zone du PK 17+400 à 18+200. Les versants de cette zone de la piste ont une pente plus grande par suite d'une résistance supérieure à l'érosion des roches magmatiques par rapport aux schistes.

Zone (6)

Du PK 18+500 au PK 21+500, quoique sa limite avec la zone antérieure ne soit pas définie, l'identité de cette zone provient d'une alternance de roches magmatiques et de schistes du Précambrien et du Cambrien, comme toujours dues à l'influence des failles qui exhausent les matériaux plus anciens.

Les zones instables sont très abondantes surtout dans les points de contact mécanique entre les schistes et les roches plutoniques, ainsi avant et après le PK 21+000 et à la fin de la zone, il y a des glissements. Les parties les plus stables sont celles qui correspondent aux affleurements des schistes du Cambrien, par contre, les parties où affleurent les schistes du Précambrien sont les plus instables. Entre les PK 18+850 et 19+000 il y a un affleurement de roches magmatiques avec un talus très raide.

Zone (7)

Du PK 21+500 au PK 26+500, cette zone est presque identique à la zone 4. Les schistes du Cambrien en bancs bien stratifiés et parfois friables sont les matériaux qui la composent, néanmoins il y a aussi de petites traces des schistes du Précambrien qui sont remontés par contact mécanique.

En général, il s'agit d'une zone stable. Aux PK 21+800, 21+900, 22+100 et 22+200 la formation graveleuse du Permien produit des éboulements sur la piste, ceux-ci ne présentent pas de grands problèmes puisque ce recouvrement a peu d'épaisseur et que la pente du talus n'est pas forte. Entre les PK 22+400 et 23+000 la piste parcourt des terrains plus ou moins plats.

IV- COMPORTEMENT

Le découpage fait apparaître :

- des zones très homogènes où les matériaux restent identiques ou très voisins.
- des zones composites où on a pas pu définir une dominante géologique et où il peut être dangereux de définir un comportement moyen.

Ce découpage n'est pas inutile car il permet de se repérer géotechniquement. Il est cependant, préférable de traiter des comportements par type de matériaux.

IV.1-Les matériaux rocheux ou semi rocheux :

1) Il s'agit des roches magmatiques, des calcaires, marno-calcaires et des schistes les plus sains.

Zone 2, 4, 5 et 7

Zone 1, 3, 6, 8, 9, et 10 partiellement

Portance et tenue à l'érosion sont assurées.

Les terrassements en déblai nécessiteront l'emploi d'explosifs, les matériaux déblayés sont réutilisables. Les pentes de talus de déblai pourront rester verticales si les pendages sont favorables.

Une couche de forme est à prévoir sur les déblais.

2) Les schistes les plus altérés que l'on rencontre dans les zones de faille (à la limite des zones 1 et 2, 2 et 3, 5 et 6 et 7 et 8) ou très localement dans les zones 1, 4, 6, 7 et 8 ou dans la zone 3 en totalité présentent des problèmes particuliers.

La portance reste assurée. La tenue à l'érosion notamment en remblai est faible. Il faudra prévoir l'aménagement des ouvrages hydrauliques pour les protéger contre les érosions.

Les terrassements en déblai pourront être exécutés au ripper. Les matériaux déblayés seront généralement réutilisable (sauf probablement ceux provenant des schistes S 2 du Cambrien qui doivent s'avérer plastiques).

V- MATERIAUX DE VIABILITE

V.1-Matériaux de remblai :

Les matériaux réutilisables ont été énumérés ci-dessous :

V.2-Matériaux pour couche de forme :

Les alluvions récentes de l'Oued Assif-Imouton pourront être utilisés et aussi, peut être, les matériaux de pied-mont.

V.3-Matériaux pour corps de chaussée :

Les roches magmatiques de la zone 5 pourront être exploitées comme matériaux de corps de chaussée après concassage pour couche de base et pour les revêtements.

L'oued Assif Imoutan peut être exploité comme gisement alluvionnaire. La composition des alluvions est la même que les roches amont de l'oued, c'est à dire, des roches magmatiques, quartzites et schistes. Il faudra choisir avec précaution les gîtes d'exploitation en raison du peu d'homogénéité surtout granulaire de ce type de gisement.

Pour les derniers kilomètres du tracé on pourra utiliser les alluvions de l'oued Issil. Les alluvions que l'on rencontre dans le cour actuel de l'oued sont généralement des lits de cailloux. Par contre les terrasses alluviales environnantes sont des graveleux de granulométrie plus continue, présence de sable, et peuvent fournir tels quels des matériaux pour couches de chaussée.

Les alluvions de ces deux oueds ont ceci de remarquables qu'elles se présentent sous forme d'éléments peu roulés (subanguleux) qui leurs confirment de bonne caractéristiques mécaniques pour les couches supérieures de la chaussée (couche de base).

CHAPITRE II

ETUDE D'AVANT PROJET

Tâche n° 1 : Etude du mouvement des terres.

III.2-1 à **III.2-2**.

Tâche n° 3 : Etude des gîtes à matériaux.

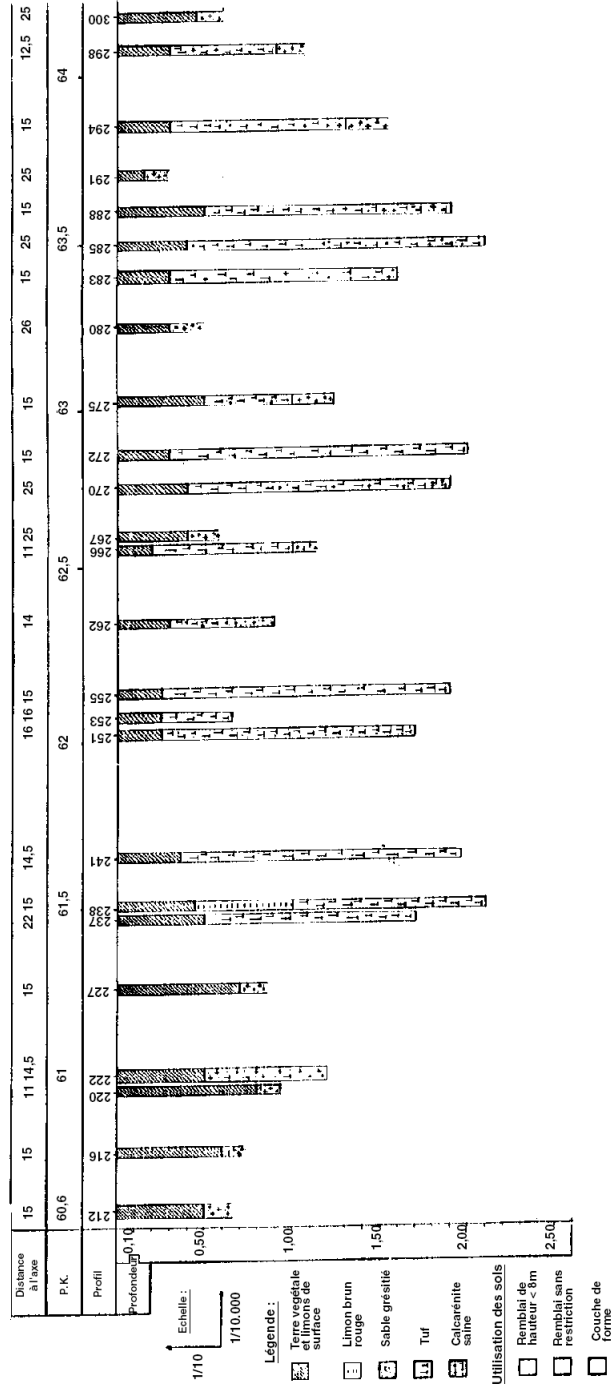
III.2-3 à **III.2-5**.

Tâche n° 4 : Détermination du corps de chaussée à partir des sols de plate-forme.

III.2-6 Schéma itinéraire pour étude de renforcement.

III.2-7 Etude de chaussée neuve.

AUTOROUTE CASABLANCA - RABAT
3ème tranche
SCHEMA RECAPITULATIF : COUPES DES SONDAGES UTILISATION DES SOLS


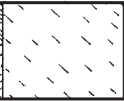
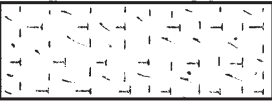


Reconnaissance des sols
identification

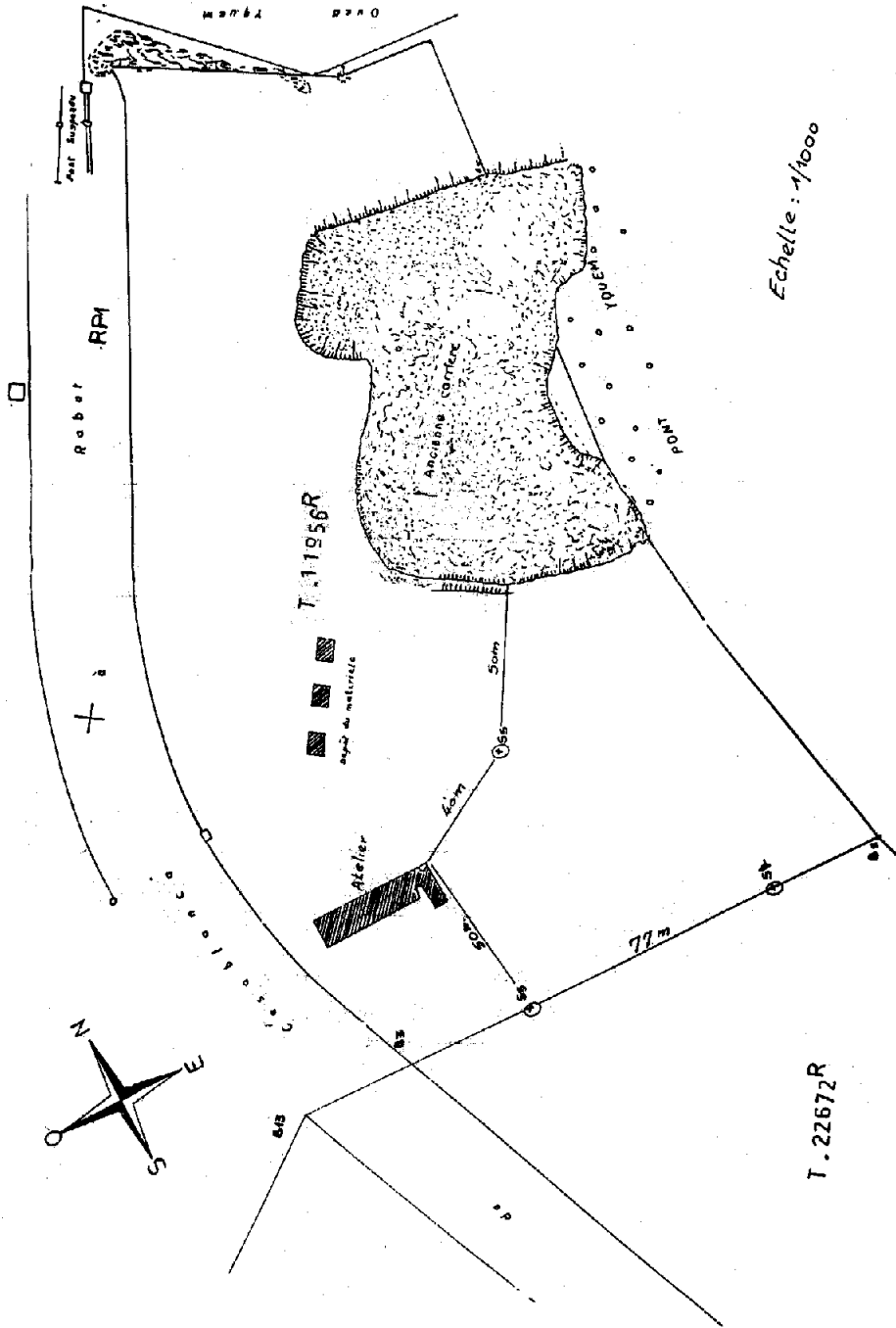
CHANTIER : AUTOROUTE CASA-RABAT

Dossier n° : 84.163.0.048/2
Plate forme (1)

S5 : Profil 238 (à 15 m de l'axe) - P.K. 61 + 500

Puits de sondage	Prof. (m)	Description des formations	Granulométrie				Ip	f x Ip	W _{nat}	Classification		Utilisation	C.F	
			20	□	2	0,4				0,08	L.P.C			R.T.R
	0,45	40 à 50 cm de terre végétale grasse noirâtre	-	-	99	95	44	18	792	-	SA	A2	Sans restriction	non
	1,00	limon rouge	97	74	57	49	24	1176	1176	-	GAUSA	A3	limitée aux remblais de hauteur inférieure à 8 m.	non
	2,10	Tuf argileux												

ETUDE DE GITES A MATERIAUX



Laboratoire Public d'essais et d'études		Entreprise LOTFI											
Date : 14-6-84		Chantier: Carrière Oued Vquem											
Sondage n°: 5		Coordonnées X = Y =											
Profondeur 20		Sondeuse : B 53											
Profondeur (m)	Coupe	Description Lithologique	Observations	Altération				Passes	% Carottage				
				0	1	2	3		4	20	40	60	80
1,60		argile sableuse rougeâtre a fragments et graviers roulés essentiellement quartzitiques	Terrain de couverture										
4,10		calcaire cristallin gris-noir légèrement altéré avec passées argilo-sableuse de 2,10 à 2,30 et de 2,40 à 2,60	Altération localisée surtout dans les fissures					2,10					
7,10		calcaire cristallin altéré avec joints de dissolution et nombreuses. venules de calcite	Traces de karstifications de 4,10 à 4,40 et de 9,40 à 11,10					4,30					
11,30		calcaire intensement altéré avec passages argilo-sableuse de 7,10 à 7,20 de 9,10 à 9,40 et de 11,30 à 11,70						7,20					
11,70		Passage complètement altéré et karstifié	Démunition progressif de l'altération					9,40					
12,20								11,30					
13,20		Calcaire cristallin tissuré altéré avec vides de dissolution						13,20					
14,90		Passage légèrement altéré						15,70					
18,40		Calcaire très altéré Arrête du sondage						18,60					
20													

Altération

- 0 : Roche saine
 1 : enduits dans les joints
 2 : auréole d'oxydation le long des joints
 3 : altération dans la masse avec structure reconnaissable
 4 : roche complètement altérée

N° Sondage	Profondeur du prélèvement (m)	Densité (T/ m)	Rc (kg/ cm ²)	Porosité (%)
S ₃	5,30 à 5,60	2,69	424	0,685
	11,40 à 12,50	2,695	487	0,46
	17,80 à 19,00	2,745	605	0,40
S ₄	2,00 à 2,30	2,75	406	0,435
	12,10 à 12,60	2,755	424	0,79
	18,40 à 19,40	2,70	352	0,66
S ₅	4,80 à 5,60	2,665	406	1,61
	7,80 à 8,40	2,696	198,6	0,861
	17,80 à 18,30	2,67	695	1,36
Minimum		2,665	198,6	
maximum		2,775	695,0	
moyenne		2,707	444	
Ecart type		0,034	143	

Repère	Profondeur	L.A	M.D.E.
Ancien front de taille	1,40/9,00	25,4	17,8
	20/23	22,6	15,6
Nouveau front de taille	0,4/3,00	22	23

SCHEMA ITINERAIRE POUR ETUDE DE CHAUSSEE NEUVE

REPERAGE	Distances (m)		2000	2500	3000	
	Géométrie	Profil en travers (profondeur maxi. en m.)		D	D (1.10) R (1.90)	E T.N.
Sondage	Repérage		H ₃ S ₁₂			
	Coupes de terrain					
	Limites d'Atterberg		WL			
			IP			
	Granulométrie		mm	20		
			2			
			0,4			
			0,08			
Classification USCS LPC						
Vitesse du son (km/sec)						
RC. en bars		58 et 150				
Essais in-situ	Teneur en eau	w(%)				
	Densité sèche	d(T/m ³)	2,07 à 2,18			
Terrassement	Exécution des Déblais	tir d'ébranchement et ripper sol mou dalle cal				
	Exécution des remblais	croûte, calcaire ecrelée et marno-calcaire de déblai ou d'emprunt				
Corps de chaussée	Sol		S ₃ ou S ₄			
	Trafic		T ₂			
	Zone climatique		non aride			
	Structure de chaussée		S ₃ , 30 GNA. RS			
Accotement			Tuf calcaire			