

**ROYAUME DU MAROC
MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS
DIRECTION DES ROUTES ET
DE LA CIRCULATION ROUTIERE**

**DIRECTIVE POUR LE CONTROLE QUALITATIF
DES TRAVAUX DE TERRASSEMENTS**

Edition 1996

SOMMAIRE

INTRODUCTION	3
CHAPITRE I CONTROLE <<AVANT >>	4
1/ RAPPEL DU CONTENU DU CPC.....	4
1.1- Essais préliminaires sur la nature des matériaux.....	4
1.2 - Acceptation des moyens et matériels	5
2/ APPLICATION DU CPC AU CONTROLE AVANT.....	6
2.1- Cas général (définition des méthodes et moyens).....	6
2.2 - Cas des sols rocheux compacts.....	6
2.3 - Cas du compactage a sec.....	7
2.4 - Cas du matériau derrière maçonnerie.....	7
2.5 - Définition des moyens et types de centrales ultérieurs	7
2.6- Conclusion	8
3/ DONNEES GEOTECHNIQUES.....	8
3.1- Etat des données géotechniques d la natif ration des travaux.....	8
3.2 - Rappel des données géotechniques nécessaires à l'établissement d'un projet de terrassement et de son contrôle	9
4 - TACHES SPECIFIQUES DU CONTROLE AVANT.....	12
4.1 Taches prévues dards le C'PC.....	12
4.2 Taches prévues dans le CPS.....	26
4.3 - Taches éventuelles à la demande de l'ingénieur dans le cadre de l'agrément des moyens et de la définition des méthodes de contrôle.....	32
CHAPITRE II CONTROLE « PENDANT »	34
1- LES ESSAIS DE RECETTE	34
1.1 - Champ d 'application des essais de recette.....	34
1.2 - Les critères de contrôle de recette	35
1.3- Fréquence des contrôles	36
1.4 - Jugement de conformité.....	38
1.5 - Présentation des résultats du contrôle.....	38
2 - LES CONTROLES DE QUALITE.....	39
2.1- Contrôle de qualité par compacité en référence à un essai proctor	39
2.2 - Contrôles de qualité de la mise en œuvre	44
CHAPITRE III CONTROLE « APRES »	50
ANNEXE 1 COMPARAISON DES CLASSIFICATIONS LPC ET RTR	51
ANNEXE 2 QUELQUES PRINCIPES POUR LA REUTILISATION DES SOLS.....	52
ANNEXE 3 PROBLEME DE CONTROLE EN FONCTION DE LA NATURE DES SOLS.....	55
ANNEXE 4 COMPACTAGE A SEC	57

INTRODUCTION

Suivant la Directive sur l'organisation du contrôle et le suivi des chantiers de travaux routiers publiée par la Direction des Routes et de la Circulation Routière (no 70/IT/411/01 BIS/84), le contrôle des travaux, de type continu, comporte trois (3) phases:

- Le contrôle avant;
- Le contrôle pendant,
- Le contrôle après.

L'application de cette directive aux travaux de terrassement selon le CPC - fascicule no 3, fait l'objet de ce document

CHAPITRE I

CONTROLE <<AVANT >>

La Directive sur l'organisation du contrôle et le suivi des chantiers de travaux routiers indique que le contrôle << avant >> comporte:

- des essais préliminaire sur les matériaux et produits que l'entrepreneur propose d'utiliser,
- l'acceptation des moyens notamment du matériel que l'entrepreneur compte utiliser pour réaliser les travaux.

1/ RAPPEL DU CONTENU DU CPC

1.1- Essais préliminaires sur la nature des matériaux

1.1.1- Le CPC (fascicule n° 3) rappelle que ceux-ci sont bien inclus dans le prix de déblai et de remblai (article 22.4).

1.1.2 - Les seuls essais préliminaires prévus en tant que tels dans le CPC sont:

- a) pour les matériaux d'emprunt, un agrément de matériaux (article 10.1) si l'ingénieur subdivisionnaire le juge nécessaire.
- b) des études pour définir le traitement de sols fins d'IP > 50 ou rocheux évolutifs (article 2 2-c pour remblais) et de certains sols meubles (article 4.b pour couche de forme).

1.1.3 - Par ailleurs, il est prescrit (article 9.1.1) que tous les matériaux extraits des déblais doivent être réutilisés en remblai pour autant qu'ils respectent certaines conditions précisées dans:

- l'article 2 pour les remblais -l'article 4 pour la couche de forme -l'article 5 pour la couverture de protection - l'article 14.8.1 pour les remblais derrière maçonnerie - L'article 12.6.1 et 14.6.1 pour les déblais et les remblais rocheux.

Il n'est donc pas strictement nécessaire d'effectuer des essais préliminaires sur les matériaux de déblais au sens d'agrément de matériaux.

1.2 - Acceptation des moyens et matériels

1.2.1- Le CPC fascicule ne 1 (article 20) stipule que l'entrepreneur, 15 jours après la notification de l'ordre de service notifiant l'approbation du marché, doit obligatoirement présenter un programme détaillé de conduite des travaux qui précise les méthodes, les rendements et les moyens en personnel et matériel prévus en tenant compte des risques météorologiques.

1.2.2 - Le fascicule n°3(article 9 3) précise qu'un plan de mouvement des terres doit être soumis à l'agent de l'administration dans un délai de 30 jours si le CPS le prescrit.

1.2.3 - L'article 14.3 1 du même CPC précise que pour les remblais, huit jours avant l'exécution des travaux et pour chaque nature de matériaux, l'Entrepreneur doit soumettre à l'accord de l'Ingénieur les épaisseurs de couche en fonction de la nature et de l'état des matériaux et des types de matériel

Pour ce faire, il est prévu la réalisation de planche d'essai pour adapter épaisseur et matériel. En cas d'échec une épaisseur de 20 cm sera imposée (planche d'essai de compactage).

1.2.4 - Dans l'article 12.6.1 du même CPC, il est prévu que dans le cas de déblai en rocher compact l'entrepreneur doit établir puis adapter ses plans de tir pour obtenir le plus grand fractionnement possible de la roche (planche d'essai de tir).

1.2.5 - Dans l'article 14.3.5 il est indiqué que dans le cas de compactage à sec, la nature des matériaux ainsi que le type de matériel de compactage seront précisés à CPS.

1.2.6 - Dans l'article 14.6.2, une planche d'essai de compactage est prévue pour les remblais rocheux afin de définir le mode de compactage et le contrôle ultérieur

1.2.7 - Dans l'article 14 8.2, le CPC précise que le matériel à utiliser pour le compactage des remblais derrière maçonnerie, doit être agréé par l'ingénieur.

1.2.8 - Dans l'article 2, il est indiqué que l'ingénieur peut demander pour certains sols, des mesures spécifiques pour rendre leur état compatible avec les modalités de mise en œuvre et des contraintes météorologiques (ce qui peut s'appliquer aux sols évolutifs, aux sols grossiers à écrieter etc...).

2/ APPLICATION DU CPC AU CONTROLE AVANT

2.1- Cas général (définition des méthodes et moyens)

Pour pouvoir proposer pour tous les sols rencontrés en déblais, et donc à réutiliser, des moyens efficaces de mise en œuvre, il faut donc a priori une connaissance géotechnique suffisante de tous ces sols. C'est le point capital dans l'optique du contrôle << avant >> en terrassements. L'agrément du matériau d'emprunt se ramène alors à une classification des sols dans le but de déterminer les conditions de leur réutilisation.

Il est évident que les moyens à mettre en œuvre, commencent dès l'extraction en déblai (par exemple: cas des sols hétérogènes, cas des matériaux évolutifs, etc ...), en passant par les actions pour adapter l'état d'humidité (scarification, humidification, etc...), en fonction des données climatiques, pour aboutir enfin aux épaisseurs de réglage et aux moyens de compactage (intensité et type de matériel).

Cet ensemble d'éléments être fourni qu'à la suite d'une étude géotechnique la plus complète possible réalisée au niveau du projet. Lors des études routières (voir le guide pour les études de géotechnique routière de la DRCR/DT), c'est à travers les études d'avant projet et les études d'exécution que l'on aboutit à un tel niveau de connaissance, se concrétisant généralement par un tableau de correspondance. Cependant, certaines études ultérieures peuvent s'avérer nécessaires, soit en fonction du niveau réel de l'étude de projet, soit en fonction de la complexité des problèmes rencontrés. La réalisation de planche d'essai n'est plus alors qu'une adaptation à un problème particulier.

2.2 - Cas des sols rocheux compacts

Dans le cas des sols rocheux compacts, le niveau d'étude généralement atteint ne permet pas d'avoir une connaissance suffisante des conditions d'extraction du matériau et des problèmes de sa réutilisation, c'est pourquoi il est prévu une planche d'essai de tir et une planche d'essai de compactage devant définir jusqu'au moyens de contrôle à utiliser en cours de chantier

2.2 bis - Cas des emprunts

Les emprunts font rarement l'objet d'une évaluation de leur qualité lors de l'établissement du projet. Il appartient à l'entrepreneur de rechercher les gîtes d'emprunt et les faire agréer par l'administration en justifiant de leur qualité au regard des dispositions de l'article 2 du fascicule 3 du CPC.

2.3 - Cas du compactage a sec

L'étude de projet doit permettre d'inscrire au CPS les types de sols susceptibles de subir avec succès une mise en place par compactage a sec avec des moyens eux mêmes spécifiques..

Dans le cas ou l'étude n'a pas localise précisément ces sols il conviendra donc d'effectuer une reconnaissance sur le trace ou éventuellement hors trace (emprunt).

2.4 - Cas du matériau derrière maçonnerie

Sous réserve du respect de l'article 14.8.1, tout matériau de remblai peut être utilise derrière maçonnerie. C'est au niveau du plan de mouvement des terres que pourraient être définitivement choisis les sols réserves a cet usage donc le matériel nécessaire a leur mise en oeuvre. Ici aussi, tout découle du niveau de connaissance des données géotechniques au moment de l'élaboration des propositions de l'entrepreneur.

Dans le cas ou le plan de mouvement des terres n'a pas été rendu obligatoire par le CPS, le problème peut rester temporairement non règle jusqu'au moment de l'exécution de ces parties d'ouvrage.

2.5 - Définition des moyens et types de centrales ultérieurs

Le CPC définit pour le contrôle ultérieur des remblais rocheux une méthodologie (voir 14 6 2) et, pour le compactage a sec, indique que ces modalités seront décrites au CPS.

Pour le reste il n'est pas fait allusion avec contrôles ultérieurs si ce n'est par référence a des compacités minimales exigées par rapport a l'essai proctor Modifie.

Malheureusement tous les sols ne sont pas susceptibles d'être contrôles par mesure de densité et, pour certains, aucune référence Proctor ne peut valablement être déterminée Il convient donc dans le cadre des contrôles avant et donc de la mise en place des moyens d'exécution des terrassements de définir entre l'administration et l'entrepreneur avec l'aide du laboratoire les moyens de contrôle les plus appropriés aux divers cas que l'on Pourra rencontrer durant l'exécution des travaux.

Il s'agit ici aussi d'une exploitation des données géotechniques issues de l'étude de projet tout en prenant en compte les modalités d'extraction et de mise en place prévues par l'entreprise

2.6- Conclusion

Dans tous les cas pour établir une proposition des moyens, l'entrepreneur doit s'appuyer sur des données géotechniques concernant les sols à terrasser, même si des études spécifiques (essai de tir, planche d'essai), peuvent s'avérer nécessaire sur certains matériaux identifiés comme nécessitant de telles investigations lors des études géotechniques.

L'agrément de ces propositions de modalités d'exécution des travaux ne peut être valablement prononcé par l'ingénieur qu'au vu de ces mêmes données géotechniques. En conclusion de son agrément, ce dernier se doit de définir en accord avec le laboratoire et l'entreprise, les moyens de contrôle à utiliser pendant la réalisation des travaux pour s'assurer de leur qualité dans le cadre défini par le CPC

3/ DONNEES GEOTECHNIQUES

3.1- Etat des données géotechniques d la natif ration des travaux

3.1.1- D'après le CPC - fascicule n° 3 (article 9.2 et 9.3) on est en présence de 3 cas de chantier définis ainsi.

Cas	Chantier	Tableau de correspondance établi par l'administration	Plan de mouvement des terres établi par l'entrepreneur
1	Important	Inscrit au CPS	Obligatoire et tient compte du tableau de correspondance du CPS
2	autres	Non inscrit au CPS	Prescrit par le CPS, il doit obligatoirement être établi
3			Non prescrit par le CPS, il n'est pas obligatoire

3.1.2 - D'après le guide pour les études de géotechnique routière (volume II) au niveau de l'étude d'exécution, la tâche n° I concernant la définition du mouvement des terres a pour but d'élaborer un tableau de correspondance des déblais et remblais. Pour cela et en complément aux données déjà recueillies en phase d'étude d'avant projet, ce dossier géotechnique doit décrire et délimiter tous les types de sols rencontrés en évaluant les techniques possibles d'extraction et de réutilisation des sols meubles et des sols rocheux

3.1.3 - En conséquence on peut décrire ainsi l'état des données géotechniques au moment de la notification des travaux

CAS n° 1 - Chantier important:

Le tableau de correspondance inscrit au CPS permet l'établissement du plan de mouvement des terres. Cependant, l'entrepreneur doit apprécier les données du dossier d'études pour éventuellement compléter certaines informations de mise en œuvre.

CAS n° 2 - Autres chantiers:

Le tableau de correspondance n'est pas inscrit au CPS, mais l'entrepreneur doit fournir un plan de mouvement des terres. Il lui faut donc consulter le dossier d'études, faire éventuellement compléter par un laboratoire les données géotechniques et exploiter les données pour dresser un tableau de correspondance. Il doit normalement fournir ce dossier géotechnique en appui de ses propositions de moyens lors de la demande d'agrément.

CAS n° 3 - autres chantiers:

Le tableau de correspondance n'est pas inscrit au CPS, L'Entrepreneur n'est pas tenu de fournir un plan de mouvement des terres, mais doit cependant au terme de l'article 14 2.1 faire agréer ses méthodes de mise en œuvre en remblai. La encore, c'est à lui de juger si le contenu de l'étude géotechniques d'exécution lui paraît suffisante, sinon il doit effectuer les reconnaissances complémentaires et transmettre éventuellement à l'administration les données géotechniques sur la base desquelles il établit ses propositions. Dans ce cas n° 3 il est laissé plus de souplesse dans ce sens que les propositions de méthodes peuvent s'effectuer à l'avancement en fonction des sols et matériaux rencontrés

3.2 - Rappel des données géotechniques nécessaires à l'établissement d'un projet de terrassement et de son contrôle

Le dossier d'étude géotechnique doit permettre d'identifier et de classer tous les sols rencontrés lors des sondages exécutés dans les zones à déblayer, dans les assises de remblai et dans les Dites d'emprunt.

Ainsi une coupe de chaque sondage et un schéma lithologique de chaque déblai avec d'éventuels profils en travers pour les déblais importants et hétérogènes doivent mettre en évidence les différents types de sols rencontrés, avec description de chaque nature de sols la plus complète possible en délimitant les différentes couches

On peut regrouper les sols en 3 catégories sols meubles, sols rocheux évolutifs et sols rocheux.

3.2.1- Sols meubles

a/ Sur chaque sondage doit figurer l'endroit exact du prélèvement représentatif de la couche considérées et donc du sol identifié.

On doit décrire les conditions de prélèvement notamment dans le cas des sols grossiers ou l'on peut procéder sur place à un écrépage des gros éléments dont il faut estimer le pourcentage.

On doit aussi donner des indications sur l'état d'humidité du matériau et mieux prélever un échantillon pour mesure de la teneur en eau en place. Quand les couches varient rapidement (épaisseur faible), il faut particulièrement veiller à l'échantillonnage pour connaître exactement sa représentativité.

b/ On procède alors en laboratoire à l'identification des sols (granulométrie, propreté, limites d'Atterberg, équivalent de sable et/ou valeur au bleu). À partir de ces éléments, on procède au classement du sol selon la classification LPC., afin de juger de sa conformité avec les articles 2,4 et 5 du CPC pour son réemploi

On peut aussi utilement comparer ce classement à celui utilisé dans la RTR du SETRA - LCPC (voir annexe n° 1).

c/ À partir de ces données on doit juger de la nécessité de compactage dans le cas d'assise de remblai et des conditions de réemploi en remblai et couche de forme de ces sols sans oublier que les conditions de déblaiement peuvent amener, surtout dans le cas des zones hétérogènes, à des mélanges produisant des matériaux différents de ceux qui ont été identifiés en laboratoire

En s'appuyant sur la RTR, déjà citée, et les principes édictés en annexe 2, on doit prévoir pour chaque famille de sol identifiée:

- les problèmes d'extraction au vu de l'état d'humidité et des conditions météorologiques;
 - les problèmes de sensibilité à l'eau (variation d'état plus ou moins rapide, matelassage possible, glissance, érodabilité à la pluie),
 - les possibilités d'amélioration de la teneur en eau in-situ (arrosages aération).
 - les matériels de compactage les plus adéquats pour les épaisseurs les plus recommandables et notant que même en 20 cm d'épaisseur tout sol même admissible en remblai n'est pas toujours compactable suivant les engins utilisés et son état;
 - les problèmes de contrôle de la mise en œuvre (voir annexe 3) en soulignant les problèmes des références Proctor dans les sols grossiers et dans les sols très hétérogènes, de même l'utilisation des essais de plaque sur sol sensible à l'eau, graveleux, etc....
- les possibilités en œuvre et de compactage à sec dans les zones arides (voir annexe no 4)

3.2.2 - Sols rocheux évolutifs

a/ La méthode de reconnaissance utilisée doit être précisée (puits manuels, à la pioche, au marteau piqueur, éventuels sondages mécaniques), selon cette méthode, on aura une description de la coupe de sol ou d'un échantillon. Le prélèvement peut avoir en conséquence une représentativité très différente (blocs, produits de carottage).

Dans le cas des puits on essaiera de donner les indications les plus complètes possibles sur un éventuel listage, les hétérogénéités en cimentation...

b/ En laboratoire, les identifications des échantillons pourront être effectuées à partir d'essai granulométrique et de limites d'Atterberg complétées si possible, par des duretés ou même des résistances à la compression (pour le cas des sols les plus massifs). Des essais de fragmentabilité (au Proctor) et d'altérabilité (cycle humidification - séchage) pourront être utilisés.

A partir de ces éléments, on doit estimer le type de matériau le plus probable qui sera fourni suivant le type d'extraction en essayant de dégager les sols évolutifs à l'extraction et à la mise en œuvre seulement et ceux dont l'évolution peut se poursuivre au-delà dans le corps des remblais. Le caractère argileux des produits est lui aussi déterminant, des essais d'altérabilité peuvent permettre le choix des matériaux réutilisables.

c/ Ce produit pourra être alors classé selon la classification des sols meubles, ce qui permettra de prévoir le mode de réutilisation possible qui se compose généralement:

- d'une première étape d'extraction,
- d'une deuxième étape de réglage et de fractionnement in-situ par des engins de compactage,
- d'une troisième étape de compactage proprement dit sur le matériau obtenu à la fin de la deuxième étape.

Ces trois (3) étapes peuvent faire l'objet d'une planche expérimentale surtout pour des chantiers importants, planche qu'il faudra proposer.

d/ Les problèmes relatifs au contrôle sont liés au stade d'évolution du matériau atteint en fin de 2^{ème} étape et en se rapportant au contrôle défini pour les sols meubles (annexe 3).

Un contrôle intermédiaire peut donc s'avérer nécessaire, portant sur l'évolution réellement atteinte en fin de 2^{ème} étape.

3.2.3- Sols rocheux:

a/ La méthode de reconnaissance (sondage mécanique destructif ou carotte ou simple observation sur talus existants (cas extrême)), doit être précisée avec toutes les indications relatives aux pendages et fracturations (voir système de classification exposée dans le guide pour les études de géotechniques routières).

b./ A partir des données ci-dessus éventuellement complétées par des vitesses sismiques, on tente d'élaborer une méthode d'extraction (ripage ou explosifs) et d'évaluer les matériaux produits.

c/ Les matériaux produits doivent être classés selon la classification des sols meubles rappelés en annexe 1

d/ Des planches expérimentales d'extraction et de tir ainsi que de mise en œuvre seront généralement nécessaires et devront être proposées.

e/ Le contrôle s'effectuera suivant la méthode prescrite (voir annexe 3).

4 - TACHES SPECIFIQUES DU CONTROLE AVANT

Compte tenu des spécifications du CPC et des données géotechniques nécessaires et existantes, les taches a effectuer dans le cadre du contrôle avant et qui nécessitent une participation du Laboratoire, peuvent être regroupes en trois catégories:

- les taches prévues au CPC,
- les taches prescrites dans le CPS,
- les taches éventuelles a la demande de l'ingénieur de l'administration responsable.

4.1 Taches prévues dards le C'PC

Quatre taches sont prévues dans le CPC qui doivent être exécutées a la diligence de l'entrepreneur par le laboratoire ou avec sa participation, il s'agit:

4.1.1- Agreement des matériaux d'emprunt pour remblai ou couche de forme

A la demande de l'entrepreneur, le laboratoire procède:

- aux prélèvements sur le geste des matériaux d'emprunt,
- aux essais de laboratoire a fins d'identification,
- aux recommandations concernant l'usage des (ou du) matériaux en remblai ou en couche de forme

Il élabore un document présentant les différentes informations recueillies et les conclusions proposées et l'adresse a l'entrepreneur.

Dans la pratique, deux (2) cas sont généralement rencontrés:

CAS 1 - L'entrepreneur désigne au laboratoire un gîte pour lequel il demande une reconnaissance et un agrément des mater,

CAS 2 - L'entrepreneur a déjà procède a l'extraction des matériaux et a commence a constituer un stock sur lequel le laboratoire est appelé a effectuer l'agrément.

a/ Prélèvements

CAS 1:

Le laboratoire effectue cinq sondages sur le gîte désigne par l'entrepreneur de façon a recouvrir approximativement la zone a exploiter, estimée a partir d'une puissance prévisible de matériaux convenables.

Il est procédé à l'établissement des coupes de sols rencontrés dans les sondages avec prélèvement par couche dans chacun des sondages des sols de caractéristiques visuellement homogènes, en délimitant avec le plus de précaution possible, la zone de découverte (matériaux de surface à éliminer: partie végétale essentiellement).

On peut ainsi être amené à procéder à un nombre supérieur à cinq de prélèvements suivant les couches rencontrées. La masse de chaque prélèvement est liée à la dimension maximale comme exprime ci-dessous (échantillon global).

CAS 2 :

Le laboratoire effectue cinq prélèvements sur le stock préparé selon la méthodologie habituelle de prélèvement sur stock.

On constituera de façon virtuelle cinq (5) lots. Sur chacun sera effectuée dix prélèvements élémentaires représentant l'ensemble du lot virtuel, pour constituer un échantillon global dont la masse est fonction de la dimension maximale des granulats:

Dimension maximal des granulats	Masse minimale de l'échantillon global
5 mm	10Kg
5 à 10 mm	20 Kg
10 à 20 mm	40 Kg
20 à 40 mm	80 Kg
40 à 60	120 Kg

L'échantillon d'essai est obtenu par quartage à partir de chaque échantillon global. On a donc 5 échantillons globaux.

b./ Essais de laboratoire

Pour les cinq échantillons 2 ou les x échantillons du cas 1 ($x \geq 5$), on procède aux essais:

- de granulométrie par voie humide,
- de détermination des limites d'Atterberg,
- de mesure d'équivalent de sable selon le cas et à la classification des échantillons selon la classification L P C

On pourra procéder, à titre d'information, à leur classement selon la classification R T R

c/ Recommandation pour l'utilisation de ces sols

Selon le classement obtenu pour chaque échantillon, on définira un ou plusieurs types de matériaux présentant des caractéristiques proches (classe LPC en utilisant éventuellement de sous classes à l'aide de la classification RTR).

Selon les articles 2, 4, 5 et 14 8 1 on pourra alors agréer chaque catégorie de matériaux pour un ou plusieurs domaines d'utilisation

- en remblai sans restriction ou avec précautions,
- en couche de forme,
- derrière maçonnerie .

En définissant les conditions éventuelles lices a cet usage:

- écrêtage à 200 mm pour couche supérieure de remblai,
- écrêtage à 100 mm derrière maçonnerie ou en couche de forme,
- protection des sols types Sm, SmSL et SmSA,
- vérification des règles de filtre en couche de forme, suivant la nature du remblai.

d/ Rapport agrément

Le rapport agrément rédige par le laboratoire doit préciser:

CAS 1:

~ Pour chaque catégorie de matériaux:

- la zone et la couche intéressées,
- sa classification LPC avec fuseau de dispersion granulométrique,
- le (ou les) domaine (s) d'utilisation agréée avec leurs conditions éventuelles.

~ Les conseils éventuels d'exploitation surtout en cas d'hétérogénéité importante (plusieurs catégories de sols Ires distinctes).

CAS 2:

Si le stock est homogène seule catégorie de materions):

- sa classification L.P.C avec fuseau de dispersion granulométrique et variation de l'I.P;
- le ou les domaines d'utilisation agréée avec leurs conditions éventuelles.

Si le stock n'est pas homogène (plusieurs catégories de matériaux):

- leurs classifications L.P.C avec fuseau de dispersion granulométrique et variation de l'I.P,
- leurs fonctions d'utilisation agréées, ou des recommandations d'homogénéisation avec agréments du produit prévisible ou effectivement réalise aptes essais complémentaires

4.1.2 - Planche d'essai de tir en déblai en rocher compact.

a/ Rappel des spécifications:

En vertu de l'article 12.6.1 l'entrepreneur se voit contraint en cas de recours à l'explosif d'étudier ses plans de tir de façon à obtenir:

<< le plus grand fractionnement possible de la roche >>.

Il est bon de rappeler que d'autre part (article 4 et article 14.6.1), il est préconisé:

- en couche de forme en sols rocheux un matériau bien gradue;
- un matériau aussi homogène et aussi plein que possible en remblai;
- une épaisseur maximale de 0,80m donc un Dmax de 500mm dans le corps de remblai (règle des 2/3 article 2);
- un Dmax de 200 mm pour la couche supérieure du remblai;
- un Dmax de 100 mm en couche de forme,
- des couches homogènes en remblai utilisant des produits rocheux.

Le but de l'extraction étant de fournir des matériaux que l'on peut réutiliser selon les critères rappelés ci-dessus, le produit de sautage doit donc être jugé sur ces critères:

Critère de dimensions maximales

Ce critère est bien défini par le CPC.

Critère d'homogénéité et de continuité de la courbe granulométrique.

<< Aussi homogène et aussi plein que possible >>.

* L'homogénéité ne peut être appréciée que visuellement et subjectivement. Il n'est pas pensable d'effectuer plusieurs blocométries pour juger de l'homogénéité

* La continuité courbe et son allure peut donner une idée sur la présence de vides probables

Critère de graduation

Pour les couches de forme, le matériau bien gradue peut être estimé à partir de la courbe granulométrique:

$Cu = D_{60} / D_{10} > 4$ (coefficient de Hazen)

et $Cc = D_{30}^2 / D_{60} * D_{10}$ (coefficient de courbure) compris entre 1 et 3

Comme pour les graves bien graduées de la classification LPC.

REMARQUE

Compte tenu de la limitation a un Dmax de 100 mm et a ce critère de graduation, il semble très difficile, a partir du sautage d'une roche compacte, de fournir un matériau pour couche de forme, sauf a procéder a un concassage primaire.

b/ Activité du laboratoire:

A la demande de l'entrepreneur l'intervention du laboratoire peut se dérouler a deux niveaux:

Premier niveau

Le laboratoire participe a la définition du (ou des) plan de tir en vue d'obtenir un produit de caractéristiques finales les plus aptes a son réemploi en remblai ou en couche de forme. Ce produit sera caractérisé par sa granulométrie (blocométrie)

Deuxième niveau

Le laboratoire analyse le produit de sautage du tir expérimental réalisé par l'entrepreneur a l'aide d'une blocométrie

c/ Définition du tir (premier niveau)

La définition du mode de tir se fait en précisant:

- Les conditions de foration (diamètre du forage, technique de forage, maillage de foration, profondeur),
- Les caractéristiques de l'explosif (type d'explosif (s), quantité d'explosif (s), répartition dans le trou, mode de bourrage),
- Les caractéristiques de mise a feu (retards ...),
- Les conditions de sécurité.

d/ Blocométrie (premier et deuxième)

Un échantillon de 15 a 20 tonnes selon le Dmax est pesé à l'aide d'un pont bascule.

Les plus gros blocs sont triés visuellement et pesés au pont bascule ou a la bascule de 500 kg

Les blocs restants supérieurs a 63 mm sont triés et a l'aide de passoirs de 80, 200, 250, 315 et 400 mm de diamètre sont gradés et pesés

Le matériau inférieur a 63 mm est alors analysé selon la méthode classique de granulométrie

La courbe blocométrique est reconstituée a partir des trois ensembles (> 400 mm, compris entre 63 et 400 mm et inférieurs a 63 mm).

e/ Exploitation des mesures, rapport d'essai

* dans le cas du premier niveau, le rapport d'essai doit préciser tous les éléments du mode de tir permettant de vérifier ultérieurement son respect par l'entrepreneur en regard de l'homogénéité du massif rocheux déblayé.

x a partir de la courbe blocométrique et en fonction des critères rappelés en a), les conditions d'emploi:

- en remblai (corps du remblai, couche supérieure), - en couche de forme sont précisées (écrêtage, éventuel concassage).

* des indications sur les conditions et moyens de réutilisation, peuvent être fournies en utilisant la recommandation pour les terrassements routiers sans caractère contractuel.

4.1.3 - Planche d'essai de mise en œuvre en remblai de produits rocheux (ou matériaux grossiers a très grossiers).

a/ Rappel des spécifications:

L'article 14.6 indique qu'il faut:

- organiser le déchargement et le régalage;
- choisir des épaisseurs de couches en fonction de la dimension du matériau (règle des 2/3 - article 2) et des moyens de compactage,
- enfin, effectuer une planche d'essai pour définir le paramètre Q/S qui servira au contrôle ultérieur.

Critère d'homogénéité

L'homogénéité du matériau dans la couche peut s'apprécier visuellement en effectuant des tranchées dans le matériau régale ou après compactage.

Critère du choix du paramètre Q/S

Le CPC propose d'obtenir a l'essai de plaque un module $E_{v1} > 500$ bars et un rapport $E.V.' / E_{v2} \sim 1,5$ et ceci selon le mode opératoire du LPEE

Ce dernier limitant l'emploi de l'essai de plaque aux matériaux de $D_{max} - 250$ mm, il faut prévoir un autre critère pour les matériaux plus grossiers, on peut adopter l'essai de mesures de tassement par nivellement, en adoptant la loi $(L - L) / L < 10\%$ (L tassement à n passes - L tassement à n+1 passes).

Enfin depuis l'apparition de la dynaplaque celle-ci est substituée aux essais de plaque longs et nécessitant une réaction relativement importante. Les critères généralement considérés comme équivalents, sont alors un coefficient de restitution $R > 45\%$. Cet appareillage permet d'ailleurs de multiplier les mesures et même de suivre l'évolution au cours du compactage de la planche.

REMARQUE

A noter que les références habituelles sur l'essai de plaque, portent sur la valeur du module EV2 et non Ev1 comme indique.

A titre d'exemple, on peut adopter:

EV2 > 500 BARS et E.V.' / EV2 < 2 pour matériau type C de la RTR, soit GL-GA Dmax > 50 avec plus de 5% de fines

EV2 > 1000 bars et Eve / EV2 < 2,5 pour les matériaux D3 et D4, soit Dmax > 50 et < 250 mm avec moins de 5% de fines

Ces valeurs semblent plus réalistes, car elles prennent en compte la présence des fines et le diamètre des gros éléments.

b/ Méthodologie de la planche d'essai:

L'entrepreneur connaissant les matériaux à mettre en œuvre (produit dans la planche de tir produit du ripage des rochers non compacts ou matériau de déblais meubles très grossiers) définit l'atelier dont il peut disposer en:

- moyens de régalinge;
- moyens de compactage.

Ceci à partir des indications contenues dans les conclusions de l'étude du laboratoire concernant les recommandations sur les moyens à mettre en œuvre (généralement issus de la recommandation des terrassements routiers du SETRA).

Une fois choisi le site, la planche expérimentale est définie par:

- le mode de déversement et de reprise des tas, compte tenu de l'engin de régalinge,
- l'atelier de compactage et le nombre de passes prévues

En présence de l'administration, la planche est alors réalisée par l'entrepreneur et le laboratoire vérifie et contrôle toutes les modalités de réalisation effectivement pratiquées durant l'exécution de la planche. Puis, il procède aux mesures prévues (essais de plaque, essai à la dynaplaque ou mesures de tassement).

C'est à partir de ces résultats que sera évaluée la méthode de régalinge et compactage proposée, puis définis les paramètres Q et S à respecter par l'entrepreneur pour l'exécution des travaux.

c/ Choix du site et de la géométrie de la planche

Le site choisi sera généralement le remblai le plus proche du déblai fournissant le matériau pourvu qu'il soit assez important en hauteur, au moins trois à quatre couches de matériau prévues

La planche aura des dimensions minimales de 20m de long, 7m de large. L'épaisseur correspondra à une ou deux couches pour permettre un contrôle à la plaque (épaisseur intéressée environ 1m).

d/ Choix des ateliers de mise en œuvre et de compactage:

Afin d'aider au choix des engins de réglage et de compactage, on peut s'appuyer sur le tableau suivant, élaboré à partir de la R.T.R.

Moyens de compactage disponible		P2	P3	V2	V3	V
		4 à 6 T par roue	4T par roue	25 à 35 Kg/cm	35 à 45 Kg/cm	45 Kg/cm
Mise en œuvre possible	D max mm	250	300 à 400	250 à 300	450	500 à 600
	épais cm	40	45 à 60	40 à 45	65	70 à 80
Engin de réglage recommandé		D4 - D5	D6	D4 - D5	D6	D7

P2 - P3 : rouleau à pneus définis par la charge par roue
c,~ De As,, . . .

V2-V3-V4: rouleau vibrant définis principalement par la charge par cm de génératrice.

Répandeur type D: D4 (65 CV) - D5 (80 CV) - D6 (125 CV) - D7 (195 CV).

Les caractéristiques essentielles de chaque engin doivent être précisées et notées avant le début des essais:

- compacteur à pneu: nombre de pneus, charge totale, pression de gonflage
- compacteur vibrant: charge statique totale à fréquence de vibration, longueur de génératrice, type (maniable ou double bille).
- engin de réglage: puissance.

Le plan de balayage de l'atelier de compactage doit être organisé de façon à réaliser le nombre de passes prévu en chaque point (passe = mouvement aller et retour).

e/ Réalisation de la planche d'essai:

Après déversement des matériaux, ceux-ci sont repris sur leur tiers supérieur et étalé suivant les dimensions de la planche + 5 m aux 2 extrémités pour zone d'évolution des engins pour la première couche.

1. Cas de référence par tassements

Dans le cas où les essais de plaque ne peuvent être réalisés ($D_{max} > 250$ mm - couches épaisses) la mesure des tassements servira de référence

Ainsi vingt (20) points sont matérialisés (par des taches de sable par exemple), sur le massif répandu, on note leur altitude (1.1, 1.2, ... ,1.20).

I Après les n passes prévues de l'atelier, une nouvelle mesure d'altitude des mêmes points est effectuée (I'. 1, 1'.2 . . . ,1'.20).

Une passe supplémentaire est effectuée (soit $n^{\circ} + 1$ passes au total) et de nouveaux relevés sont effectués (1".1, 1".2, ,1".20).

2. Cas des références par essai de plaque ou dynaplaque

Comme il s'agit de matériau de $D_{max} \sim 250$ mm si l'on veut opérer en une seule couche d'environ 1m (zone de validité de la référence plaque), il faudra utiliser un atelier très puissant.

Généralement ces matériaux nécessiteront la réalisation de deux couches avant la détermination des modules à l'essai de plaque ou à la dynaplaque.

Chacune des deux couches est traitée de la même manière à savoir même réglage et même nombre n de passes.

3. Dans chaque cas

Les conditions de réalisation des planches, doivent être notées:

- vitesses des engins, fréquence de vibration utilisée, épaisseur de chaque couche, caractéristiques réelles des engins,
- le plan de balayage réellement utilisé.

f/ Exploitation des mesures

1. Homogénéité du massif

A la fin de la planche d'essai, dans le cas du matériau très grossier $D_{max} > 250$ mm, 1 ou 2 tranchées sont réalisées sur toute l'épaisseur de la (ou des 2) couche pour observer visuellement l'homogénéité apparente du matériau.

Tout défaut (en particulier: vide important, ségrégation) devra être noté pour revoir les moyens de réglage et éventuellement prévoir un autre essai ultérieur après rectification de ces moyens.

Pour les matériaux à éléments moins grossier $D < 250$ mm, 10 prélèvements seront réalisés pour procéder à des analyses granulométries et tracer le fuseau de dispersion du matériau mis en œuvre.

2. Référence par mesures de tassement

Le compactage est considéré comme satisfaisant si: $(L' - L) / L \sim 10 \%$

L et L' étant la moyenne des différences de mesures d'altitude.

(1' . 1 - 1 .1) (1' .2 -1 .2) (1' .20 -1 .20) pour L
 (1" .1- 1 . 1) (1" .2 -1 .2) (1" .20 -1 .20) pour L'

Ceci n'est à utiliser qu'avec des engins de compactage dont la puissance est considérée comme satisfaisante en regard de la dimension du matériau.

3. Référence par essai de plaque ou dynaplaque

Pour la mesure des modules à l'essai de plaque et compte tenu de la lenteur de l'essai, on se contentera d'effectuer dix mesures à la surface de la dernière couche mise en œuvre .

La moyenne de ces mesures devra respecter les critères définis, à savoir:

EN > 500 bars
 Ev1/Ev2 < 1,5.

Pour des essais à la dynaplaque, on peut facilement réaliser 20 mesures et juger de la conformité par le critère: $R_{moy} - 1,3 \sigma, > 45\%$

R moyenne: étant la moyenne de 20 mesures. ~ leur écart type.

Ce critère correspond à exiger 90% des valeurs supérieures au minimum prescrit.

g/ Détermination du Q/S et de e de référence.

RAPPEL

Q : est le volume de sol compacté pendant une journée,

S : la surface balayée par le compacteur pendant la même journée,

e: L'épaisseur de la couche compactée.

Lors de la planche d'essai:

- L'épaisseur (e) essai est déterminée par mesures directes après compactage ou au déversement avec un coefficient de foisonnement;
- la surface balayée (S) essai est égale à la largeur du compacteur multipliée par le produit du nombre d'aller ou de retour, soit le nombre de passage = $2n$ (n = nombre de passes) par la longueur de la planche,
- le volume (Q) essai est égal à l'épaisseur de la couche après compactage multipliée par la surface de la planche balayée.
- pour les sols très graveleux type matériau rocheux, l'énergie de compactage d'après la R.T.R, doit toujours être moyenne ou intense, ce qui entraîne que lors du contrôle ultérieur, les valeurs e mesure et Q/S mesurées devront être jugées par rapport à la référence tirée de la planche d'essai de la manière suivante:

$e \text{ mesure} < e \text{ essai}$ $(Q/S) \text{ mesure} < (Q/S)$

h/ Contenu du rapport de la planche d'essai:

Le rapport de la planche d'essai:

- rappelle sur quel type de matériau a été effectué l'essai et dans le cas des matériaux les moins grossiers, présente le fuseau de dispersion des matériaux rencontrés dans les planches;
 - les engins de réglage utilisés et la technique de réglage;
 - l'atelier de compactage utilisé avec toutes ses caractéristiques de construction et de fonctionnement,
 - L'épaisseur de la couche (e) essai maximale à respecter,
 - le rapport (Q/S) essai maximal à respecter,
 - indique comment ont été obtenues ces valeurs (mesures de tassement, essai de plaque, dynaplaque) pour une éventuelle vérification de divergences en cours d'exécution,
 - fait des recommandations sur les techniques de contrôles du rapport Q/S et de l'épaisseur e adaptées au chantier:
- équipement des engins en contrôlographe,
 - organisation du plan de balayage,
 - contrôle visuel inopiné ou continu,
 - fréquence des contrôles et organisation des décisions en cas de défaillance.

4.1.4 - Planche de compactage en remblais meubles

a/ Rappel des spécifications:

L'article 143 1 indique que, pour chaque nature de matériaux, l'épaisseur maximale des couches doit être proposée par l'entrepreneur pour agrément et qu'une planche d'essais sera réalisée avant le commencement des travaux.

Critère de compacité

Le résultat du compactage sera jugé en référence à la densité sèche maximale Proctor, sachant que l'on devra obtenir (article 14.3 3 du CPC):

- 90 % de l'OPM dans le corps du remblai,
- 92 % de l'OPM sur les 50 cm supérieurs sous couche de forme,
- 95 % de l'OPM sur les 50 cm supérieurs sans couche de forme.

Il s'agit donc de matériaux sur lesquels on peut effectuer des essais proctor:

- ayant moins de 30% d'éléments supérieurs à 20 mm (voir annexe 3)
- à l'exception des sols sableux homométriques propres pour lesquels une densité relative est plus représentative, on adopte généralement:

$$Dr = (e_{max} - e_{place}) / (e_{max} - e_{min}) > 70\%$$

(e indice des vides).

REMARQUE

Compte tenu de l'hétérogénéité qui caractérise très fréquemment les sols de déblai, il semble difficile de procéder pour chaque nature de sols à des planches d'essai, on aura intérêt à utiliser les indications de la RTR pour orienter les moyens de compactage.

Cependant dans le cas de matériaux très homogène (par exemple: utilisation de matériaux d'emprunts) une planche peut toujours être réalisée en début de chantier.

b./ Méthodologie de la planche d'essai:

L'entrepreneur connaissant les matériaux à compacter et l'atelier dont il dispose proposera une méthode de compactage.

Une fois choisi le site, la planche est définie par:

- L'atelier de compactage et le nombre de passes prévu,
- L'épaisseur de la couche

En présence de l'administration, l'entrepreneur réalise alors la planche et le laboratoire vérifie et contrôle toutes les modalités d'exécution de la planche, puis il procède aux mesures de densité et aux prélèvements de sols nécessaires à l'identification et à la détermination de la référence proctor.

C'est à partir de ces données que seront définitivement agréés l'épaisseur de mise en oeuvre et l'atelier de compactage pour les différents cas de chantier prévu (corps de remblai, sous couche de forme ou sans couche de forme pour les couches supérieures).

c/ Choix du site et de la géométrie de la planche

L'importance de la réaction d'appui de la planche étant connue il est recommandé de choisir un site représentant les qualités, moyennes de cette réaction. Cette qualité pourrait être vérifiée rapidement à l'aide de la dynaplaque, en exigeant un coefficient de restitution supérieure à 40 % mais surtout son homogénéité après éventuel compactage du fond de forme devant recevoir la planche d'essai.

La géométrie de la planche est celle qui permet une mise en oeuvre satisfaisante, soit 20m de long sur 4 à 5m de large sachant que les 2x50 cm en bords ne sont pas pris en compte et en prévoyant 5m supplémentaires aux deux extrémités pour la manoeuvre des engins.

d/ Choix de l'atelier de compactage

Pour prédéterminer l'atelier de compactage on pourra s'appuyer, outre les indications de l'annexe 2~ sur les indications de la RTR.

Les caractéristiques essentielles de chaque engin doivent être précisées.

*** Compacteur à pneus:**

- Nombre de pneus, charge par roue, pression de gonflage.

*** Compacteur vibrant:**

- Charge statique totale, fréquence de vibration, longueur de génératrice, type (monobille, double bille, tandem).

*** Compacteur à pieds clameurs:**

- charge statique totale, largeur de génératrice.

Le plan de balayage de l'atelier doit être organisé de façon à réaliser le nombre n de passes prévu en chaque point (passe = mouvement aller et retour)

e/ Réalisation de la planche d'essai

Les conditions de réalisation de la planche doivent être notées

- vitesse des engins, fréquence de vibration,
- épaisseur de la couche,
- caractéristiques réelles des engins,
- plan de balayage utilisé,
- séquence des engins de l'atelier,
- Teneur en eau.

f/ Mesures effectuées

A la fin de la planche, vingt points de densités in-situ sont effectuées avec prélèvement de matériaux, autour des points de mesures. Ces densités intéressent 0,10 à 0,20m de la couche, il convient donc d'adapter les mesures à l'épaisseur réelle des couches pour être représentatif de la compacité moyenne de la couche (pour plus de détails, voir chapitre II - paragraphe 2.1).

Les échantillons prélevés sont analysés (granulométrie, limites d'Atterberg ou équivalent de sable) pour connaître leur nature et juger de leur homogénéité.

- un ou plusieurs essais proctor modifié sont effectués (selon le cas), sur la fraction 0/20 mm,
 - sur les matériaux prélevés lors de la mesure des densités in-situ on détermine: la teneur en eau après séchage à l'étuve,
- ~ le pourcentage d'éléments supérieurs à 20 mm.

On peut alors à l'aide éventuellement de la correction de cailloux déterminer à partir des densités in-situ, les compacités obtenues en chacun des points par rapport à la référence proctor jugée représentative des échantillons prélevés près du point de mesure.

g/ Exploitation des mesures

Les compacités obtenues dans la couche ou aux divers niveaux de la couche (cas des couches épaisses), sont comparées aux compacités requises.

Il faut qu'en tout point les minimum requis soient atteints (article 14.3.4) pour pouvoir agréer la méthode de compactage (épaisseur, atelier, nombre de passes).

h./ Contenu du rapport de planche d'essai

Le rapport de planche d'essai:

- rappelle sur quel type de matériau a été effectué l'essai en précisant par exemple le Biseau granulométrique des échantillons prélevés,
- indique le site et la déformabilité du fond de forme sous la planche;
- l'épaisseur mise en œuvre,
- l'atelier de compactage utilisé avec toutes ses caractéristiques (de construction et de fonctionnement),
- la séquence de travail de l'atelier et le plan de balayage;
- rappelle les résultats de compacité et d'homogénéité obtenus,
- fait toutes les remarques et suggestions relatives aux variations éventuelles pouvant provenir de différence avec les conditions réelles (météorologie, état d'humidité, influence des variations possibles de l'atelier de compactage, influence des variations de la nature des matériaux),
- Il définit pour chaque usage, l'épaisseur de mise en œuvre pour l'atelier de compactage testé dans les conditions de l'essai.

4.2 Taches prévues dans le CPS

Le CPC prescrit par ailleurs que certaines tâches devront être exécutées, si elles sont explicitement prévues dans le CPS du chantier, toujours à la diligence de l'entrepreneur, il s'agit des trois tâches suivantes:

4.2.1- Etudes géotechniques complémentaires

Comme il a été commenté dans le paragraphe 3 précédent, il existe trois cas de chantier:

- dans le cas 1, le tableau de correspondance étant inscrit au CPS, l'entrepreneur n'a plus qu'à vérifier éventuellement certaines données géotechniques pour établir son mouvement des terres;
- dans le cas 2, le tableau n'existe pas au CPS, mais l'entrepreneur devant fournir un mouvement des terres, se voit dans l'obligation de l'élaborer et donc d'exploiter les données géotechniques de l'étude d'exécution existante et (ou) de recueillir des données géotechniques nécessaires à cet effet;
- dans le cas 3, contractuellement rien n'est obligatoire, les données géotechniques peuvent être recueillies à l'avancement.

On voit que dans tous les cas, il est nécessaire de s'appuyer sur des données géotechniques suffisantes (voir 3.2). Dans le cas 2 ces données et leur exploitation doivent accompagner le plan de mouvement des terres que l'entrepreneur doit soumettre à l'approbation de l'administration.

Le laboratoire dans le cadre des études prévues en 3.2 exécutera les sondages les prélèvements et les essais de laboratoire nécessaires Il commentera toutes ces données dans le sens de la réutilisation des sols pour remblai et de la définition de tous les travaux annexes aux terrassements (drainage, purge, protection de talus, etc....).

Il n'est pas possible de préciser davantage le contenu de cette tâche qui est spécifique de chaque chantier

4.2.2 - Etude de traitement des sols rocheux évolutifs

a/ Rappel des prescriptions

L'article 2 2.c indique que les sols issus de roches évolutives peuvent être réutilisés en remblai après traitement.

La nature de ce traitement peut être prévue dans le CPS ou son étude peut être repoussée en début de chantier, si cela est précisé dans le CPS. Les modalités de mise en œuvre doivent faire l'objet d'un agrément (voir article 14.3.1).

Critère des matériaux évolutifs:

Les matériaux rocheux évolutifs peuvent provenir de roches massives type grès ou de roches litées type schiste.

Les unes peuvent être rippables et les autres nécessiter l'usage d'explosif.

Le caractère d'évolution peut provenir:

- d'actions mécaniques (extraction, compactage, charge du remblai,
- d'actions chimiques (eau, etc....)

Enfin, on peut s'intéresser au matériau produit après évolution:

- sol plus ou moins fin non argileux (grès, calcarénité),
- sol grossier non argileux (calcarénite, schiste),
- sol plus ou moins grossier à nature argileuse (schiste, marnocalcaire, flysch, etc....).

Le caractère évolutif peut être apprécié en laboratoire:

- par fragmentabilité (évolution granulométrique lors d'essai de compactage proctor par exemple),
- par altérabilité (délitage lors de cycles alternés d'humidification - séchage)

b/ Objectif de l'étude du traitement

L'objet de cette étude est de définir les conditions de réutilisation de sols d'origines rocheuses évolutives, telles que le comportement du remblai soit satisfaisant (absence de tassement et de glissement au sein du remblai).

C'est pourquoi ne sont pas pris en compte les matériaux évolutifs au sens chimique, c'est à dire pouvant évoluer dans le temps au sein d'un remblai sous l'action des eaux de percolation (matériaux altérables).

De même, les sols qui sont susceptibles d'évoluer mécaniquement sous le poids des remblais sus-jacents, doivent être écartés (matériaux fortement fragmentables).

Le traitement doit être tel qu'il assure après mise en œuvre et compactage une stabilité correcte du remblai. Pour cela, il convient d'obtenir à l'extraction puis après mise en œuvre, le matériau le plus plein possible pour multiplier les points de contact et diminuer d'autant les déplacements possibles.

c/ Méthodologie de l'étude de traitement

A la demande de l'entrepreneur, le laboratoire intervient tout d'abord pour étudier en laboratoire (si cela n'a pas été déjà effectué au niveau de l'étude d'exécution) la fragmentabilité du matériau.

Suivant les résultats de cette étude, L'Entrepreneur procède à l'extraction par les moyens les plus appropriés. Le produit est alors testé dans une planche expérimentale pour confirmer les résultats de l'étude de laboratoire et définir la méthode et les moyens de mise en œuvre et de compactage.

d/ Etude de laboratoire

La fragmentabilité du matériau est définie par examen de l'évolution du matériau soumis à un essai proctor modifié.

e/ Essai d'extraction et de mise en oeuvre

En première étape et compte tenu de la nature du matériau, L'Entrepreneur choisit la méthode d'extraction la plus appropriée (ripage, explosif), en vue d'obtenir un matériau assez continu et permettant sa reprise, son transport et son régalage en limitant sa dimension maximale (par exemple 0-300). La part des éléments grossiers à rejeter doit être limitée.

En deuxième étape, il propose de même la méthode de régalage et de fractionnement in-situ du matériau à l'aide de rouleau à pied clameur par exemple, afin de réduire la dimension maximale (Dar exemple 0-50).

La troisième étape est celle du compactage proprement dit à l'aide d'engin adéquat en fonction du matériau obtenu en fin de 2ème étape et de l'épaisseur de la couche

C'est l'ensemble de ces trois étapes qui doit être optimisé par l'entrepreneur et sanctionné par des résultats de compacité d'une part et d'autre part, par une conformité visuelle au critère d'homogénéité tel que défini dans le CPC pour les matériaux en remblais rocheux (voir 4.1.3 .a).

Première étape: extraction

L'entrepreneur effectue l'extraction d'un volume suffisant de matériau (100 m³ environ)

Le laboratoire procède:

- à l'estimation sommaire du pourcentage des supérieurs à 300 mm par exemple à l'aide d'une blocométrie, si nécessaire (voir 4.1.2), ou visuellement,
- à l'estimation de la continuité du matériau;
- à l'estimation de l'homogénéité du matériau.

Deuxième étape: régalade - réduction' granulométrique

Le matériau est alors amené sur le site choisi après préparation du fond de forme et régalé suivant les techniques indiquées en 4.1.3.d pour réaliser une planche de dimension 20m de long x 7m de large + 5m aux 2 extrémités pour manoeuvre des engins.

Des passes d'engins par exemple à pieds clameurs sont effectuées et l'on observe la fragmentation du matériau. Dès que celle-ci paraît satisfaisante, le laboratoire effectue une ou deux tranchées pour évaluer visuellement l'homogénéité du matériau dans la masse et prélève des échantillons pour analyse granulométrique.

Le matériau obtenu est alors classé selon les classifications LPC et RTR ce qui permet de prévoir les techniques de compactage les plus appropriées sur le matériau produit

Troisième étape: compactage

Le compactage proprement dit est alors effectué.

a/ Cas des matériaux peu fragiles

Il est apprécié comme une planche d'essais pour sols meubles (voir 4.1.4). La référence Proctor est alors assez représentative, car le matériau évolue peu au cours de l'essai effectué sur la fraction 0/20 mm.

b/ Cas des matériaux plus fragiles

Dans ce cas la référence proctor n'est plus significative, car le matériau évolue durant l'essai et la courbe proctor n'est pas unique.

On peut dans ce cas utiliser les essais à la dynaplaque comme pour les matériaux rocheux (voir 4.1.3.i), en effectuant 10 mesures en chaque point et en observant l'évolution du coefficient de restitution.

Dans ce second cas, on doit passer à la méthode e. Q/S pour le contrôle ultérieur.

c/ Contenu du rapport de l'étude de traitement et de mise en oeuvre

Le rapport indique

- La méthode d'extraction utilisée,
- Les caractéristiques du matériau après extraction,
- La méthode de régalaage et de fractionnement: engins, type, nombre de passes,
- Les caractéristiques du matériau après fractionnement,
- La méthode de compactage, atelier, caractéristiques des engins, nombre de passes,
- Les résultats de la planche de compactage:

- **pour les moins fragiles:** la compacité obtenue et la référence proctor (voir planche type 4.1.4)

- **pour les plus fragiles:** les coefficients de restitution à la dynaplaque et la méthode e. Q/S à suivre telle que définie dans (4.1.3).

4.2.3 - Etude de traitement et mise en oeuvre des sols fins pour utilisation en remblai et en couche de forme

a/ Rappel des prescriptions

Les articles 2.2.c et 4.b indiquent que certains sols doivent faire l'objet d'un traitement pour être réutilisés en remblai ou en couche de forme. La nature du traitement peut être prévu dans le CPS ou son étude peut être repoussée en début de chantier si cela est prévue dans le CPS. D'autre part, comme toutes modalités de mise en oeuvre, celles relatives à l'utilisation des sols stabilisés doivent être agréées par l'administration qui pour cela peut demander une planche expérimentale (article 14.3.1) si cela est précisé dans le CPS.

Critère d'utilisation en remblai:

Les sols fins d'IP > 50 seront traités soit pour réduire leur teneur en eau, soit pour réduire leur plasticité et leur conférer des caractéristiques mécaniques suffisantes, (CBR immédiat).

On pourra exiger par exemple un CBR immédiat supérieur à 10.

Critère d'utilisation en couche de forme:

Les sols d'IP < 20 seront traités en vue de leur utilisation en couche de forme pour leur conférer une portance suffisante, même en présence d'eau (CBR immédiat - CBR immergé).

Les critères à prendre en compte résulteront d'une étude de laboratoire.

Par exemple, avec un traitement à la chaux, un CBR immergé supérieur à 25, pour un traitement au ciment: Rc immergé / Rc sec > 0,75.

b./ Objectif de l'étude du traitement:

Les objectifs de l'étude de traitement sont de:

- vérifier que le sol en question réagit correctement au traitement;
- vérifier les conditions de dosage et de teneur en eau pour atteindre les critères exigés en remblai ou en couche de forme

c/ Etude du traitement

La phase étude du traitement sera réalisée par le laboratoire qui définit les conditions d'utilisation du sol, les dosages en liant, la nature du liant à prendre en compte et l'épaisseur de matériau traité à mettre en œuvre dans le cas des couches de forme.

d/ Objectif de la planche expérimentale

Compte tenu des dosages retenus, du type de liant et des épaisseurs à traiter, l'entrepreneur doit proposer une méthode de mise en œuvre :

- préparation du matériau;
- approvisionnement en liant;
- malaxage,
- compactage.

Le laboratoire doit vérifier que la technique proposée permet d'obtenir:

- un mélange assez homogène et intime, respectant les dosages prévus;
- une épaisseur traitée conforme aux exigences;
- une compacité finale respectant les spécifications.

Il doit proposer la méthode de contrôle à utiliser pour la suite du chantier.

e/ Réalisation de la planche expérimentale

- la planche d'essai doit avoir 20m de long x 3,50m de large;
- la déformabilité du fond de forme est relevée (cas des matériaux non traités sur place);

le matériau à traiter:

- en place doit être scarifié et les mottes réduites au maximum (ceci est fonction des engins et de l'état du matériau);
- en remblai, doit être extrait du déblai de manière à réduire au maximum les mottes.
- le liant est alors répandu par un système d'écoulement gravitaire lié à l'avancement du répandeur. Un contrôle peut être effectué à l'aide de bacs placés en surface puis pesés après passage du répandeur;
- le est réalisée en 1,2 ou 3 passes de façon à atteindre une mouture satisfaisante (0/50 par exemple) et un dosage assez uniforme en liant. Ce contrôle se fait par prélèvements à différents niveaux en profondeur et en largeur pour vérifier l'efficacité du malaxage (en moyenne 10 prélèvements) et l'on effectue soit des dosages en liant (assez difficile et long) soit indirectement des essais mécaniques (CBR ou Rc) à comparer aux résultats de l'étude de laboratoire,
- le compactage suit l'opération de malaxage Celle-ci nécessite une intensité moyenne en couche mince (0,20 à 0,30m) Seuls des engins très puissants permettent de compacter jusqu'à 50 cm d'épaisseur.

Les compacités sont jugées par référence proctor comme pour les planches d'essai sur sols meubles (voir 4.1.4).

f/ Contenu du rapport de la planche d'essai

Le rapport de la planche d'essai:

- précise les conditions d'extraction du matériau ou de sa scarification (cas du traitement en place),
- précise la déformabilité du fond de forme selon le cas;
- rappelle les caractéristiques du liant et les dosages retenus;
- indique toutes les caractéristiques des engins:

- d'extraction;
- de préparation;
- de malaxage,
- de compactage.

Avec leur mode d'utilisation adopté sur la planche d'essai (nombre de passes, profondeur intéressée, vitesse d'avancement, recouvrement latéral, etc....):

- rappelle les résultats d'homogénéité et de compacité obtenue à partir des essais et prélèvements in-situ;
- définit les modalités d'exécution agréées à partir de la planche d'essai et la méthode de contrôle proposée (nature et état du matériau, répanchage du liant et malaxage, compacité, déformabilité, etc....) pour la suite du chantier.

4.3 - Taches éventuelles à la demande de l'ingénieur dans le cadre de l'agrément des moyens et de la définition des méthodes de contrôle.

L'ingénieur responsable de l'exécution du chantier peut faire appel au laboratoire pour:

- connaître son avis sur les propositions des moyens d'exécution des déblais et remblais en fonction des sols;
- élaborer en fonction des sols, de l'importance du chantier et des moyens de mise en oeuvre prévus, les méthodes de contrôle les plus appropriées pour tous les cas non explicitement prévus dans le CPC. On peut citer:
- le cas des sols sensibles à l'eau dont la nature et l'état doivent être bien précisés:

* classification, niveau d'IP, teneur en eau à partir de laquelle des décisions particulières doivent être prises par exemple degré de saturation ou pourcentage d'air (en %) et si possible la localisation dans les déblais pour pouvoir agir préventivement.

- le cas des sols sableux ou la référence proctor n'est pas utilisable:

* classification, éventuelle localisation, référence proposée: densité relative ou éventuelle déformabilité

- le cas des sols très grossiers:

* classification, pourcentage d'éléments supérieurs à 200 mm et 100 mm, localisation éventuelle. référence proposée (essai de plaque, déformabilité, etc...).

- le cas des sols peu portants en fond de déblai et en assise de remblai dont la nature et l'état doivent être bien précisés (classification, niveau d'IP, éventuelle portance immédiate (CBR), teneur en eau naturelle considérée comme limite supérieure admissible, etc...). A signaler que ce problème est bien souvent celui des sols sensibles à l'eau, déjà exposé. En effet, il faut souligner que cette décision entraîne la mise en place d'une couche de forme au frais de l'administration dans le cas des déblais,
- le cas des sols traités (voir 4 2 3 f);
- le cas des sols compactés à sec dont la nature et l'état doivent être précisés dans le CPS et pour lesquels les critères de contrôle doivent être aussi parfaitement définis (compacité proctor - essai de plaque - etc)

C'est en effet cette tâche qui doit clôturer tous les contrôles “ avant ” afin d'assurer la qualité des travaux et notamment en fixant les modalités des contrôles “ pendant ” et éventuellement “ après ”.

Cependant, certaines tâches du contrôle “ avant ” peuvent être exécutées, selon le cas, alors que les travaux ont déjà commencé, il faut donc à ce niveau, prévoir leur insertion dans le cheminement des contrôles

CHAPITRE II

CONTROLE « PENDANT »

La directive sur l'organisation du contrôle et le suivi des chantiers de travaux routiers indique que le contrôle "**pendant**" comporte:

- Les essais de recette des matériaux approvisionnés sur le chantier,
- Les contrôles de qualité en cours de travaux.

Ces deux activités sont exécutées à la diligence de l'administration, suivant les modalités définies dans le CPC et dans le CPS et précisées si nécessaire en fin de contrôle avant (voir 4 3)

1- LES ESSAIS DE RECETTE

L'article 6 du fascicule 3 du CPC (vérification qualitative des sols) n'institue pas un contrôle systématique de la qualité des sols mis en remblai hormis:

- Les cas visés à l'alinéa 6.2 (sols pour couche de forme, couvertures de protection, remblai derrière la maçonnerie et terre végétale),
- stipulation contraire au CPS (alinéa 6.1).

1.1 - Champ d 'application des essais de recette

Le champ d'application des essais de recette dans le cadre des travaux de terrassement, est défini d'une part dans l'article 6 évoqué ci-dessus et d'autre part, au sein du chapitre II du CPC concernant le mode d'exécution des travaux. C'est ainsi que l'on peut distinguer trois cas.

a/ Essais de recette directement prévus dans le CPC

Il s'agit de ceux décrits comme tels dans l'article 6.2. Ils concernent les sols:

- pour couche de forme,
- pour couverture de protection;
- pour remblai derrière maçonnerie,
- pour utilisation en terre végétale.

La fréquence de ces contrôles systématiques y est précisée (1 centrale par 1000 m³ mis en œuvre) La nature des essais, le lieu et le moment des prélèvements ne le sont pas.

b/ Essais de recette prévus par le CPS

Le CPC indique que dans le CPS particulier de chaque chantier, on peut prévoir:

- La nature des sols à utiliser en remblai pour compactage à sec,
- La nature et l'état des sols d'assises de remblai désignés comme de portance faible par des critères rappelés en 4.3); la nature et l'état des sols à traiter ainsi que la nature du liant (voir 4.2)

Le CPS peut aussi prévoir la fréquence et le type d'essai à effectuer ainsi que les modes et lieux de prélèvement (voir 4.3).

c/ Essais de contrôle de la qualité des sols qui entraînent une décision de l'administration

On peut distinguer deux cas:

Cas 1 - assistance à la prise de décision en ce qui concerne les dispositions constructives à appliquer en cours de travaux

Dans le CPC il est précisé que:

- selon les sols rencontrés en fond de déblai, l'ingénieur subdivisionnaire peut être appelé à prévoir des purges et des couches de forme (article 12.2.2 du fascicule 3 du CPC);
- en présence de sols sensibles à l'eau, l'ingénieur subdivisionnaire peut prescrire à l'entrepreneur les dispositions constructives particulières à prendre.

Ceci entraîne que des essais de contrôle de qualité soient effectués pour ces sols.

Cas 2 - suivi de la qualité des matériaux mis en remblai

Pour les matériaux d'emprunts qui ont fait l'objet d'un agrément (voir 4.1.1) et pour ceux qui ont fait l'objet d'une planche d'essais de compactage (voir I.4.1.4) il est indispensable de prévoir un suivi de la qualité des matériaux pour pouvoir appliquer valablement les conclusions de l'agrément ou de la planche d'essais.

1.2 - Les critères de contrôle de recette

Les critères de contrôle de recette sont ceux définis pour l'utilisation prévue du matériau.

- en couche de forme (article 4)
- $D_{max} \leq 100$ mm,
- sols grenus d'IP < 10 sauf Sm, Sm SL, Sm SA,
- sols rocheux non évolutifs bien gradués,
- après traitement les sols d'IP < 20 et les Sm, Sm SL, Sm SA,
- avec respect des règles de filtre vis-à-vis des remblais en place.

- en couverture de protection (article 5):

- Dmax 100 mm
- acceptables en remblai (article 2) sauf Sm, Sm SL, Sm SA.

- derrière maçonnerie (article 14.8. 1):

sols identiques à ceux adoptés pour la plate-forme à l'exception des matériaux rocheux;

- sur 1 m à partir de la maçonnerie Dmax < 1 00 mm.

- en remblai:

- issu de déblai, voir article 2 du CPC;
- issu d'emprunt, voir conclusion agrément 1.4. 1.1.

- en sols traités:

- voir conclusion agrément 1.4.2 3
- en remblai pour compactage à sec:
voir conclusion en 1.4 3

- en matériau acceptable en assise de remblai:
voir conclusion en 1.4.3

- en matériau acceptable en fond déblai:
voir conclusion en 1.4.3.

- en matériau sensible à l'eau:
voir conclusion en 1.4.3.

1.3- Fréquence des contrôles

1.3.1 - Méthodologie des essais de recette

Le CPC indique une fréquence d'un essai pour 1000 m³ mis en oeuvre, lorsqu'il impose un contrôle systématique.

Dans le cas d'exploitation d'emprunt, on peut conserver cette cadence qui correspond à environ 1 essai de contrôle Pour 1200 à 1300 m³ foisonnes extraits.

En déblai sur largeur normale de plate-forme, ceci correspond à environ 1 essai par 250 ml de déblai. Suivant la largeur déblayée, la même cadence peut conduire jusqu'à 1 essai par 100 ml.

De même en assise de remblai, suivant la largeur de cette assise, on peut prévoir un essai par 100 à 250 ml pour les remblais de hauteur allant jusqu'à 8m.

1.3.2 - Prélèvements - lot

En ce qui concerne la définition du lot soumis à contrôle et des prélèvements, on distingue:

- Les emprunts;
- Les matériaux sur tracé (en déblai ou assise de remblai),
- Les liants pour matériaux traités.

* Pour les emprunts, on peut définir des lots de matériaux extraits et préparés sur le gisement d'environ 1000 m³.

Sur ces lots sont prélevés des échantillons élémentaires pour constituer un échantillon global d'essai, suivant la méthodologie définie en I.4. 1.1 (cas 2).

* Pour les matériaux sur tracé, on effectuera au hasard un prélèvement unique à la fréquence définie en changeant de position dans le profil en travers à chaque lieu de prélèvement. La masse globale prélevée est fonction du Dmax comme indiqué en I.4. 1.1. Il n'y a plus de notions de lots proprement dits, mais de zone autour du lieu de prélèvement.

* S'agissant des liants hydrocarbonés ou hydrauliques, appliquer les dispositions du CPC les concernant

1.3.3 - Essais de laboratoire

* Sur les échantillons de sols prélevés, on effectue:

- des essais granulométriques,
- des mesures de limite d'Atterberg,
- des teneurs en eau

Puis on classe l'échantillon selon la classification LPC

* Pour les emprunts destinés aux remblais et couches de forme, il suffit de s'assurer de la conformité aux dispositions de l'article 2 du fascicule 3 du CPC,

Pour les sols à traiter prévoir le contrôle à partir du fuseau de dispersion.

Pour les autres sols, la classification LPC obtenue pour chaque échantillon est comparée aux critères rappelés en 1.2 selon l'usage auquel il est destiné.

* Les teneurs en eau obtenues dans le cas des sols fins sensibles, des sols en assise de remblai et en fond de déblai, des sols à traiter et des sols compactables à sec, sont comparées aux grilles de décisions présentées en 1.4.3 et I.4.2. Pour les autres sols, elles sont comparées aux études proctor et aux valeurs obtenues lors des planches d'essais de compactage en vue d'ajustement éventuel avant compactage.

1.4 - Jugement de conformité

~ Pour les sols n'ayant pas fait l'objet d'un agrément ni de planche d'essai, on prononcera la conformité des échantillons répondant aux critères (1.2) pour chacun des usages (couche de forme, couverture de protection, derrière maçonnerie, en remblai, en remblai pour compactage à sec)

~ Les sols ayant fait l'objet d'un agrément et éventuellement d'une planche d'essai de mise en oeuvre (sols traités, couche de forme), seront déclarés conformes et directement utilisables si leur granulométrie est inscrite dans le fuseau de dispersion et si l'indice de plasticité est à l'intérieur de la fourchette de variations admises à l'agrément.

· Seront déclarés conformes mais utilisables seulement après une nouvelle planche d'essai les matériaux répondant aux critères d'usage (1.2), mais dont la granulométrie et la plasticité s'éloignent de ceux des sols agréés.

· Seront déclarés non conformes et inutilisables ceux ne répondant pas aux critères d'usage (1.2)

REMARQUE

Certains sols déclarés non conformes pourraient être réutilisables après traitement. Cette solution ne peut être envisagée que si le CPS l'a prévu et que les études et planches expérimentales (I.4.2.3) ont été effectivement réalisées

~ Pour les assises de remblai, les fonds de déblai et les sols de déblai sensibles à l'eau, on prononcera les décisions prévues au regard des données d'essai, pour mise en conformité à l'usage:

- purge;
- pose d'une couche de forme;
- extraction spécifique;
- mise en dépôt provisoire ou définitive;
- action sur la teneur en eau in-situ ou en remblai;
- niveau de compactage requis, etc...

1.5 - Présentation des résultats du contrôle

Dans le cas des emprunts, les résultats lot par lot font l'objet d'un P.V. de conformité permettant d'isoler les lots conformes et non conformes.

Dans le cas des prélèvements in-situ sur les chantiers de mise en œuvre, le résultat de non conformité transmis par le P.V. doit provoquer de la part de l'ingénieur une visite sur chantier pour délimiter les zones concernées

Pour les sols où des décisions spécifiques sont à prendre en fonction des résultats, les zones intéressées seront délimitées sur chantier autour des points de prélèvements faisant l'objet du P V

2 - LES CONTROLES DE QUALITE

Les contrôles de qualité concernent l'état des remblais (article 14.3), des fonds de déblais (articles 12 2 et 12 4), des assises de remblai (article 13.2.3) et de la couche de forme (22.5.2. Cet état est contrôlé par l'administration selon les modalités définies dans l'article 14 3.4 pour les remblais par des mesures de densité en place comparée à une référence proctor

Comme on l'a déjà vu au I.4, il existe d'autres cas où le contrôle de qualité doit commencer dès l'extraction et s'achever par le compactage, mais parfois sans faire référence à un essai proctor.

C'est pourquoi on a distingué deux cas:

2.1- Contrôle de qualité par compacité en référence à un essai proctor

C'est le cas qui correspond à l'utilisation de matériaux meuble ne présentant pas plus de 30% d'éléments grossiers (supérieurs à 20 mm).

2.1.1- Prescription du CPC

a/ Valeur des compacités:

Les prescriptions du CPC sont exprimées en pourcentage de la densité optimale proctor modifiée (OPM).

Cas	Situation		Sans couche de forme	Avec couche de forme
1	cavité en déblai ou sans remblai		90 %	sans objet
2	fond de déblai 30 cm supérieur		95 %	92 %
3	assise de remblai	30 cm sup. Si le CPS le prescrit	90 %	sans objet
4	remblai	corps du remblai	90 %	sans objet
		50 cm supérieur	95 %	92 %
5	couche de forme		95 %	--

b/ Fréquence

Pour les situations 1-2 et 3 aucune fréquence d'essai n'est prévue, on peut adopter la même cadence que pour la situation 4 à savoir: " 1 essai pour 250 ml de plate-forme " avec 1 proctor par 5000 m³ de matériau et pour chaque nature de sol.

Pour le cas 4, dans le corps de remblai, surtout pour des remblais de hauteur importante et dans le cas 3 d'assise de remblai, on ajustera la fréquence d'essai en considérant que la fréquence indiquée correspond à une largeur de plate-forme de 12m.

Dans le cas 5 (couche de forme) aucune fréquence spécifique n'est prévue dans le CPC, on peut adopter celle prévue pour les couches de remblais

ci Principe du contrôle par couche et en tout point

L'article 14 3 4 indique que chaque couche doit faire l'objet d'une réception suivant les critères énoncés ci-dessus et qu'en tout point la compacité atteinte doit être supérieure au minimum exigé. Aucune couche ne peut être posée sans que la précédente n'ait fait l'objet de ce contrôle de qualité.

2.1.2 - Essais de contrôle

Les essais de contrôle sont des mesures de densité in-situ avec détermination de la teneur en eau. Les densités sèches calculées sont alors comparées à la densité sèche maximale proctor modifié du matériau considéré comme représentatif de l'échantillon rencontré dans le prélèvement.

a) Implantation des points de mesures et des essais

* En dehors du cas n° 1 où les essais doivent être situés dans les cavités traitées, pour tous les autres cas, on répartira de façon aléatoire les essais sur la surface de la couche ou surface compactée, sans chercher systématiquement les endroits où le compactage peut être défaillant (bord de remblai par exemple).

* L'appareillage courant utilisé (densitomètre à membrane) intéresse une profondeur de 15 à 20 cm environ. Pour tester 30 cm d'épaisseur il convient donc d'effectuer des mesures à deux niveaux et pour 50 cm, trois niveaux.

L'épaisseur de la couche est donc à prendre en compte dans le cas du corps du remblai

Pour les cas 2 et 3, il faudra donc prévoir deux niveaux pour mesurer la densité sur les 30 cm à contrôler.

Dans le cas n° 4

· pour les 50 cm supérieurs du remblai, soit ils sont réalisés en une couche et il faudra trois mesures à trois niveaux, soit ils sont réalisés en deux ou plusieurs couches et l'on procédera à autant de mesures que nécessaire sur chacune des couches selon leur épaisseur élémentaire,

· dans le corps du remblai on ajustera le nombre de mesures à l'épaisseur de la couche après compactage

Dans le cas no 5

le nombre de mesure dépendra de l'épaisseur de la couche compactée comme exposé ci-dessus.

REMARQUE

Certains appareils à rayonnement permettent de réaliser des mesures à différents niveaux au même endroit par enfoncement successif d'une pointe porteuse d'un émetteur, on a alors une densité moyenne par épaisseur croissante et en définitive sur l'épaisseur totale de la couche contrôlée.

b./ Réalisation de la mesure de la densité

On vient d'évoquer les deux types d'essai:

- essai classique au densitomètre à membrane;
- essai par rayonnement ou à neutrons.

*b. 1- Essai de densitomètre à membrane**** Densité in situ:**

L'essai classique consiste à enlever un certain volume de sol mesuré par un appareillage (densitomètre) et l'on pèse le poids de sols compacté qui occupait ce volume, on a alors la densité humide apparente.

*** Teneur en eau in-situ:**

Sur l'échantillon prélevé, on effectue une mesure de teneur en eau par étuvage de 24 heures ou en cas de nécessité par brûlage à la poêle. On peut alors déterminer la densité sèche in-situ.

Pourcentage d'éléments supérieurs à 20 mm

Sur l'échantillon prélevé on effectue un tamisage à la teneur en eau naturelle sur le tamis de 20 mm, afin de déterminer le pourcentage d'éléments retenus par rapport à la masse totale (il faut toujours que cette valeur soit inférieure à 30%).

b.2 - Mesures par rayonnement ou à neutrons

Les densités humides sont atteintes directement par comptage d'impulsion et par comparaison avec des étalons de laboratoire.

Avec les rayonnements la mesure de la teneur en eau classique (étuvage) est nécessaire.

Avec les sources à neutrons, on peut aussi directement mesurer la teneur en eau toujours par comparaison à un étalonnage de laboratoire

Dans tous les cas, le pourcentage d'éléments supérieurs à 20 mm nécessite le tamisage comme décrit ci-dessus.

c/ Essai proctor modifié de référence*c. 1 - Sols ayant fait l'objet d'un contrôle de recette*

Pour les sols provenant d'emprunts ou ayant fait l'objet d'un contrôle de recette sur tracé (voir II 1.3), on peut classer les échantillons de manière à regrouper des sols de classification identique et de caractéristiques proches

Il est alors possible à partir des échantillons prélevés autour des points de mesure de densité in-situ, d'effectuer un essai proctor modifié de référence tous les 5000m³ de sols compacts et au moins pour chaque nature de matériau différent. On peut alors calculer la compacité par le rapport des densités sèches in-situ et de l'optimum proctor modifié après correction éventuelle de cailloux (pourcentage d'éléments supérieurs à 20 mm) Rappelons que cet essai nécessite au minimum 24h pour sa réalisation et que la précision relative donnée par le mode opératoire sur des matériaux homogènes est de plus ou moins 1%.

c.2 - Sols n'ayant pas fait l'objet d'essai d'identification en cours de chantier

Le regroupement des échantillons en sols dit homogènes, peut se faire visuellement à partir d'une description géotechnique. On effectue alors un essai proctor modifié sur un des échantillons jugé représentatif de l'ensemble des prélèvements. Il convient alors de conserver la cadence minimale d'un essai pour 5000m³. En cas de doute cette cadence peut être augmentée.

Une autre méthode consiste à effectuer systématiquement un moulage à l'énergie proctor modifié avec le sol prélevé au niveau de la mesure de densité in-situ à la teneur en eau à laquelle il se trouve au moment de la mesure de densité et à le comparer avec une courbe proctor déjà tracée. Si pour la même teneur en eau on avait déjà obtenu la même densité humide, on peut utiliser la courbe proctor correspondante comme référence. Sinon il convient de tracer la courbe proctor complète pour ce matériau

Cette deuxième méthode qui nécessite au moins un point de compactage par mesure, permet cependant de s'affranchir de doutes sur la référence proctor

Rappelons que les essais proctor sont effectués sur les sols dépourvus d'éléments supérieurs à 20 mm et que l'on peut utiliser la référence obtenue sur le matériau inférieur à 20 mm en prenant en compte une correction de cailloux avec une limite supérieure de 30% pour le pourcentage de cailloux

Pour les références proctor il peut aussi s'avérer très utile de conserver tout au long du chantier un échantillon représentatif de chacun des sols pour lequel on a déterminé la densité proctor modifié

2.1.3 - Jugement de conformité

En chaque point, on détermine la compacité par rapport à la référence proctor qui doit être précisée avec la correction de cailloux elle aussi clairement indiquée.

Ainsi on peut, point par point, juger de la conformité aux prescriptions puisque toutes les valeurs doivent être supérieures au minimum exigé.

Dans le cas où une compacité n'est pas atteinte, le compactage doit être repris autour de ce point.

Sur une couche épaisse qui a donné lieu à plus d'une mesure par point, c'est chacune des mesures qui doit être supérieure. En cas de défaillance c'est l'ensemble du compactage de la couche qui doit être repris autour du point.

Après reprise de compactage, les densités sont de nouveau contrôlées selon le même processus jusqu'à obtention du minimum requis autour de la zone récompactée.

Enfin une couche ne peut être déclarée apte à recevoir la couche suivante que si en tous points et tous niveaux les minimum requis sont atteints.

2.1.4 - Présentation et transmission des résultats

Chaque point de mesure doit être situé dans le profil en long et dans le profil en travers.

Le numéro de la couche depuis le début de remblai doit être précisé ainsi que l'épaisseur de la couche mise en œuvre .

Les différents niveaux contrôlés pour les couches épaisses doivent être repérés par rapport à la côte de la surface de la couche.

Exemple:

- Profil P 160 + 20m (sens croissant);
- à 15 m de l'axe côté gauche;
- 1ère densité à 0,0 m de la surface C =%;
- 2ème densité à 0,20 m de la surface C =%.

Sol: limon tuffacé y d de référence 1,75 t/m

% > 20 mm = %

Les fonds de déblai et les assises de remblai doivent faire l'objet d'un P.V. indiquant toutes les compacités obtenues en tout point Doivent figurer les zones où des reprises de compactage ont été effectuées et les résultats de compacité finalement atteints.

Dans le cas des remblais, on doit communiquer couche par couche les résultats au fur et à mesure de leur obtention, afin de permettre à l'ingénieur subdivisionnaire de donner l'autorisation de poursuivre les travaux.

Enfin d'exécution du remblai, on doit élaborer un document de synthèse présentant l'ensemble des données obtenues couche par couche, en délimitant les zones où des reprises éventuelles ont eu lieu, elles sont signalées par une annotation spéciale.

On a ainsi un document de synthèse par ouvrage présentant outre les résultats de compacité, la nature des sols utilisés les références proctor et les éventuels problèmes rencontrés lors de la montée du remblai

2.2 - Contrôles de qualité de la mise en œuvre

(extraction, régalaade, compactage): autres cas.

2.2.1- Champ d'application

Ceci intéresse:

a/ des matériaux pour lesquels on a effectué, dans le cadre du contrôle avant, des planches d'essais qui ont abouti à la définition d'une méthode de contrôle:

- matériaux rocheux (planche de tir et planche de mise en œuvre) (I.4.1.2 et 1.4. 1.3),
- matériaux rocheux évolutifs (planche de mise en œuvre) (I.4.2.2),
- matériau d'emprunt pour lesquels on a effectué une planche d'essai de compactage (1 4. 1.4), sols fins traités à la chaux et/ou au ciment (planche de mise en œuvre) si prévue au CPS (1.4.2.3).

b/ des matériaux pour lesquels des décisions spécifiques ont été prises avant le début du chantier ou éventuellement dans le CPS (voir I.4.3) concernant le contrôle de leur mise en œuvre.

- matériau à compacter à sec,
- matériau sensible à l'eau,
- matériau très grossier,
- certains matériaux sableux.

2.2.2 - Méthodologie des contrôles

En fait, on aboutit à trois types de contrôles:

Type a: contrôle par mesure de densité avec:

- **référence proctor**, mais à un taux éventuellement différent de celui prévu au CPC (cas des sols compactes sec, cas des sols traités, cas des sols fins sensibles à l'eau),

- **référence autre:**

- densité relative des sols sableux mal gradués (mesure de densité faite au carottier);
- taux de saturation ou seuil de pourcentage de vides d'air pour les sols fins sensibles à l'eau,
- densité minimale pour sols rocheux évolutifs ayant atteint une granulométrie finale,
- - densité de référence de la planche d'essai (sols d'emprunts)

Type b: contrôle par mesure de déformabilité à la plaque ou à la dynaplaque:

- cas des sols compactes a sec,
- cas des remblais rocheux ou grossiers;
- cas des remblais rocheux évolutifs;
- cas des matériaux d'emprunts.

Type c: contrôle des moyens de mise en oeuvre:

- par observation visuelle simple;
- par relevé d'appareils type contrôlographe intégrés dans les engins de mise en œuvre .

C'est le cas des:

- sols rocheux (extraction, régalage, compactage);
- des sols très grossier (régalage, compactage);
- des sols rocheux évolutifs (extraction, régalade, fractionnement, compactage)
- des sols traités (phase de malaxage et de répandage).

2.2.3 - Contrôle du type avec mesure de densité

a/ Mesure de densité:

La mesure de densité s'effectue comme décrit ci avant en 2.1 avec la même fréquence et en respectant les mêmes principes concernant la représentativité sur l'épaisseur de la couche testée.

Cependant dans le cas des sols sableux mal gradués l'utilisation du densitomètre à membrane n'est pas toujours possible, on utilise alors des carottiers à paroi mince, ceux-ci présentant un volume plus faible, il est donc nécessaire de multiplier les mesures à différents niveaux de la couche pour être représentatif de la densité atteinte `dans cette couche.

b/ Références

Les références s'obtiennent avec la même cadence et les mêmes principes d'homogénéité que ceux présentés en 2 1

- la référence proctor modifié s'obtient en effectuant l'essai suivant le mode opératoire habituel même pour les sols compactes à sec sur chantier;

- la densité relative des sols sableux est déterminée à l'aide du mode opératoire ARTM définissant une densité maximale (Dmax) et une densité minimale (Dmin).

La densité relative est alors le rapport:

$$Dr = (D \text{ en place} - D_{min}) / (D_{max} - D_{min}) * D_{max} / D \text{ en place}$$

pour une densité en place mesurée D en place.

- le pourcentage de saturation pour les sols fins en fonction de la teneur en eau W et de la densité sèche Yd mesurée par rapport à la masse volumique des grains ys est exprimé par:

$$Sr\% = W (1/ Ad - 1 / As)$$

- le pourcentage de vides d'air du sol en place exprimé en fonction des mêmes paramètres est:

$$a\% = (ys-yd)/ys * (1-Sr)$$

- Ces deux derniers Paramètres sont utilisés pour les sols fins sensibles à l'eau.

· Enfin, comme autre référence, on peut utiliser directement une valeur de densité unique considérée comme un seuil. Cette densité aura été déterminée lors des planches d'essai:

* dans le cas des sols rocheux évolutifs ayant atteint une granulométrie permettant d'effectuer une mesure de densité,

* pour les matériaux d'emprunts afin d'augmenter la rapidité des contrôles notamment dans le cas de couches de forme ou dans le cas de faibles volumes derrière maçonnerie permettant ainsi d'accélérer le contrôle.

c/ Jugement de conformité

Le contrôle est toujours effectué couche par couche. Les résultats sont jugés conformes si toutes les valeurs aux différents niveaux dans la couche sont supérieures à la valeur retenue comme critère par rapport à la référence spécifique ci-dessus. La couche est alors considérée comme réceptionnée

Dans le cas contraire une reprise du compactage est nécessaire dans les zones défailtantes

Dans le cas des sols fins sensibles à l'eau, si le taux de saturation ou le pourcentage de vides d'air limites sont dépassés, il faudra agir suivant la grille de décision prévue en 1.4.3 (purge, scarification, stabilisation, etc....), mais surtout ne pas reprendre le compactage avant l'autorisation de l'ingénieur subdivisionnaire.

Les zones à reprendre sont délimitées d'un commun accord sur chantier.

2.2.4 - Contrôle du type b avec mesure de déformabilité.

a/ Mesure de déformabilité

La mesure de déformabilité s'effectue: Soit à la plaque de 60 cm de diamètre suivant le mode opératoire du LPEE. Soit à la dynaplaque suivant le mode opératoire utilisé actuellement au LPEE. L'épaisseur testée dans les deux cas est d'environ 1m.

Pour les essais à la plaque on effectue une mesure tous les 250 ml en surface de la couche compactée.

Pour les essais à la dynaplaque on peut augmenter la fréquence des essais vu leur rapidité: 1 essai tous les 20 à 25 ml. Pour les sols rocheux évolutifs le nombre d'impacts par point de mesure peut être supérieur aux cinq impacts généralement suffisants dans grills les autres cas.

L'implantation des essais doit permettre de balayer au maximum et de façon aléatoire toute la surface de la couche à tester.

b/ Critères

Pour les essais à la plaque c'est le module E_{v1} ou E_{v2} et le rapport E_{v2}/E_{v1} qui *servent* de critère de conformité de la déformabilité.

Les valeurs seront celles déterminées lors des planches d'essai ou décidées en 1.4.3 ou directement dans le CPS (cas des sols compacts à sec).

Pour les essais à la dynaplaque c'est le coefficient de restitution R qui servira de critère. Il sera généralement exigé un $R > 45\%$ ou à 50% suivant le cas. Comme on possédera un grand nombre d'essais, on pourra procéder à une analyse statistique des valeurs mesurées en calculant:

- la moyenne R
- l'écart type σ_R

et en adoptant un seuil $R_{95} = R + 2 \sigma_R > S$

S étant 45% ou 50% selon le cas, ce qui signifie qu'environ 95% des valeurs doivent être supérieures au seuil exigé.

REMARQUE

Comme on l'a déjà vu, ces essais sont sensibles aux variations de teneur en eau et ce d'autant plus que le sol est plus fin et plus argileux. La présence de gros éléments concentrés sous la plaque d'essai peut aussi influencer sur la valeur mesurée. Il faudra donc surveiller les conditions d'essais pour utiliser correctement les critères retenus.

c/ Jugement de conformité

c.1- Essai à la plaque

Toutes les valeurs doivent être supérieures aux seuils exigés pour Ev1 ou EV2 et inférieures au rapport EV2/Ev1 prescrit. En cas de défaillance, le compactage doit être repris dans la zone considérée.

c.2 - Essai à la dynaplaque

La valeur R_{95} de l'ensemble des mesures sur la couche considérée doit respecter la valeur seuil prescrite.

De plus les valeurs inférieures à ce seuil doivent être situées dans l'espace au milieu de valeurs satisfaisantes. Si au contraire les valeurs non satisfaisantes étaient concentrées dans une zone isolable de la couche, cette zone devra être clairement délimitée sur la surface contrôlée pour reprise éventuelle du compactage.

Si la valeur seuil n'est pas atteinte par R_{95} , c'est l'ensemble de la couche qui doit normalement faire l'objet d'une reprise de compactage.

d/ Présentation des résultats

* Les P.V. d'essais à la plaque doivent situer les points de mesures avec l'avis de conformité. Les zones éventuelles à récompacter sont décidées d'un commun accord sur chantier,

* Pour les essais à la dynaplaque, c'est l'exploitation statistique qui est transmise avec l'éventuel zonage des valeurs déficientes ainsi qu'indiqué en c.2 avec un avis sur la conformité ou non conformité sur l'ensemble de la couche.

2.2.5 - Contrôle du type c: contrôle des moyens

Le contrôle des moyens dépend de la phase d'exécution contrôlée. a/ de l'extraction ou régalage (et malaxage)

Lors des planches d'essai ou en conclusion de contrôle avant (I.4.3), les techniques de construction ont été définies:

- extraction (sols rocheux évolutifs et non évolutifs);
- répandage de liant (sol traité),
- régalage (sols rocheux et très grossiers),
- scarification et malaxage (sol traité).

Toutes ces opérations font appel à des contrôles visuels simples de conformité des moyens mis en œuvre par rapport à ceux agréés en phase contrôle avant, ainsi que du respect de toutes les opérations annexes: foration, charge d'explosif, dosage en liant hauteur de couche, profondeur scarifiée, finesse de la mouture en fin de malaxage, hauteur des matériaux approvisionnés, puissance des engins de régalage

Certaines de ces opérations peuvent faire l'objet de contrôle ponctuel plus quantitatif:

- Contrôle du poids global des explosifs utilisés,
- mesure de profondeur,
- de la maille de foration;
- dosage à l'aide de bacs de quantités de liant répandus avant malaxage (sols traités),
- mesure de la profondeur scarifiée (sols traités),
- mesure de la finesse apparente de mouture en fin de malaxage par granulométrie à sec (sol traité),
- mesure d'épaisseur des couches régalées.

Ces interventions ponctuelles qui auront été prévues en début de chantier doivent être réalisées de manière à répondre très rapidement aux questions posées et à comparer les mesures effectuées à celles correspondant aux planches d'essais. Les seuils ou fourchettes définies auparavant doivent permettre de prononcer la conformité.

Le laboratoire transmet à l'ingénieur les éventuelles mesures effectuées avec l'avis de conformité.

Ce dernier, au vu de l'ensemble des paramètres (mesures plus observations visuelles), peut alors se prononcer sur le respect des moyens prévus pour chaque opération et le notifier à l'entreprise.

b/ Fractionnement et compactage

Le fractionnement (des sols rocheux évolutifs) et le compactage (des sols rocheux évolutifs ou non et des sols très grossiers), dépendent du respect de deux paramètres essentiels:

- l'épaisseur maximale de la couche mise en œuvre ,
- les moyens et l'énergie de fractionnement et de compactage, effectivement appliqués sur cette couche.

Pour le contrôle de l'épaisseur, les moyens simples habituels sont utilisés par le surveillant de chantier de même pour le volume compacte et la surface balayée.

Pour le contrôle des moyens de l'énergie de fractionnement et de compactage, on peut faire appel à des techniques:

* Simplement visuelles:

- vérification de la conformité du matériel,
- vérification de son bon fonctionnement (notamment surcharges éventuelles et vibration),
- vérification du respect du plan de balayage défini en contrôle avant.

Ceci nécessite la présence quasi continue d'un surveillant de chantier affecté à ce poste

* Utilisation des appareils de contrôle intégré: Ces appareils équipent les compacteurs pour permettre de suivre toutes les caractéristiques de fonctionnement, il y a des contrôlographes qui fournissent:

- les horaires de fonctionnement de l'engin,
- La vitesse de déplacement;
- La distance parcourue,
- le temps affecté aux diverses opérations (compactage, déplacement, entretien),
- La fréquence des vibrations.

L'exploitation de ces données permet de mesurer la surface balayée par le compacteur des guides de balayage qui aident le conducteur à:

- effectuer les décalages d'engin,
- savoir si le nombre de passes prévu a été effectué sur la zone balayée,
- savoir si le compactage est fini sur la surface totale.

Les données fournies par ces appareils sont utilisées en fin de journée pour définir les Q/S et e réellement respectés et les comparer aux seuils prescrits lors de la planche d'essai (voir 1.4.1.3, 1.4 2 et I 4.3)

A partir de ces données, il est possible à l'ingénieur de porter un jugement de conformité sur les opérations de fractionnement et de compactage.

CHAPITRE III

CONTROLE « APRES »

La directive sur l'organisation du contrôle et le suivi des chantiers de travaux routiers indique que le contrôle après consiste en la réception des ouvrages terminés.

Le CPC no 3 précise que ces contrôles portent sur:

1. le respect des caractéristiques géométriques du projet, 2. le surfacage de la plate-forme et le réglage des talus

Ces opérations sont du ressort de l'administration et seront exécutées par ses soins.

REMARQUE:

Dans le cas particulier de certains chantiers, il serait envisageable d'effectuer un contrôle de réception des remblais mis en œuvre à l'aide d'appareillage très spécifique tels que double sonde, pénétromètre. Une telle opportunité doit être conservée comme telle dans le cadre des contrôles de terrassements dans le cas où des contraintes particulières ne permettraient pas d'effectuer les contrôles couche par couche décrits en II

Des contrôles de portance (plate-forme ou ares) peuvent être prévus par ailleurs.

ANNEXE 1 COMPARAISON DES CLASSIFICATIONS LPC ET RTR

CLASSIFICATION LPC	CLASSIFICATION RTR	CONDITIONS		
		D max	Propreté	Granulométrie
Ap et Lp	A1	< 50 mm	IP < 10	---
	A2		10 < IP > 20	---
At et Lt	A3		20 < IP < 50	---
	A4		IP > 50	---
Sb et Sm	D1	< 50 mm	---	> 2 mm - 30
Gb et Gm	D2		---	> 2 mm + 30
	D3	50 à 250	---	---
	D4	> 250 mm	---	---
SmSL et SbSL	B1	< 50 mm	ES > 35	- 30 % de > 2 mm
SbSA et SmSA	B2		ES < 35	
GbGL et GmGA	B3		ES > 25	+ 30 % de > 2 mm
GLGA et GmGA	B4		ES < 25	
	B5			< 0,08 mm < 35 %
GL et SL	A1		IP < 10	< 0,08 mm > 35 %
GL et SL	B6		IP > 10	< 0,08 mm < 35 %
GA et SA	A2 - A3 (voir plus haut)			< 0,08 mm > 35 %
GL et GA	C1	> 50 mm	---	0,08 > 10 à 20 %
GbGL - GmGL	C2	< 250 mm		0,08 < 10 à 20 %
GbGL - GmGA	C3	> 250 mm		

ANNEXE 2 QUELQUES PRINCIPES POUR LA REUTILISATION DES SOLS

1 Les sols Sb-Sm, Gb-Gm ainsi que les SmSL, SbSL et GmGL et GbGL peuvent être mis en oeuvre dans toutes conditions climatiques avec des compactages d'intensité moyenne (pneus ou vibrants).

Les plus sableux Sb-Sm posent généralement des problèmes de traficabilité et d'érodabilité.

Pour les plus graveleux Gb-Gm, ces problèmes demeurent en fonction de la continuité de la courbe granulométrique. L'énergie de compactage augmente avec le diamètre des cailloux.

Les sols Gb-Gm à gros éléments peuvent poser des problèmes de réglages

2. Tous les autres sols sont inutilisables sous fortes pluies

Sous faible pluie et temps favorable même avec forte évaporation, ils peuvent tous être mis en oeuvre. A l'exception des sols (B2 - B4 - B6) très perméables et sensibles à l'eau pour lesquels il faut attendre des conditions plus favorables (absence totale de pluie) à moins que ces sols soient à l'extraction à l'état très secs.

3. Condition de réutilisation des sols plus fins:

Ap-Lp-At-Lt-SL(1-2)-Sa(1)-GL(1-2)-GA(1) [(1) à fort pourcentage en fines > 35 %] (2) (IP) < 10 quelque soit le pourcentage des fines).

a/ Définition de leur état d'humidité

Ils sont dits " humides " si la teneur en eau est de 1 à 4 points au dessus de la teneur en eau optimale proctor normal (WOPN), cette barrière est croissante avec la plasticité

· Ils sont dits à teneur en eau moyenne, quand leur teneur en eau est comprise entre 3 et 8 points autour de la WOPN, écart toujours croissant selon la plasticité,

· ils sont dits " secs " si la teneur en eau naturelle est inférieure de 2 à 4 points à WOPN (toujours écart croissant avec la plasticité).

b/ Utilisation à l'état humide

Il faudra attendre une situation favorable de forte évaporation pour les utiliser après extraction par couches et séchage par aération.

Ils pourront alors être compactés des énergies faibles à moyennes (croissant avec la plasticité) par tous types d'engins, mais il faudra veiller à limiter la compacité. A éviter cependant les pneumatiques trop lourds, car on peut arriver facilement à l'état de matelassage surtout pour les sols à plus faibles teneurs en fines

c/ Utilisation à l'état moyen d'humidité

Dans cet état ils peuvent être réutilisés dans toutes conditions climatiques même avec une faible pluie

Cependant pour les sols les moins plastiques ($IP < 10$) il faudra attendre l'absence totale de pluie et d'ailleurs prévoir un arrosage pour les mettre en œuvre en cas de forte évaporation.

L'énergie de compactage à utiliser variera en fonction des conditions climatiques (elle croîtra avec l'aridité) et en fonction de la plasticité des sols (elle croîtra avec l'IP). D'ailleurs, pour les sols les plus plastiques l'utilisation d'engin vibrant léger, restera inefficace

d/ Pour les sols à l'état " sec ", il faudra envisager des moyens de compactage très puissants (et ce d'autant plus qu'ils seront plus plastiques) ou même l'utilisation presque exclusive des pieds clameurs. Cependant pour les sols les moins plastiques, un arrosage facilitera le compactage.

En revanche pour les sols les plus plastiques, une extraction par couche est indispensable pour réduire au maximum les mottes argileuses.

e/ Pour les sols les moins plastiques ($IP < 10$) des problèmes de traficabilité et de matelassage peuvent être rencontrés avec les engins les plus lourds (pneus ou vibrants).

f) Les sols les plus plastiques en cas de pluie deviennent glissants, ce qui arrête la circulation des engins

4 . Condition d'utilisation des sols graveleux

On distingue:

4.1 - Les sols graveleux type SbSA - SmSA - GbG - GmGA de $D_{max} < 50$ mm.

A l'état humide ($WOPN + 2 \%$) ils sont très difficiles à réutiliser sauf sous forte évaporation après extraction en couche et aération, ils nécessitent alors un compactage moyen à pneus ou au vibrant en couche mince à moyenne.

A l'état d'humidité moyenne, ils deviennent utilisables en temps non pluvieux avec un compactage moyen avec les mêmes types d'engin.

Enfin à l'état sec ($W < WOPN - 1$) ils peuvent être réutilisés même sous légère pluie avec les mêmes engins. Si les conditions météorologiques sont plus favorables, un arrosage facilitera leur compactage

A signaler pour ces sols des problèmes éventuels de traficabilité et de matelassage pour les engins à pneus

4.2 - Les sols types GL et GA d'TP $> 10\%$ de $D_{max} < 50$ mm et de moins de 35% d'éléments fins (voir 3~

Ils ont des comportements proches des sols décrits ci-dessus en 4.1.

Ils nécessitent généralement des énergies de compactage moins grandes à l'état humide et inversement plus élevées à l'état sec en raison de la plasticité élevée des éléments fins

4.3 - Les sols type GL - GA - GbGL - GmGL - GbGA - GmGA dont le Dmax est supérieur à 50 mm.

4.3.1- Proportion importante d'éléments fins (supérieur à 10 ou 20% selon le cas).

Ils sont inutilisables à l'état humide. Il faut qu'il soit dans un état d'humidité moyenne à faible pour pouvoir être mis en œuvre même sous pluie légère avec cependant un compactage intense. Les sols les plus secs deviendront incompactables en cas de forte évaporation, car il n'est pas possible de les arroser efficacement.

4.3.2 - Proportion plus faible d'éléments fins (inférieur à 10 ou 20 %).

Ils peuvent alors être réutilisés même à l'état humide après éventuel écréage des plus gros éléments. A l'état sec un arrosage sera nécessaire et efficace en cas de forte évaporation.

L'énergie de compactage sera généralement importante, les pneus et vibrants lourds seront nécessaires et ceci d'autant plus que les éléments deviennent grossiers.

L'épaisseur des couches devra parfois être réduite pour permettre le compactage et il faudra en conséquence limiter le diamètre des gros éléments. Le compactage en forte épaisseur (0,70 à 1,00 m) donc admettant des éléments grossiers importants (500 à 700 mm) ne pourra être envisagé qu'avec des moyens puissants.

ANNEXE 3 PROBLEME DE CONTROLE EN FONCTION DE LA NATURE DES SOLS

1. Sols meubles

Cas	Sol	Classification L.P.C.		Densité in-situ	Référence Proctor	Essai de plaque ou de dynaplaque	Autres
1	fins	ApLp - AtLt		densitomètre	oui	non	
2	sableux	SmSb		carottier	pas toujours réalisable	non	densité relative
3	(S)	SbSL SmSL SbSA SmSA - SLSA		densitomètre	oui	non	
4	graveleux (G)	D max < 50mm	-30% > 20 mm	densitomètre	correction caillou	possible (1) (2)	
5			+30% < 20 mm	densitomètre de 61	correction de caillou après étude spécifique	possible (1) (2)	ou Proctor géant
6		D max < 80 mm	-30% > 20 mm	densitomètre de 61	correction de caillou	possible (1) (2)	contrôle type e, Q/S
7			-30% < 20 mm	densitomètre de 61 ou cerce	Proctor géant	possible (1) (2)	contrôle type e, Q/S
8			+30% < 60 mm	non	non	possible (1) (2)	contrôle type e, Q/S
9		D < 250 mm		non	non	possible (1) (2)	contrôle type e, Q/S
10		D > 250 mm		non	non	non	relevé topographique ou test de passage d'un engin lourd

(1) Pour les graveleux les plus riches en fines et avec fines plastiques l'essai de plaque devient sensible aux conditions d'humidité

(2) L'épaisseur “ contrôlée ” ainsi est d'environ 1 m donc précaution pour les premières couches sur un support sensible à l'eau et abandon du principe de contrôle couche par couche surtout pour le $D_{max} < 50$ mm.

2/ Sols rocheux

Après essai de tir on effectue un classement suivant le matériau (G) (cas 6 à 9) puis on exécute une planche d'essai de mise en œuvre avec essai de plaque (donc $D_{max} < 250$ mm et sols peu sensibles à l'eau sur une épaisseur d'eau moins 1 m, puis on prévoit l'utilisation du principe de contrôle par e. Q/S.

Si $D_{max} \sim 250$ mm (10) il faut choisir comme référence une déformabilité liée à un truchement maximal

3/ Sols rocheux tendres (évolutifs)

Il faut prévoir:

- planche d'essai d'extraction (ripage, explosif),
- planche d'essai de mise en œuvre avec:
 - une première phase de réduction granulaire,
 - une deuxième phase de compactage.

A partir de ces données, le choix de la technique de contrôle de compactage se fait selon la classification sol meuble du matériau produit après la première phase de réduction granulaire, généralement du type G à la limite S (cas des calcarénités très tendres par exemple): (cas 4 à 10) ou éventuellement cas 3

ANNEXE 4 COMPACTAGE A SEC

(A l'aide de rouleaux vibrants et complément au pneumatique éventuel).

Sol	Commentaire	Epaisseur de mise en oeuvre	Energie de comptage
Ap - LP (IP < 20)	- problème de traficabilité pour les plus propres; - difficulté de compactage croissant avec le pourcentage de fines et leur plasticité.	15 à 30 cm (remblai) ----- 15 à 20 (c.d.f)	Forte en c.d.f avec arrosage et passage de pneu en finition.
At - Lt (IP > 20)	inutilisable		
Sm- Sb	problème de traficabilité pour les Sm	forte (o.50 à 1,00m) limitée à 0,75m en c.d.c.	- Faible ou forte suivant l'épaisseur ----- - en c.d.f nécessité d'un compactage au vibrant léger en finition de forte épaisseur.
Sm - Gm (Dmax < 50 mm)	Matériau convenant bien pour compactage à sec. Présentant qq. problèmes de traficabilité pour les moins graveleux et pour les engins les plus lourds.	moyenne à forte 0,40 à 1,00m remblai 0,30 à 0.70 m en c.d.f	Faible à forte pour grande épaisseur. Nécessité de finition en grande épaisseur avec passage d'engin léger ou pneu.
SmSL - SbSL GmGL - GbGL (Dmax < 50mm)	Sols faciles à compacter à sec car peu sensibles à l'eau Les plus fins posent quelques problèmes de traficabilité et de manque de stabilité en surface.	Moyenne à forte 0,40 à 1,00 m en remblai 0,25 à 0,65m en c.d.f.	Faible à forte suivant l'épaisseur. ----- En c.d.f nécessité de finition au pneu pour les fortes épaisseurs.
SmSA SbSA GmGA GbGA (Dmax < 50mm)	Sols sensibles à l'eau, teneur en eau naturelle doit être inférieure à 4%.	Faible à moyenne: 0,25 à 0,40 en remblai -0,20 à 0,30 en c.d.f.	Moyenne à forte suivant l'épaisseur.

GL - SL (Dmax <50mm) (IP < 10)	Sol facilement compactable à sec surtout avec un fort squelette (f<35%) et avec une teneur en eau naturelle <3 à 4% <u>Si f ~ 35% voir Ap. Lp</u>	Faible 0,20 à 0,35m en remblai 0,20 à 0,25m en c d f.	Moyenne à forte ----- En c.d.f prévoir arrosage + passage de pneu en finition.
GL- SL GA - SA IP> 10 f<35% (Dmax < 50mm)	Plus la fraction graveleuse sera importante plus le compactage sera facilité, teneur en eau naturelle 3 à 5% selon la granulométrie Si f ~ 3S% voir Ap.Lp	faible 0,20 à 0,35 m remblai - 0,20 à 0,25m en c.d f	Moyenne à forte en remblai ----- forte en c.d.f avec arrosage et passage de pneu en finition.
GL - GA GbGL GmGL GmGA GbGA (Dmax > 50mm)	Plus la fraction graveleuse est importante plus facile est le compactage. Un écrêtage des gros éléments sera nécessaire pour la mise en oeuvre et le compactage (voir épaisseur). L'état critique est fonction des fines (teneur en fines et activité)	Faible 0,15 à 0,30 m en remblai; 0,15m en c.d. f	Forte énergie ----- en c d f l'humidification en finition peut être utile.

Notation

c.d.f = couche de forme

f= pourcentage de passant à 0,08 mm