



INFORMER POUR MIEUX VALORISER

Matériaux alternatifs
en infrastructures

SOLS LIMONEUX & CRAIES

MANUEL 1



**CONSULTATION
SIMPLE & RAPIDE**

En un clic, accédez
à la page souhaitée

► MANUELS À DESTINATION
DES ACTEURS DES TRAVAUX PUBLICS



Pour aller plus loin :
www.myfrtp-normandie.fr



SOMMAIRE

▶ INTRODUCTION	3
▶ GISEMENTS	4
<i>Les limons</i>	6
<i>Les craies</i>	7
▶ AMÉLIORATION ET STABILISATION DES SOLS	8
Principes	8
<i>Sols limoneux</i>	9
<i>Sols crayeux</i>	9
<i>Amélioration des sols à la chaux</i>	10
<i>Stabilisation aux liants hydrauliques associée ou non à un prétraitement à la chaux</i>	11
Exécution de l'amélioration/stabilisation sur chantier	12
<i>Matériel</i>	12
<i>Modes d'exécution</i>	14
Amélioration/stabilisation en installation	15
<i>Traitement des matériaux bruts</i>	15
<i>Stockage des matériaux traités à la chaux</i>	16
▶ CARACTÉRISATION & CLASSIFICATION	17
Caractérisation environnementale des matériaux bruts	17
<i>Cas des matériaux naturels excavés</i>	18
<i>Cas des terres excavées en provenance de sites potentiellement pollués</i>	19
Caractérisation géotechnique des matériaux bruts	22
<i>Granularité</i>	23
<i>Argilosité</i>	23
<i>Masse volumique sèche d'un élément de roche</i>	24
<i>Teneur en eau</i>	24
<i>Indice de Portance Immédiate (IPI)</i>	25
<i>Classification des sols normands selon la norme NF P11-300</i>	26
Caractérisation géotechnique des matériaux traités	27
<i>Cas de l'amélioration par traitement à la chaux seule</i>	27
<i>Cas du traitement aux liants hydrauliques</i>	28
▶ DOMAINES & CONDITIONS D'EMPLOI	30
Cadre environnemental	30
<i>Cas des terres excavées naturelles ne provenant pas de sites potentiellement pollués</i>	30
<i>Cas des sols en provenance de sites potentiellement pollués</i>	30
Cadre géotechnique	30
<i>Remblais courants</i>	31
<i>Remblais de tranchées</i>	31
<i>Remblais contigus de murs de soutènement et de culées de ponts</i>	31
<i>Couches de forme</i>	31
<i>Assises de chaussées</i>	32
▶ LE COIN DU PRESCRIPTEUR	33
<i>Remblais généraux</i>	33
<i>Remblais de tranchées</i>	35
<i>Remblais techniques</i>	36
<i>Couches de forme ou d'assises de chaussées</i>	36
▶ BIBLIOGRAPHIE	38
<i>Guides techniques et notes d'informations</i>	38
<i>Normes</i>	39
<i>Remerciements</i>	40

INTRODUCTION

La région bénéficie d'une géologie des sols favorable à un usage in situ des matériaux en place à l'affleurement. Les limons plus ou moins argileux sont des formations géologiques superficielles très présentes en Normandie. Plus ou moins épaisses, elles recouvrent la craie dans les départements de l'Eure et de la Seine-Maritime.

Ces matériaux ont un fort potentiel de valorisation. Il convient de les utiliser à chaque fois que leurs atouts environnementaux et économiques jouent en leur faveur.

Ces sols peuvent être valorisés en l'état ou faire l'objet d'un "traitement par amélioration ou stabilisation" dans la cadre de la constitution d'ouvrages routiers ou de plateformes.

Le traitement en place, sur le chantier d'origine, est souvent le plus performant en termes environnementaux et économiques. Les excédents des sols qui ne peuvent pas être utilisés sur le chantier même peuvent être dirigés vers d'autres projets en passant si nécessaire par des plateformes de valorisation. Dans ce cas la distance de transport et ses nuisances environnementales associées sont des éléments importants qu'il faut aussi prendre en compte pour en valider l'intérêt. La valorisation des sols sera d'autant plus pertinente que les gisements de granulats traditionnels seront éloignés des chantiers et que leurs réserves seront limitées.

En mars 2000, deux guides techniques régionaux hauts normands, l'un dédié aux limons [1], l'autre dédié à la craie [2] ont été publiés pour formaliser l'expérience acquise dans le traitement de ces sols en technique routière. Ces documents ont été complétés en novembre 2009 par un guide technique relatif aux déblais de terrassements valorisés à la chaux [3] publié par l'Association Régionale pour l'Environnement du Bâtiment et des Travaux Publics (ARE BTP). Ce dernier identifiait un potentiel de trois millions de tonnes par an de matériaux naturels supplémentaires qui pouvaient être valorisés plutôt que d'être stockés en ISDI ou en décharges « sauvages ».

À RETENIR

- ▶ On entend par **amélioration** toute opération qui consiste à modifier à court terme par addition d'un liant, les propriétés physiques du sol telles que la teneur en eau naturelle, la plasticité, la sensibilité à l'eau et au gel, l'aptitude au compactage.
- ▶ On entend par **stabilisation** une opération consistant à modifier (généralement à moyen ou long terme) les caractéristiques du sol de manière à l'amener dans un état définitif de stabilité, en particulier vis-à-vis de l'action de l'eau et du gel, et à lui donner une résistance durable pouvant, le cas échéant, être mesurée par des essais typiques de matériaux solides.

I 3

Dans le nouveau contexte environnemental de ces dernières années, où la prévention des déchets et l'économie circulaire sont devenues des nécessités, voire des obligations, le présent manuel actualise les données, les modalités de réemploi ou de réutilisation des sols et craies en faisant référence aux documents nationaux, techniques et environnementaux, aujourd'hui en vigueur.

GISEMENTS

► La haute Normandie s'inscrit dans le vaste bassin sédimentaire du Bassin Parisien. Les terrains crayeux du Crétacé supérieur constituent le substratum immédiat de la majeure partie du territoire, souvent recouverts par des formations superficielles (argiles à silex et limons des plateaux).

La géologie de la basse Normandie appartient dans son intégralité à la plaque armoricaine même si, à l'Est, cette dernière disparaît sous les recouvrements du bassin parisien qui forment l'armature de vastes plateaux que nappent des dépôts d'argiles à silex et limons.

Géologie de la haute Normandie



Ère secondaire

- Jurassique moyen : calcaires, marnes
- Jurassique supérieur : marnes, calcaires, argiles, sables
- Crétacé inférieur : marnes, argiles, gaizes, sables
- Crétacé supérieur : craies, calcaires, marnes

Ère tertiaire

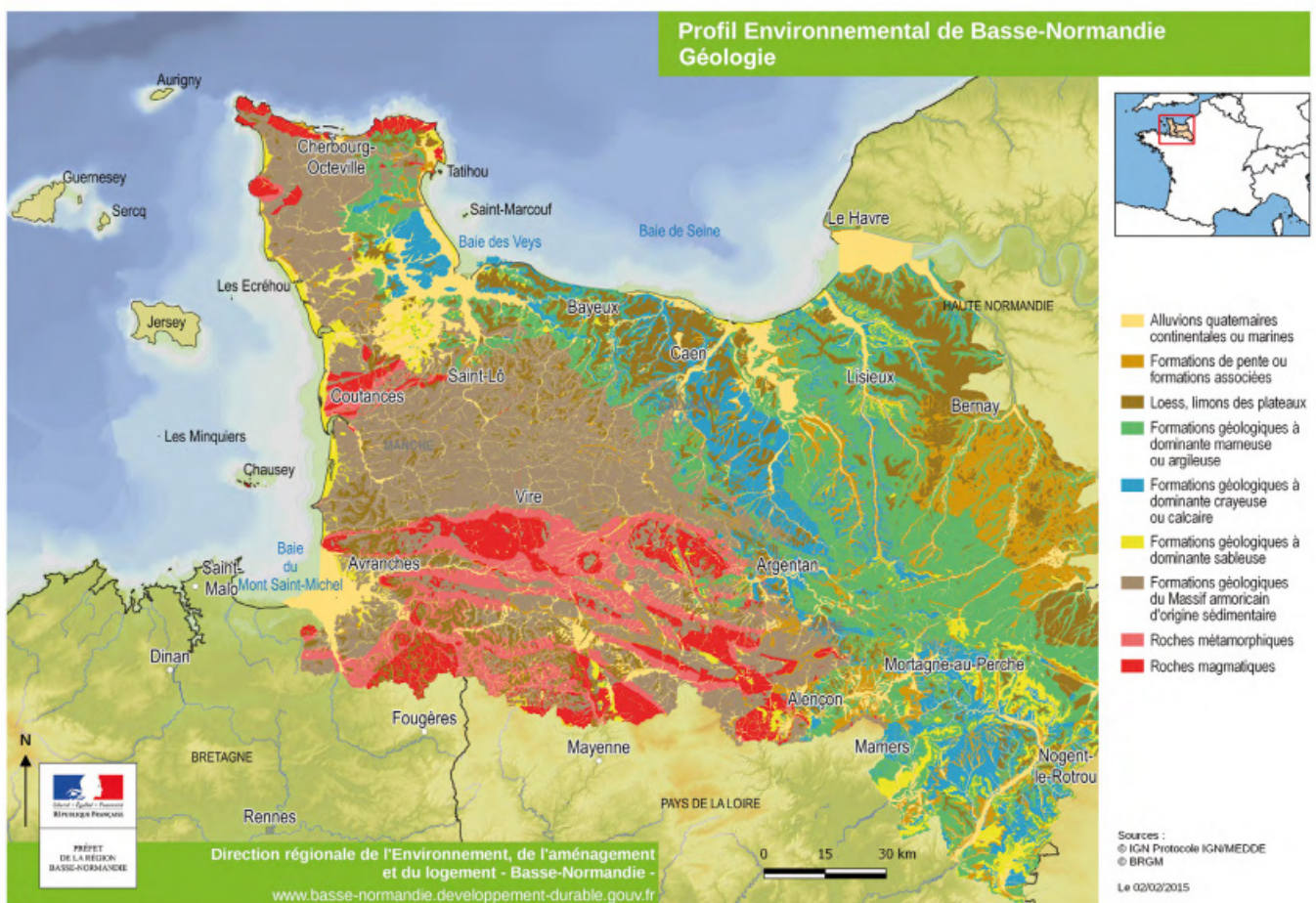
- Paléocène, éocène inférieur : sables, argiles
- Éocène moyen-supérieur : calcaires, sables, gypse
- Oligocène : marnes, calcaires, meulrières
- Pliocène : sables, cailloutis, argiles

Ère quaternaire

- Pléistocène inférieur : sables, cailloutis, galets, argiles
- Pléistocène moyen-supérieur : argiles, sables, graviers, galets
- Holocène : sables, argiles, graviers, galets

Les limons constituent la principale formation superficielle normande. Ils peuvent présenter des épaisseurs de quelques décimètres à une dizaine de mètres en fonction de la topographie et des conditions de mise en place.

La craie constitue le soubassement du plateau haut normand où elle est recouverte par l'argile à silex puis les limons et par endroit par des résidus de formations tertiaires.



LES LIMONS

► Les limons, qui à l'échelle d'un chantier peuvent apparaître comme une formation homogène, constituent dans le détail un ensemble stratigraphique complexe. Ils ont été mis en place à l'époque quaternaire suivant des cycles de dépôts successifs comprenant :



6 |

► Chantier de terrassement de limons

- A la base, **des limons argileux de solifluxion** (glissement en masse, sur un versant de la partie superficielle gorgée d'eau) de couleur brun rouge dont la nature est souvent influencée par celle du substratum,
- **Des limons éoliens beiges non remaniés** déposés en période froide et sèche. Plus récents, ils ont une structure litée, finement sableuse,
- **Des limons bruns** correspondant à une période de réchauffement.

Les limons sont constitués essentiellement de particules siliceuses, argileuses, parfois calcaires. Le pourcentage des matériaux argileux influe de façon importante sur les caractéristiques physico-chimiques du matériau,

notamment la sensibilité aux variations de teneur en eau et le comportement au traitement avec les liants utilisés dans les travaux publics.

Les limons sont des sols à texture fine où la fraction granulométrique inférieure à 0,08 mm est largement dominante (75 à 95%). La fraction argileuse (éléments inférieurs à 0,002 mm) est présente à raison de 10 à 25%. Ces matériaux sont maintenant bien connus en termes de comportement sur chantier et de performances à long terme, notamment associées à un traitement aux liants hydrauliques. Le guide régional datant de 2000 [1] en est l'illustration.

LES CRAIES

► **La craie est une roche d'origine marine, essentiellement constituée des restes d'organismes marins, en débris ou entiers, principalement des microfossiles.**

La craie constitue aujourd'hui le soubassement du plateau haut normand où elle est recouverte par l'argile à silex.

La craie affleure en falaises sur le littoral de Seine-Maritime, sur les rives de la Seine et sur près de la moitié supérieure des versants des autres vallées et des vallons secs qui prennent une couleur blanchâtre après les labours.

La stratigraphie de la craie peut être schématisée de la manière suivante :

- À la base, **la craie glauconieuse et sableuse du Cénomanién inférieur**, surmontée par la craie grise à silex du Cénomanién supérieur,
- Puis **la craie argileuse du Turonien**, en général pauvre en silex
- Enfin **la craie du Sénonien**, blanche, riche en silex surtout à la base.

L'ensemble de la série représente plus de 200 m d'épaisseur. Les épaisseurs des formations stratigraphiques sont variables d'un secteur à l'autre. Les formations supérieures ont plus ou moins disparu selon les effets de l'érosion et des déformations tectoniques.

La craie du Turonien peu épaisse dans la région havraise, est tendre et atteint près de 80 m dans la région de Rouen.

La craie du Sénonien est dure, parfois avec des lits quasi continus de gros silex, dans la région de Rouen, alors qu'elle peut être nettement plus tendre dans d'autres secteurs.

La craie se présente en bancs d'épaisseur variable, souvent fissurés (« *diaclasses* »), surtout sur la partie supérieure ou l'altération peut se développer sur plusieurs mètres. Ainsi les

couches superficielles de craie peuvent être plus ou moins profondément pénétrées par des puits et des poches d'argile à silex.

La craie présente généralement une couleur blanche à grise, composée à plus de 90% de carbonate de calcium CaCO_3 . Parmi les éléments secondaires qui s'y ajoutent en faible proportion on peut citer les sulfures de fer, les argiles et la silice, cette dernière étant souvent bien visible sous forme de silex cornus. Vis-à-vis de l'usage que l'on peut en faire, les craies présentent des caractéristiques physiques différentes suivant les proportions des éléments secondaires. L'empilement des particules de calcite est d'autant plus fragile que la porosité est grande ou, inversement, que la masse volumique sèche est faible.

Enfin il faut rappeler que la craie constitue un niveau aquifère très important, ce qui explique qu'elle peut être très humide.

| 7



► Falaise Côte d'Albâtre, Seine-Maritime

AMÉLIORATION & STABILISATION DES SOLS

PRINCIPES

► Les principaux documents nationaux de référence pour l'emploi, le réemploi ou la réutilisation des sols, matériaux rocheux et sous-produits sont :



1 Le guide technique « *Réalisation des remblais et des couches de forme* », dans sa version de juillet 2000, souvent cité sous l'abréviation GTR [4]



2 Le guide technique « *Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques, application à la réalisation des remblais et des couches de forme* » de janvier 2000, souvent cité sous l'abréviation GTS [5]



3 Le guide technique « *Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques, Application à la réalisation des assises de chaussées* » d'août 2007 [6]



4 Le rapport IDRRIM Enseignements de TerDOUEST [7] : Propositions de compléments au Guide Traitement des Sols.

8 |

Pour les remblais et les couches de forme, le GTR [4] donne la démarche qui permet, à partir de la caractérisation du matériau dont son état hydrique, de définir les conditions de son utilisation en fonction de la situation météorologique au moment de la mise en œuvre. Il dit en particulier quand le traitement de sol est nécessaire. Le GTR donne aussi les éléments quantitatifs permettant d'assurer le bon compactage.

Le GTS précise les conditions de traitement des sols, dont les études qui permettent de déterminer les dosages adéquats en chaux et/ou en liant hydraulique. Pour une couche de forme, le GTS en préconise l'épaisseur en fonction de sa performance attendue et de la qualité du sol support.

Sols limoneux

Les sols limoneux normands peu à moyennement argileux dits peu plastiques (de classe géotechnique A1 et A2) sont des matériaux sensibles aux variations hydriques dont la consistance change brutalement pour de faibles variations de teneur en eau (A1). Les limons et argiles normands sont le plus souvent dans un état hydrique humide à très humide qui, compte tenu des conditions météorologiques, ne permet généralement pas leur usage en l'état. Une amélioration de sols s'impose alors pour un usage en remblai courant.

Sols crayeux

Compte tenu de leur constitution, les craies sont des roches évolutives. Au cours des opérations de terrassement il y a formation d'une quantité de fines en relation directe avec la fragilité, elle-même liée à la densité sèche de la roche :

- Lorsque la teneur en eau est faible et/ou que la densité sèche de la craie est élevée, ce matériau devient rigide, très portant et d'autant plus difficile à compacter,



► Chantier de mise en œuvre de craie

- Inversement, lorsque la craie n'est pas de forte densité et proche de la saturation, voire saturée, l'eau contenue dans les pores se communique aux fines produites, leur conférant le comportement d'une pâte de faible consistance s'étendant rapidement à l'ensemble du matériau. Il devient alors difficile de circuler et de réaliser un bon compactage.

Par beau temps, et plus exactement sous des conditions météorologiques favorables à l'évaporation, il est parfois possible d'éviter le traitement des craies ou des limons pour une simple utilisation en remblai de ces matériaux à l'état hydrique h. Pour cela il faut respecter certaines conditions d'utilisations comme l'« *aération* », l'« *extraction en couches* », le remblayage en « *couches minces* » et le « *compactage moyen* ». Toutes ces conditions sont définies dans le GTR.

Toutefois en Normandie les jours propices à l'évaporation ne sont pas nombreux en dehors de la période la plus estivale. Cela conduit le plus souvent à préconiser un traitement d'amélioration avec un liant approprié pour assurer une mise en œuvre satisfaisante (extraction, régilage, compactage).

Pour la stabilisation à moyen et à long terme nécessaire pour certaines parties d'ouvrages, le traitement aux liants hydrauliques des **sols limoneux** et des **craies** devient obligatoire pour assurer leur tenue durable à l'eau et/ou au gel, ou pour atteindre des performances mécaniques minimales imposées par le dimensionnement mécanique des ouvrages.

Amélioration des sols à la chaux

► **Le plus souvent, la chaux aérienne vive est le liant le plus adapté pour l'objectif d'amélioration de l'état hydrique et ainsi de la portance.**

Cette amélioration résulte d'une réduction de la teneur en eau du matériau sous les effets de la chaux (réaction chimique et exothermique de la chaux vive en présence d'eau) et d'une floculation des argiles qui rend le matériau plus granuleux.

Pour la réutilisation des sols en remblai, le GTS fixe les valeurs seuils inférieures de l'IPI en deçà desquelles le traitement des sols peut être envisagé, les objectifs à atteindre avec le traitement et les valeurs maximales d'IPI mesurées sur le sol traité au-delà desquelles le traitement peut être réduit ou arrêté (voir coin du prescripteur).

Cas des sols plus ou moins argileux

L'intérêt de l'amélioration des sols argileux par traitement à la chaux est de pouvoir les utiliser dans des conditions de mise en œuvre maîtrisées, d'augmenter considérablement leurs performances en termes de portance et de les pérenniser quand l'usage l'impose.

Selon les derniers enseignements obtenus dans le cadre du projet TerDOUEST (rapport IDRRIM « enseignements de TerDOUEST » [7], le traitement à la chaux conduit à une floculation des colloïdes argileux (les ions calcium Ca^{2+} de la chaux interagissent avec les feuillets d'argile) qui réduit immédiatement l'argilosité du matériau et s'accompagne d'une baisse notable de sa teneur en eau.

10 |

Cela se traduit par une élévation importante de la limite de plasticité du sol (diminution de l'Indice de plasticité), pouvant faire passer un sol plastique, déformable, collant, en un mélange « solide », apte aux opérations de terrassements. Une augmentation de la portance du sol (augmentation de l'IPI), de la teneur en eau optimale et une diminution de la densité maximale Proctor (aplatissement de la courbe Proctor) se produisent également.

A plus long terme, selon l'importance de l'argilosité du sol, un processus chimique complexe contribue au développement de phases cimentaires.

C'est pour cela que dans un premier temps on parle d'amélioration des caractéristiques d'un sol (court terme) puis le cas échéant de stabilisation, état dans lequel le matériau développe une résistance mécanique durable (long terme).

En cas de présence de gros éléments une élimination des éléments supérieurs à 200 mm peut s'avérer nécessaire.

Cas de la craie

Le processus est différent pour les sols crayeux.

Dans un premier temps, la chaux vive assèche les nodules de craie pour se transformer en chaux éteinte $\text{Ca}(\text{OH})_2$ qui se combine dans un deuxième temps avec les bicarbonates (eau bicarbonatée calcique - obtenue par la solubilisation du CO_2 et des ions Ca^{+} dans l'eau) pour former du CaCO_3 (carbonatation) et ainsi créer de nouvelles liaisons entre les nodules de craie.



Stabilisation aux liants hydrauliques associée ou non à un prétraitement à la chaux

► **Le prétraitement à la chaux n'est pas systématique pour les sols peu argileux et pour la craie dans un état hydrique satisfaisant. C'est l'étude de traitement en laboratoire visant à optimisation du dosage en liant qui dira si ce prétraitement est nécessaire en fonction de la teneur en eau initiale du matériau et des performances mécaniques visées.**

Pour les sols fins plus ou moins argileux, ainsi que pour la craie, les caractéristiques mécaniques peuvent être fortement majorées par ajout supplémentaire de ciment ou de liant hydraulique routier (LHR), ceci essentiellement pour des usages en couche de forme ou en assises de chaussées.

Les guides techniques précédemment cités [5] [6] sont les premiers documents de référence. En plus on peut citer les normes suivantes pour les traitements de sols en assises de chaussées :

► **NF EN 14227-11**, *Mélanges traités aux liants hydrauliques - Spécifications partie 11 : Sols traités à la chaux*. Cette norme concerne essentiellement l'amélioration par prétraitement à la chaux avant traitement au liant hydraulique. [N1]

► **NF EN 14227-15**, *Mélanges traités aux liants hydrauliques - Spécifications partie 15 : Sols traités aux liants hydrauliques* [N2]



► Stabilisation à la chaux des limons

EXÉCUTION DE L'AMÉLIORATION/STABILISATION SUR CHANTIER

► **Ce type de traitement est réalisé couramment depuis de très nombreuses années. Il est plutôt adapté aux chantiers où les matériels roulants de traitement doivent pouvoir évoluer avec suffisamment d'aisance.**

Le matériel

Le matériel de traitement en place a beaucoup évolué ses vingt dernières années tant pour le matériel d'épandage qui dose le liant au sol, que pour le matériel de malaxage qui assure le mélange du sol avec le liant préalablement répandu. Ces matériels sont très mobiles, certains pouvant même se déplacer seuls d'un chantier à l'autre et ceci d'une journée à l'autre pour pouvoir aussi appliquer la technique sur des chantiers de faible ampleur.



► Atelier autonome de traitement de sol et de retraitement de chaussée :
Epandeur de liant pulvérulent tractant le pulvérisateur.

Pour une simple amélioration des sols il est possible de faire appel à des matériels plus simples, comme les charrues à socs ou à disques, tel qu'indiqué au chapitre 4.3 partie A du GTS [5].

Pour une stabilisation avec emploi en couche de forme, on privilégie l'emploi d'épandeurs à dosage volumique avec contrôle pondéral et asservissement à la vitesse de déplacement, ainsi que des pulvérisateurs de sol à cloche fermée.

Pour une stabilisation avec emploi en couche d'assise, les caractéristiques des matériels d'épandage et de malaxage spécifiées par le guide technique sur le traitement de sols appliqué à la réalisation des assises de chaussées [6] sont indiquées ci-dessous :

Critères		Note des critères pour l'épandage des liants		
		3	2	1
C	Homogénéité d'épandage du liant (en %)	Cv ≤ 5	5 ≤ Cv ≤ 10	Cv > 10
V	Possibilité de faire varier la Largeur d'épandage	OUI	NON	NON

► Notation des critères pour l'épandage des liants (tableau 29 du guide [6])

Pour les assises de chaussées, la norme **NF P98-115 [N3]** exclut les matériels de note 1 pour l'homogénéité d'épandage.

Critères		Note des critères pour l'épandage des liants		
		3	2	1
H	Homogénéisation du matériau avec le ou les liants	Homogénéisation verticale et transversale (malaxeur associé)	Homogénéisation verticale uniquement	Homogénéisation limitée
E	Maîtrise de l'épaisseur traitée	Réglage et contrôle de l'épaisseur avec fonction supplémentaire de maintien à la profondeur ⁽¹⁾	Réglage et contrôle de l'épaisseur	Réglage de l'épaisseur
I	Possibilité d'injecter l'eau dans la chambre de malaxage	Pompe à débit variable asservi à la translation et rampe de largeur variable	Pompe à débit variable asservi à la translation	Pas d'asservissement
L	Dosage du liant sous forme de suspension (eau + liant hydraulique)	Pompe à débit variable asservi à la vitesse de translation ou au poids de matériau traité + débitmètre (eau) et pesée (liant)	Pompe à débit variable asservi à la vitesse de translation ou au poids de matériau à traiter + compteur volumétrique	Pompe à débit variable non asservi

(1) La fonction de maintien à la profondeur de la chambre de malaxage empêche la remontée de celle-ci en cas d'augmentation trop importante du couple de rotor. La remontée du rotor ne peut se faire que manuellement par le conducteur.

► Notation des critères de malaxage en place (tableau 29 du guide [6])

En couche de forme comme en assise de chaussées, la stabilisation en place s'accompagne généralement d'un apport d'eau délivré à partir d'arroseuses. Les arroseuses enfouisseuses sont à privilégier. Pour les assises de chaussées elles peuvent remplacer le dispositif d'injection d'eau dans la chambre de malaxage. Les arroseuses à queue de carpe ne sont acceptées qu'en stabilisation pour couche de forme ainsi qu'en traitement d'amélioration dans le cadre des terrassements généraux.

Modes d'exécution

► Le traitement est réalisé soit à l'emplacement d'extraction, soit à l'emplacement de l'usage définitif, voire pour partie à l'extraction (prétraitement à la chaux par exemple) et pour autre partie à l'emplacement définitif (à préférer pour le traitement au liant hydraulique) :

- **Traitement au déblai** : le sol est traité puis chargé et transporté sur le lieu de réemploi (sur le chantier même) ou sur le lieu de réutilisation,
- **Traitement au remblai** : le sol naturel issu d'un déblai est régalé sur le lieu de réemploi ou de réutilisation, puis il est traité couche par couche au fur et à mesure de la montée du remblai,
- **Traitement en place** : les sols naturellement présents en fond de déblai ou en profil rasant sont traités en une ou plusieurs couches afin de constituer les arases de terrassement, ou la couche de forme, voire la couche de fondation/forme,
- **Traitement sur des matériaux rapportés** (plus particulièrement dans le cas des couches de forme ou d'assises de chaussées) : le prétraitement à la chaux est réa-

lisé préférentiellement au déblai ou sur un stock tampon, puis le traitement aux liants hydrauliques est réalisé en place après avoir laissé un délai suffisant (6h à 24h) pour que l'hydratation de la chaux soit achevée.

La méthodologie générale comprend le traitement proprement dit, avec l'épandage du liant suivi du malaxage avec le sol, si nécessaire complété par une humification. Sont associés ensuite les opérations de réglage, de fermeture, de compactage et de protection superficielle de la couche traitée.

Le GTS détaille les différentes phases d'un traitement sous la forme de synoptiques donnés dans la figure C2-1b partie C du GTS [5].

14 |



► A titre d'exemple, de gauche à droite on peut identifier : l'épandage du liant, le malaxage, le compactage avant réglage fin.

AMÉLIORATION/STABILISATION EN INSTALLATION

► **La nature des terres recyclées en installation mobile ou fixe dépend de la géologie de la région ou du chantier d'où elles sont issues.**

La majorité des terres produites annuellement provient des chantiers de Voirie et Réseaux Divers (VRD) et des travaux d'excavation sur des chantiers routiers (chaussées et tranchées) pour lesquels les terrassements restent proches de la surface. On retrouve donc globalement les mêmes matériaux naturels que ceux traités en place, éventuellement mélangés avec des matériaux de déconstruction. Toutefois les matériaux d'excavations issus de sites ou ouvrages remaniés doivent être étudiés sous l'angle de l'acceptabilité environnementale.

Traitement des matériaux bruts

En général, le traitement comprend :

- le scalpage des entrants généralement avec des grilles à barreaux fixes, des scalpeurs à doigts ou des cribles à disques ou à étoiles.
- le malaxage, émottage avec la chaux
- le criblage pour l'obtention d'un sol dont les plus gros grains sont souvent limités à moins de 30 mm ($D_{max} \leq 31.5$ mm).
- Eventuellement, un second malaxage pourra être réalisé avec le liant hydraulique dans le cas d'une valorisation en couche de forme ou en assise de chaussées ou de plateforme

L'ordre des phases de traitement reste du choix de l'industriel. Il est lié à la nature et à l'état hydrique du matériau entrant et aux matériels utilisés pour le traitement.

+ Scalpage

Le scalpage est destiné à éliminer les éléments de forte granulométrie incompatibles avec la suite du process.

+ Criblage émottage

L'objectif de cette phase d'élaboration est l'obtention d'un matériau dont la granularité maximale est maîtrisée. Cette opération permet également une certaine homogénéisation.

+ Malaxage(s) avec le(s) réactif(s)

Le malaxage consiste à mélanger aux terres de la chaux, dont la quantité est déterminée lors de l'étude de formulation. Le malaxage doit permettre de réduire le caractère argileux du matériau et de corriger sa teneur en eau finale.

Le matériau ainsi chaulé peut être stocké avant un éventuel second traitement au liant hydraulique nécessaire pour certains usages en particulier en couche de forme et en assise de chaussée.

| 15



Le prétraitement à la chaux peut être réalisé avec des équipements spécifiques tels qu'un godet cribleurs à étoiles ou à disque monté sur une pelle hydraulique ou un chargeur, le dosage en chaux étant alors assuré par une petite unité de stockage et d'alimentation conçue pour cela. Ces équipements sont le plus souvent employés sur des plateformes temporaires de chantiers. Ces plateformes peuvent toutefois accueillir des installations semi-mobiles qui peuvent être aussi performantes que les centrales installées sur des plateformes fixes.

Sur les plateformes fixes de recyclage, les malaxages sont faits le plus souvent avec un malaxeur à pales, dont les caractéristiques et les réglages doivent permettre un mélange homogène et efficace pour que la chaux au premier traitement, et éventuellement le liant hydraulique au second traitement, agissent bien sur la totalité du matériau.

Un dispositif d'ajout d'eau est nécessaire pour adapter la teneur en eau des matériaux trop secs, généralement lors du second traitement au liant hydraulique.



16 |

► Traitement en installation mobile

Stockage des matériaux traités à la chaux

► Le stockage des produits finis ou semi-finis est une étape importante. Il doit contribuer à l'homogénéisation du produit final, notamment en croisant les modes de stockage et déstockage.

Les aires de stockage sont à minima stabilisées et doivent permettre un bon écoulement des eaux de surface afin d'éviter une stagnation des eaux en pied de talus. Le stock doit être lissé avec une pente et éventuellement fermé par un léger serrage. Afin d'améliorer les caractéristiques géotechniques du produit final, il est recommandé de permettre un murissement du mélange conduisant à une modification de la minéralogie de l'argile. Les performances alors obtenues après un temps de stockage de quelques mois sont supérieures à celles obtenues immédiatement après traitement.

CARACTERISATION & CLASSIFICATION

► **Les caractérisations de base doivent être assurées par le producteur, elles permettent d'identifier le matériau, et de savoir s'il est possible d'envisager un réemploi ou une réutilisation⁽¹⁾. Pour une réutilisation, elles fourniront les informations minimales nécessaires pour un acquéreur potentiel. Ce dernier pourra les vérifier et devra les compléter par d'autres caractérisations propres à l'usage qu'il pourrait faire du matériau.**

Pour une réutilisation, les caractérisations environnementales et géotechniques sur le matériau excavé brut vont aujourd'hui de pair. Si la réutilisation est confirmée par le receveur, celui-ci devra faire quelques vérifications sur ce qu'il réceptionne, les vérifications organoleptiques et documentaires à la réception étant le minimum. L'identification visuelle à la bascule et/ou au déchargement doit être assurée par une personne expérimentée.

Dans le cas d'un passage par plateforme de recyclage, il y est réalisé une première réception à son arrivée. La sélection visuelle doit permettre de reconnaître le sol sélectionné au préalable et, si nécessaire, de séparer les

déblais les plus argileux et les plus humides nécessitant un traitement préalable et de refuser tout autre déchet non conforme aux critères d'acceptation. Puis il est fait après traitement, des caractérisations essentiellement géotechniques sur le matériau traité alors dit "*matériau alternatif*" quand il n'est encore qu'un constituant d'un matériau routier, ou dit "*matériau routier*" quand il est déjà apte à être mis en œuvre en l'état sur les chantiers routiers de destination finale. Le receveur final fera ensuite ses propres vérifications et assurera les caractérisations supplémentaires s'il assure lui-même un dernier traitement pour aboutir au matériau routier qu'il souhaite.

| 17

CARACTÉRISATION ENVIRONNEMENTALE DES MATÉRIAUX BRUTS

► **Les terres excavées inertes réutilisables, si nécessaire moyennant un tri et un traitement « *suyant les meilleures technologies disponibles à un coût économiquement acceptable* », peuvent être envoyées soit vers un autre chantier d'accueil qui en a le besoin, soit vers des plateformes de transit et/ou regroupement et/ou des centres de traitement. Les excédents de terres excavées inertes qui n'ont pas pu trouver d'usage sont envoyés en Installation de Stockage de Déchets Inertes (ISDI).**

Pour rappel, tout producteur de déchets qui s'en défait est responsable de la gestion de ces déchets jusqu'à leur élimination ou valorisation finale, conformément à l'article L541-2 du Code de l'Environnement.

Il faut donc déterminer les caractéristiques environnementales du matériau pour pouvoir le valoriser ou l'éliminer là où cela est autorisé. Tout volume de terres excavées supérieur à 50 m³ est soumis aux procédures de traçabilité.

⁽¹⁾ voir définitions dans le livret commun

Cas des matériaux naturels excavés

► Il s'agit ici des dépôts géologiques naturels hors sites potentiellement pollués

D'un point de vue environnemental, ce sont généralement des terres inertes pour lesquels il y a peu de questions à se poser pour le réemploi sur place et quelques vérifications à faire pour la réutilisation sur un autre chantier, en passant ou pas par une plateforme de recyclage.

A la date de rédaction du présent manuel, un travail collaboratif piloté par le CEREMA et la FNTP/UMTM, où participent toutes les instances professionnelles concernées, est en cours pour cadrer la valorisation des «*matériaux naturels excavés*» en techniques routières et dans les projets d'infrastructures linéaires. Il a pour objectif de donner un cadre aux démarches permettant de réutiliser les matériaux d'un chantier A vers un chantier B, en apportant aux maîtres d'ouvrage concernés les garanties nécessaires tant en exigences environnementales qu'en exigences géotechniques. Il doit clarifier les relations avec les autres guides (celui relatif aux terres excavées issues de sites et sols potentiellement pollués, le GTR, le GTS...)

Le travail d'élaboration du guide sur les terres excavées naturelles n'est pas suffisamment

avancé pour en citer des extraits dans le présent manuel.

En attendant la sortie de ce guide il faut considérer que les terres excavées sorties et cédées à une plateforme de recyclage ou un autre chantier sont des déchets et sont donc concernées par la réglementation qui les cadrent dont :

- **La mise en place de la traçabilité** (bordereaux de suivi, registre des enlèvements)
- **La caractérisation environnementale** en cas de moindre suspicion sur le caractère inerte du matériau excavé.

Il convient donc au minimum de vérifier l'historique du site et de disposer des résultats d'une reconnaissance des matériaux par sondages avant de décider d'une valorisation des terres excavées. Il faut être prudent si on relève des traces de remblais plus ou moins récents.

S'il est bien inerte, le matériau excavé doit être classé dans la rubrique déchets de code 17 05 04 («*terres et cailloux autres que ceux visés à la rubrique 17 05 03*»)

18 |

Il est ici conseillé de rédiger une fiche d'information sur le matériau naturel excavé :

- Les sources et origines géographiques du déblai et l'évaluation de l'importance du gisement ;
- L'apparence du déblai/matériau : odeur, couleur, forme, etc.
- Dénomination géotechnique du matériau
- Le code déchet à 6 chiffres (*théoriquement 17 05 03*)
- Le rappel du caractère inerte du matériau, avec la nature des informations qui ont permis ce classement ;
- Le procédé produisant le déblai
- L'information sur un éventuel traitement avant transfert (exemple : traitement à la chaux).

Des informations complémentaires peuvent être apportées sur la présence éventuelle de minéraux susceptibles d'entraîner des variations de pH, de potentiel d'oxydoréduction ou la formation de composés indésirables (réactivité), en particulier : chaux libre, magnésie, aluminium métal, sulfures, sulfates. Les informations données dans le présent chapitre sont indicatives.

Il faudra se référer au futur guide sur les « terres excavées naturelles » dès sa parution. Ce guide, dont le nom est susceptible de changer, devrait être publié par le CEREMA.

S'il y a suspicion ou si le caractère non inerte est avéré, il faut nécessairement suivre la démarche relative aux terres excavées en provenance de sites potentiellement pollués.

Cas des terres excavées en provenance de sites potentiellement pollués

▶ **Pour celles-ci, le document de référence est le « Guide de valorisation hors site des terres excavées issues de sites et sols potentiellement pollués dans des projets d'aménagement » initié par le BRGM et publié en novembre 2017 dans sa dernière version [8].**

Ce guide expose les règles et les modalités de caractérisation à respecter en présence de sols potentiellement pollués dans le cas où on envisage de les valoriser hors site dans le cadre de projets d'aménagement, et uniquement pour cela.

Les analyses sont à réaliser sur les terres à excaver ou excavées.

On ne peut pas préciser ici tout le contenu du guide [8]. Il faut s'y référer pour le mettre en application correctement. On ne présente ci-après que les principales modalités et principes pour les cas le plus simples à traiter.

Le guide distingue trois niveaux d'approche dont les deux premiers sont :

→ **Le niveau 1**, d'approche dite « nationale », qui définit une **quantification chimique** à réaliser sur brut pour une liste d'**éléments traces métalliques**, de **composés organiques persistants** et d'**autres substances organiques** présents dans le sol du site d'excavation. Pour chacun d'eux, le

guide [8] définit des seuils (voir tableaux 1 et 2 page suivante) en dessous desquels la valorisation hors site est possible sans faire d'avantage d'étude environnementale.

→ **Le niveau 2**, d'approche dite « locale urbaine ». Il doit être considéré lorsque le dépassement d'un ou plusieurs des précédents seuils est constaté.

La première partie de cette approche consiste à **comparer** les deux groupes de concentrations suivants :

- les **concentrations** de ou des **élément(s) traces métalliques** et du ou des composé(s) **organique(s) persistant(s)** dépassant les seuils, et uniquement ceci, présent(s) dans le **sol excavé**
- les **concentrations de la ou des même(s) substance(s)** présente(s) dans le **fond pédo-géochimique local du site d'accueil**.

Pour connaître ces dernières concentrations on utilise les bases de données régionales ou urbaines quand elles existent.

Si cette comparaison montre que les teneurs en éléments traces métalliques et composés organiques persistants sont inférieures au fond pédo-géochimique local ou régional **1**, et à condition que les valeurs seuils relatives aux autres composés organiques présentées dans le tableau 2 du guide **[8]** soient respectées **2**, les terres excavées peuvent être valorisées hors site selon les usages présentés au chapitre "Domaines et conditions d'emploi" du présent manuel.

Si l'une des conditions **1** ou **2** n'est pas respectées ou s'il y a suspicion d'une autre pollution que les substances indiquées dans les tableaux 1 et 2, consulter le Guide de valorisation hors site des terres excavées issues de

sites et sols potentiellement pollués **[8]** pour connaître la suite de la démarche, des caractérisations et études indispensables pour juger si la valorisation sera toutefois possible.

En cas de présence excessive de substances polluantes interdisant la valorisation, les sols doivent être envoyés vers l'installation de stockage définitif adéquate fonction du niveau de pollution du sol : soit vers une Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (mais non inertes) (ISDND), soit une Installation de Stockage de Déchets Dangereux (ISDD). Des seuils d'acceptation sont définis pour tous ces sites (suivant arrêtés préfectoraux propres à chacune de ces installations).

Tableau 1 : Liste des valeurs seuils de niveau 1 pour les éléments traces métalliques et les composés organiques persistants

Famille	Substance	Valeurs seuils de niveau 1 (mg/kg MS, analyse en contenu total)
Éléments traces métalliques	As	25
	Ba*	100
	Cd	0,4
	Co*	20
	Cr1	90
	Cu	40
	Hg1	0,1
	Mo*	1,5
	Ni	60
	Pb	50
	Sb*	1
	Se*	0,7
Composés organiques persistants	PCB (somme des 7 congénères)	0,2
	Dioxines/furannes*	2 ng/kg MS (exprimé en TEQ OMS 1998 (nd=LQ) et hors contribution PCB-dl)
	Somme des 16 HAP2	10

* Les substances comportant un astérisque ne sont pas vérifiées systématiquement mais éventuellement recherchées en fonction des résultats de l'étude historique et documentaire.

¹ En cas de présence de Cr(VI) ou de mercure organique, il sera nécessaire d'adopter une démarche de niveau 3 et de ne pas prendre en compte les valeurs proposées dans ce tableau.

² Le naphtalène fait également l'objet d'une valeur seuil spécifique présentée dans le tableau 2. Les valeurs seuils définies pour les PCB concernent les 7 congénères : PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153, et 180.

Tableau 2 : Liste des valeurs seuils de niveau 1 pour les substances organiques

Famille	Substance	Valeurs seuils (mg/kg MS, en contenu total)
HC	Hydrocarbures C5-C10	40
	Hydrocarbures C10-C40	50
BTEX	Benzène	0,05
	Somme des TEX (Toluène, Ethylbenzène, Xylènes)	1,5
COHV	Tétrachloroéthylène	0,2
	Trichloroéthylène	0,1
	Cis-Dichloroéthylène	0,1
	Chlorure de vinyle	0,1
HAP	Naphtalène	0,1

Nota : il s'agit de listes a minima qui ne dispensent pas d'évaluer chaque situation au cas par cas, lors d'une suspicion de pollution.



CARACTÉRISATION GÉOTECHNIQUE DES MATÉRIAUX BRUTS

▶ **Lors de la phase conceptuelle d'un projet de VRD, il est nécessaire de procéder à la reconnaissance préalable des matériaux du site, avec au minimum une reconnaissance visuelle à l'aide d'une pelle hydraulique, avec prélèvements d'échantillons, identifications et mesures d'état hydrique ou de préférence par une étude géotechnique préalable de type G1.**

Il s'agit ici de caractériser le gisement d'un point de vue géotechnique.

L'étude de caractérisations comprend au minimum :

- + **L'identification de nature géotechnique** (classement selon nature). Il s'agit de la granularité et de l'argilosité pour les limons, et la masse volumique sèche d'un élément de roches pour les craies
- + **La caractérisation de l'état hydrique** soit par comparaison de la teneur en eau naturelle du sol par rapport à sa teneur en eau optimale issue de l'étude PROCTOR, soit par mesure de l'Indice de Portance Immédiate (IPI)

Si nécessaire, elle peut être complétée par :

- + **La quantification des teneurs en éléments chimiques et organiques** préjudiciables au traitement (sulfates, matières organiques...)
- + **La mesure de l'aptitude au traitement** si la caractérisation montre que la portance est insuffisante à l'état naturel pour en permettre l'usage et/ou si l'usage (emploi, réemploi ou réutilisation) nécessite une stabilisation et l'obtention de performances mécaniques minimales (cas d'un usage en couche de forme ou en assises de chaussées)

UTILE

Les documents de référence pour classer les matériaux suivant leurs propriétés vis à vis de leurs usages, en particulier en remblais et en couche de forme sont :

- **Le Guide technique** *Réalisation des remblais et des couches de forme*, fascicules 1 et 2, version 2000 [4], souvent cité sous l'abréviation GTR.
- **La norme française** *NFP11-300* [N4] qui reprend la classification du chapitre 1 du fascicule 2 du GTR

Granularité

► La granularité permet de quantifier trois paramètres essentiels pour la définition d'un sol : le D_{max} , le tamisat à 80µm, le tamisat à 2 mm.

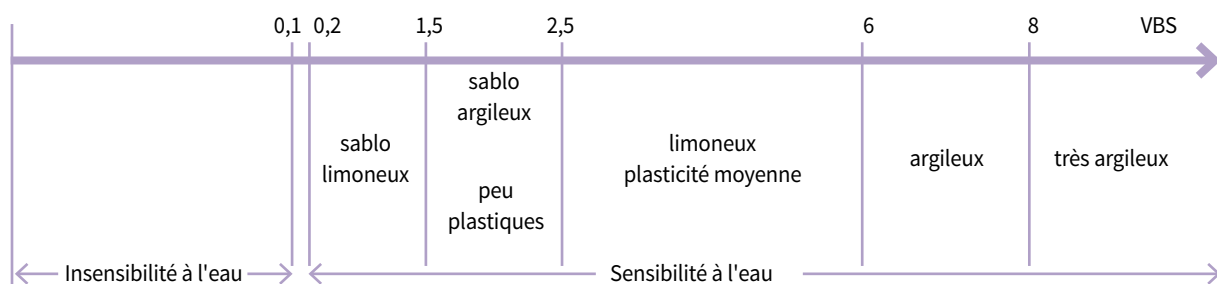
Les normes de référence sont :

- **NF P94-040** « Sols : reconnaissance et essais - Méthode simplifiée d'identification de la fraction 0/50 mm d'un matériau grenu - Détermination de la granulométrie et de la valeur de bleu. » [N5]
- **NF EN ISO 17892-4** « Reconnaissance et essais géotechniques - Essais de laboratoire sur les sols - Partie 4 : Détermination de la distribution granulométrique des particules ». [N6]

L'argilosité

► L'argilosité d'un sol est aujourd'hui couramment appréciée par la mesure de la valeur au bleu d'un sol (VBS), quantifiée sous la forme d'une quantité de bleu de méthylène s'adsorbant sur les surfaces externes et internes des particules du sol.

Cette argilosité a une incidence directe avec la sensibilité à l'eau du matériau, comme l'illustre le tableau qui suit.



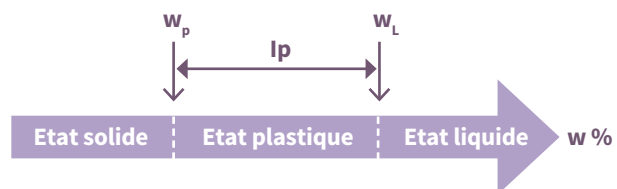
23

Les normes de référence pour cet essai sont :

- **NF P94-040** « Sols : reconnaissance et essais - Méthode simplifiée d'identification de la fraction 0/50 mm d'un matériau grenu - Détermination de la granulométrie et de la valeur de bleu. » [N5]
- **NF P94-068** « Sols : reconnaissance et essais - Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux - Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tâche ». [N7]

Lorsque les valeurs au bleu sont importantes il est intéressant de compléter la caractérisation du sol avec la mesure d'indice de plasticité

(I_p) qui s'adresse préférentiellement aux sols fins. Cet indice correspond à l'écart de teneur en eau entre celle de la limite supérieure de l'état solide (w_p) et celle de la limite inférieure de l'état liquide w_L .



La norme de référence est **NF P94-051** : « Sols : reconnaissance et essais - Détermination des limites d'Atterberg - Limite de liquidité à la coupelle - Limite de plasticité au rouleau. ». [N8]

La masse volumique sèche d'un élément de roche

► Cette caractérisation est nécessaire pour classer la craie suivant sa masse volumique sèche mesurée à l'échelle du bloc.

Le comportement de la craie à la mise en œuvre est lié à cette densité et à la capacité d'absorption d'eau qui en découle.

La norme de référence est **NF P94-064** : « Sols : reconnaissance et essais - Masse volumique sèche d'un élément de roche - Méthode par pesée hydrostatique » [N9].

La teneur en eau

► La teneur en eau seule ne permet pas de définir l'état hydrique d'un matériau.

Pour un sol limono-argileux, il faut comparer cette teneur en eau naturelle (W_n) avec la teneur en eau dite optimale (W_{OPN}) définie lors d'une étude Proctor complète de ce sol. La classification hydrique du sol est alors fonction de l'écart relatif en la teneur en eau naturelle et la teneur en eau optimale.

L'approche est différente pour les craies. La norme **NF P11-300 [N4]** définit des plages de teneurs en eau pour les sous classes de craie dites "de densité moyenne" et "peu dense" ; elle attribue un état hydrique à chacune de ces plages.



► Equipements pour la caractérisation de l'état hydrique par IPI précédé du compactage Proctor.

La norme de référence pour **la mesure de teneur en eau** est :

→ **NF P94-050** « Sols : reconnaissance et essais Méthode simplifiée d'identification de la fraction 0/50 mm d'un matériau grenu Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux » [N10].

La norme de référence pour **l'essai Proctor** est :

→ **NF P94-093** « Sols : reconnaissance et essais - Détermination des références de compactage d'un matériau - Essai Proctor Normal - Essai Proctor modifié » [N11].

L'Indice de Portance Immédiate (IPI)

► C'est le second paramètre qui peut être utilisé pour déterminer l'état hydrique d'un sol.

Il n'est pertinent que pour différencier les états très humide (th) à moyen (m).

La norme de référence de cet essai est :

→ **NF P94-078** « Sols : reconnaissance et essais - Indice CBR après immersion. Indice CBR immédiat. Indice Portant Immédiat - Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR. » [N12].

→ La norme **NF P11-300** [N4] définit les plages d'IPI auxquelles les états hydriques th à m sont associés pour chacun des sols fins sensibles à l'eau.

Classement selon l'état hydrique	
Paramètres et valeurs de seuils retenus	Sous-classe
$IPI \leq 3$ ou $w_n \geq 1,25 w_{OPN}$	A ₁ th
$3 < IPI \leq 8$ ou $1,10 w_{OPN} \leq w_n < 1,25 w_{OPN}$	A ₁ h
$8 < IPI \leq 25$ ou $0,9 w_{OPN} \leq w_n < 1,10 w_{OPN}$	A ₁ m
$0,7 w_{OPN} \leq w_n < 0,9 w_{OPN}$	A ₁ s
$w_n < 0,7 w_{OPN}$	A ₁ ts
$IPI \leq 2$ ou $lc \leq 0,9$ ou $w_n \geq 1,3 w_{OPN}$	A ₂ th
$2 < IPI \leq 5$ ou $0,9 < lc \leq 1,05$ ou $1,1 w_{OPN} \leq w_n < 1,3 w_{OPN}$	A ₂ h
$5 < IPI \leq 15$ ou $1,05 < lc \leq 1,2$ ou $0,9 w_{OPN} \leq w_n < 1,1 w_{OPN}$	A ₂ m
$1,2 < lc \leq 1,4$ ou $0,7 w_{OPN} \leq w_n < 0,9 w_{OPN}$	A ₂ s
$lc > 1,4$ ou $w_n < 0,7 w_{OPN}$	A ₂ ts
$IPI \leq 1$ ou $lc \leq 0,8$ ou $w_n \geq 1,4 w_{OPN}$	A ₃ th
$1 < IPI \leq 3$ ou $0,8 < lc \leq 1$ ou $1,2 w_{OPN} \leq w_n < 1,4 w_{OPN}$	A ₃ h
$3 < IPI \leq 10$ ou $1 < lc \leq 1,15$ ou $0,9 w_{OPN} \leq w_n < 1,2 w_{OPN}$	A ₃ m
$1,15 < lc \leq 1,3$ ou $0,7 w_{OPN} \leq w_n < 0,9 w_{OPN}$	A ₃ s
$lc > 1,3$ ou $w_n < 0,7 w_{OPN}$	A ₃ ts

Tableau d'état hydrique extrait du GTR : classification pour les sols A₁, A₂ et A₃

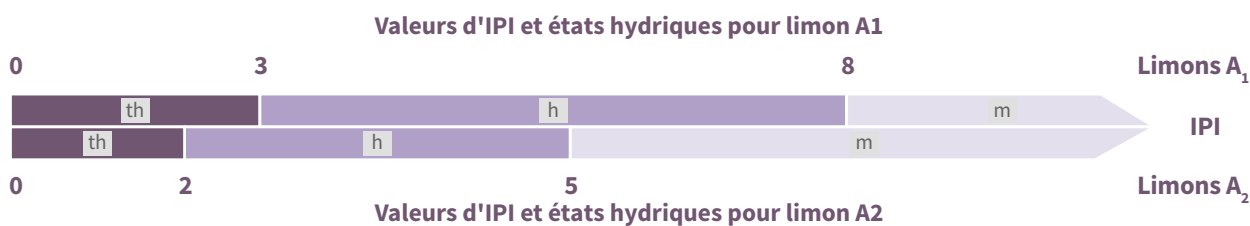
Classification des sols normands selon la norme NF P11-300

Cas des limons

Le plus souvent, les sols normands sont :

- De classe **A₁** à **A₂**, pour les **limons** des plateaux
- De classe C₁A₂, C₂A₂, C₁A₃, C₂A₃ pour les limons et argiles à silex (où C₁ et C₂ sont relatifs à la charge en cailloux ; A₁, A₂ et A₃ désignent la matrice de sol qui englobe les cailloux)

Les limons **A₁** à **A₂**, ainsi que les limons très plastiques A₃ sont le plus souvent à l'état h à th quand ils sont terrassés en profondeur.



Avec :

- th : état hydrique très humide => **traficabilité (quasi) impossible**
- h : état hydrique humide => **traficabilité difficile**
- m : état hydrique moyen => **traficabilité normale**

Echelle des valeurs IPI en fonction du type de limons et de l'état hydrique et traficabilité associée

Cas des craies

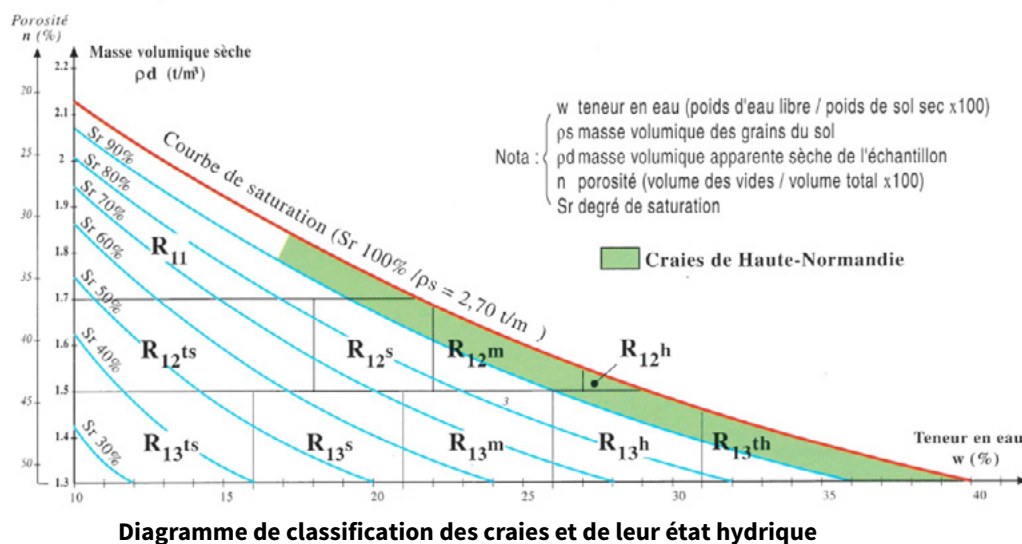
26 |

Les craies ne font pas partie de la famille des sols dans le classement de la norme **NF P11-300 [N4]**. Il s'agit d'une roche sédimentaire plus ou moins tendre.

On rencontre en Normandie toutes les sous-classes de craie :

- les craies denses : **R₁₁** ($\rho_d > 1,70 \text{ t/m}^3$)
- les craies de densité moyenne : **R₁₂** ($1,50 \text{ t/m}^3 \leq \rho_d \leq 1,70 \text{ t/m}^3$)
- les craies peu denses : **R₁₃** ($\rho_d < 1,50 \text{ t/m}^3$)

Leur classification la plus fréquente est **R₁₂ h**. Elles présentent un degré de saturation élevé ($90\% < S_r < 100\%$).



CARACTÉRISATION GÉOTECHNIQUE DES MATÉRIAUX TRAITÉS

► On entend ici par « *matériaux traités* », ceux qui ont subi une amélioration ou une stabilisation, voire un traitement mécanique (pour en réduire la granularité, en extraire une fraction trop fine ou trop grossière) dans le cadre du réemploi ou de la réutilisation.

Cas de l'amélioration par traitement à la chaux seule

► Pour le seul traitement à la chaux, deux paramètres sont essentiels dans le cadre de l'optimisation de leur emploi :

- **L'Indice Portant Immédiat (IPI)**, mesuré après traitement.
- **L'Indice CBR après immersion (ICBR)**, mesuré après traitement, qui caractérise l'évolution de la portance d'un sol soumis à des variations de régime hydrique.

L'étude de laboratoire doit permettre de déterminer le dosage en chaux nécessaire pour atteindre les objectifs du GTS donnés au chapitre "Coin du prescripteur".

Pour un usage en Partie Supérieure des Terrassements (PST = dernier mètre supérieur d'un remblai, ou en fond de déblai), les valeurs IPI visées doivent être majorées de 10 à 20%, et il est nécessaire de vérifier la condition $ICBR/IPI \geq 1$.

EN SAVOIR +

L'ICBR est l'indice CBR immergé mesuré sur une éprouvette Proctor après 4 jours d'immersion dans l'eau conformément à la norme **NF P94-078** « Sols : reconnaissance et essais - Indice CBR après immersion. Indice CBR immédiat. Indice Portant Immédiat - Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR. » **[N12]**

Pour des usages sensibles, la mesure du gonflement associé à l'imbibition CBR est recommandée.

Cas du traitement aux liants hydrauliques (avec ou sans prétraitement à la chaux)

▶ **Avant de faire les différentes mesures des performances mécaniques, il faut commencer par déterminer la teneur en eau optimale et la densité de référence du matériau traité.**

Pour les limons A_1 et A_2 , cette détermination est faite par une étude Proctor complète sur le mélange. Les modalités sont celles de l'essai Proctor Normal pour un usage en couche de forme comme pour un usage en couche de chaussée (voir guide de traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques, application à la réalisation des assises de chaussées guide [6]). La norme de référence pour l'essai Proctor est :

- **NF P94-093** : Sols : reconnaissance et essais - Détermination des références de compactage d'un matériau - Essai Proctor Normal - Essai Proctor modifié [N11]

La vérification préalable de l'aptitude au traitement selon la norme **NF P94-100** : « Sol : reconnaissance et essais - Matériaux traités à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Essais d'évaluation de l'aptitude d'un sol au traitement » [N13] est une étape quasi systématique pour envisager un traitement au liant hydraulique. Son intérêt réside dans la possibilité d'identifier la présence néfaste d'éléments chimiques perturbateurs de prise et/ou de risque de gonflement volumique associé.

Dans le cas des assises de chaussées, la norme de référence pour le gonflement est la **NF EN 13286-49** « Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques - Partie 49 : essai de gonflement accéléré pour sol traité à la chaux et/ou avec un liant hydraulique » [N14]

Si l'essai conduit à des résultats douteux au sens du GTS [5] pour les couches de forme, ou du guide de traitement des sols appliqué aux assises de chaussées [6], il convient de les analyser et éventuellement de renouve-

ler l'essai en testant d'autres dosages et/ou d'autres liants que celui initialement utilisé.

Si au contraire l'aptitude est confirmée et le retour d'expérience local est suffisant, et pour un chantier de faible importance, à défaut d'étude de performances mécaniques il peut être retenu les dosages "sécurisants" définis dans le tableau C1-V du GTS [5] (à 1.5% de chaux et 7% de liant hydraulique routier dans le cas des limons A_1 et A_2), ceci uniquement pour un usage en couche de forme.



En Normandie : L'expérience normande montre qu'un dosage de l'ordre de 1% de chaux + 5% de liant hydraulique routier peut souvent être retenu dans la mesure où l'essai d'aptitude, au même dosage, est jugé apte.

Dans les cas de chantiers importants, une étude de performances mécaniques doit être réalisée conformément :

- Aux indications du GTS [5] s'il s'agit d'un usage en couche de forme
- Aux indications du guide de traitement des sols appliqué à la réalisation des assises de chaussées [6] pour cet usage, ainsi qu'à la norme **NF P98-114-3** "Assises de chaussées - Méthodologie d'étude en laboratoire des matériaux traités aux liants hydrauliques - Partie 3 : sols traités aux liants hydrauliques éventuellement associés à la chaux" [N15]

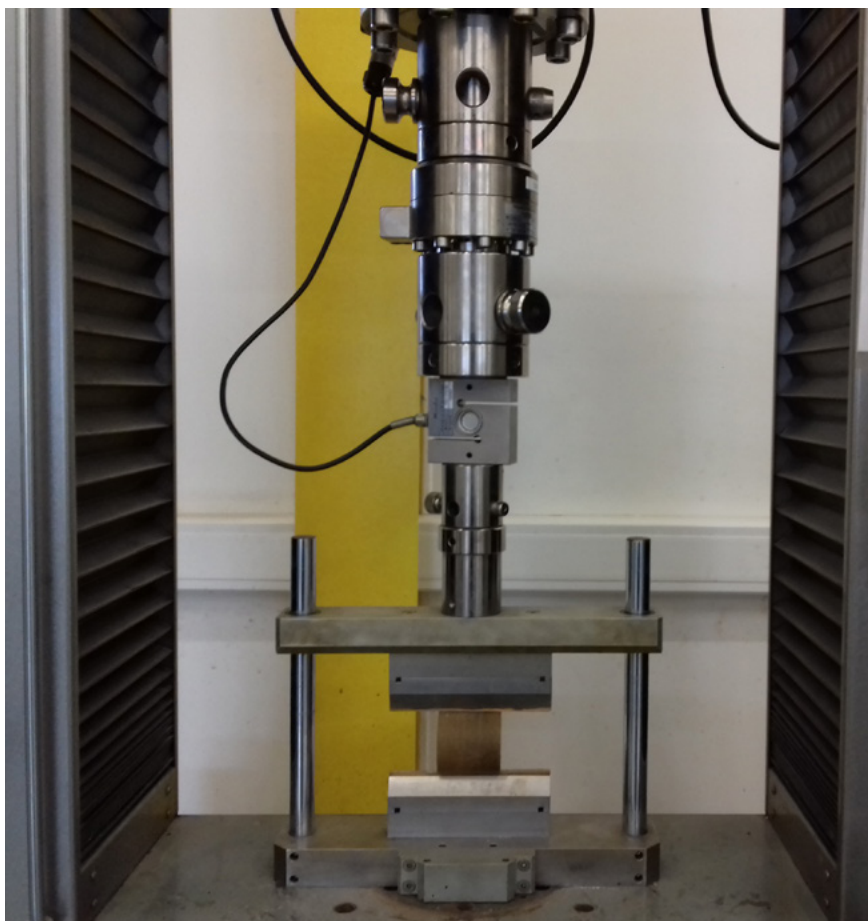
Les performances mécaniques et leur évolution sont appréciées par les mesures suivant les normes d'essais rappelées dans les deux guides précédemment cités :

- **Mesure de la résistance à la compression simple** (R_c) à 7 et/ou 28 jours pour connaître l'âge autorisant la circulation ($R_c \geq 1$ MPa)
- **Mesure de la résistance à l'immersion au jeune âge** pour vérifier la sensibilité à l'eau (voir seuils indiqués dans les guides [5][6])
- **Appréciation de la résistance au gel** (âge ou $R_{tb} > 0.25$ MPa)
- **Mesure de la résistance à la traction directe** (R_t) ou indirecte (R_{tb}) et du module de déformation à différents âges pour quantifier les performances à long terme qui serviront au dimensionnement de l'ouvrage.

La classe mécanique du sol traité obtenue en référence à l'abaque C1.XI du GTS ou disponible dans la norme **NF EN 14227-15**, "Mélanges traités aux liants hydrauliques - Spécifications partie 15 : Sols traités aux liants hydrauliques routiers" [N2] permet de dimensionner la couche traitée en fonction de la classe de plateforme et du trafic visés.

A l'issue de ces études on dispose de suffisamment d'éléments techniques pour envisager les domaines d'emploi définis au chapitre suivant.

L'ensemble des résultats de caractérisation permettent d'établir la fiche technique du sol traité.



► Mesure de résistance en traction indirecte (R_{tb})

DOMAINES & CONDITIONS D'EMPLOI

CADRE ENVIRONNEMENTAL

Cas des terres excavées naturelles ne provenant pas de sites potentiellement pollués

▶ Il n'y a pas de conditions particulières si le sol est bien inerte.

À SAVOIR

Il faudra se référer au futur guide sur les « terres excavées naturelles » dès sa parution.

Ce guide, dont le nom est susceptible de changer, devrait être publié par le CEREMA.

Cas des sols en provenance de sites potentiellement pollués

Le Guide de valorisation hors site des terres excavées issues de sites et sols potentiellement pollués dans des projets d'aménagement [8] admet la valorisation de sols non inertes (mais non dangereux) dans des limites qui y sont fixées en fonction des caractéristiques des sols déjà présents sur le site d'accueil.

Pour les sols pollués, le guide interdit toutefois l'usage dans les cas suivants :

30 |

→ **Au droit des établissements dits sensibles**, tels que définis dans la circulaire ministérielle du 8 février 2007 [9] relative à l'implantation sur des sols pollués d'éta-

blissements accueillant des populations sensibles ;

→ **Au droit des bâtiments résidentiels individuels** ;

→ **Sous les jardins privés**, associatifs ou familiaux ;

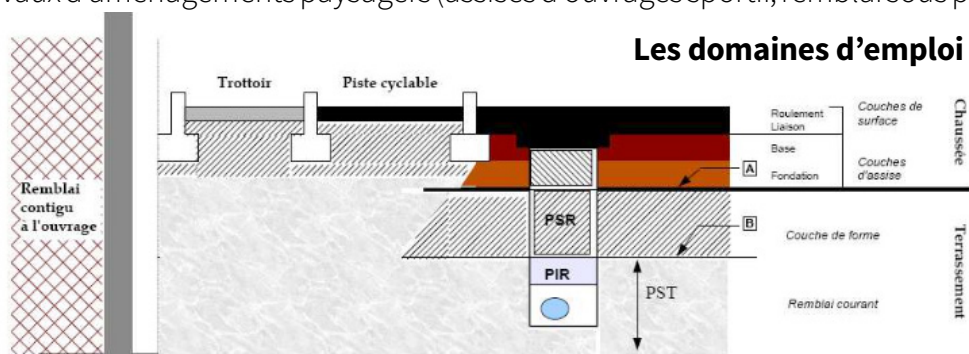
→ **Au droit de terrains destinés à la production de fruits et légumes** (potagers et vergers), à la culture (céréales, plantes fourragères,...), et à l'élevage (pâtures) ;

→ **Au droit des aménagements routiers non revêtus**, non recouverts, non pérennes ou pour les systèmes drainants ou d'infiltration des eaux pluviales.

CADRE GÉOTECHNIQUE

▶ Cette partie présente les conditions de mise en œuvre en fonction des différents usages, cf. figure ci-dessous, à savoir :

- Terrassements (remblais, couche de forme)
- Remblais techniques
- Les travaux de canalisation (remblais de tranchée en zones revêtues et non revêtues) ;
- Assises de chaussées
- Les travaux d'aménagements paysagers (assises d'ouvrages sportif, remblai sous piste cyclable).



Remblais courants

Les limons A₁ et A₂ et les craies, à un état hydrique correct, m ou h, avec ou sans traitement à la chaux, peuvent être utilisés en remblai courant en respectant les préconisations des annexes [2], [3] et [4] du fascicule II du GTR [4].



Sous bâtiment, les terres issues du traitement par chaulage peuvent être employées pour des remblais sous dallage. Bien qu'en Normandie il n'y ait pas d'affleurement de gypse (sulfates), on apportera une attention particulière à la teneur en sulfates solubles qui ne doit pas excéder 0.5% selon la norme NF P11-213-1 : DTU 13.3 dallages conception calculs et exécution – partie 1 Cahier des Clauses Techniques Dallages à usage industriel ou assimilés [N16]

Remblais de tranchées

Les limons et craies peuvent être utilisés en Partie Inférieure de Remblai (P.I.R.) dans le cadre du remblayage des tranchées à condition de disposer des compacteurs étroits de puissance adaptée. Les informations nécessaires sont indiquées dans le guide technique Remblayage des tranchées et réfection des chaussées [10], et sa note complémentaire [11], ainsi que la norme NF P98-331 « Tranchées : ouverture, remblayage, réfection » [N17] et le fascicule 70 du CCTG titre 1 « réseaux » [12]. **Voir l'illustration au chapitre "Coin du Prescripteur"**

Remblais contigus de murs de soutènement et de culées de ponts

La note d'information « Ouvrages d'Art n°34 de 2012 « Construire des remblais contigus aux ouvrages d'art » fixe les conditions d'emploi et de mise en œuvre des matériaux traités pour l'emploi retenu. [13]

La qualité de compactage visée est donnée au paragraphe 1 de cette note.

À NOTER Les remblais contigus aux maçonneries et aux ouvrages d'art nécessitent d'adapter les ateliers de compactage aux sollicitations acceptables par l'ouvrage.

Couches de forme

Moyennant un traitement au liant hydraulique, éventuellement associé à la chaux, les sols limoneux et la craie sont des matériaux très performants pour réaliser des couches de forme qui protégeront efficacement les chaussées du gel/dégel.

Le sol support devra être de portance suffisante (module de déformation EV2 supérieur à 35 MPa) au moment de la mise en œuvre de la couche de forme afin de permettre le compactage correct du matériau traité.

À RETENIR

Les sols traités ne doivent pas être mis en œuvre à une température inférieure à 5°C et sont sensibles au gel au jeune âge. Leur mise en œuvre n'est donc pas possible en toute saison. Les sols traités devront présenter une résistance suffisante avant l'arrivée du gel qui pourra les atteindre. Il est nécessaire de prévoir un cloutage de la surface des sols fins traités afin d'assurer un bon engrènement avec la couche

de structure du dessus (enchâssement de gravillons avant la fin du délai de maniabilité), complété par un enduit de protection.

En cas d'application en arrière-saison avec les risques de premiers gels, voire plus tardivement, l'expérience montre qu'il convient de protéger rapidement la couche traitée avec une couverture granulaire ou bitumineuse suffisante.

Le dimensionnement classique des couches de forme est indiqué en annexe [3] du fascicule II du GTR [4]. Il est aussi possible de surclasser une plateforme en jouant sur l'épaisseur de la couche de forme et sur le niveau de classe mécanique du matériau traité, tel qu'indiqué au chapitre IV « la plateforme support de chaussées » du guide technique de Conception et dimensionnement des structures de chaussée [14].

Assises de chaussées

32 |

▶ **Pour l'usage en assises de chaussées, les méthodes de fabrication et de mise en œuvre sont comparables ou plus exigeantes.**

La différence vient essentiellement :

- **Des performances mécaniques plus élevées** à atteindre.
- **Des exigences plus élevées sur les équipements**, capacités, performances et précisions des matériels de traitements (les exigences sont indiquées dans le guide de traitement des sols spécifique à la réalisation des assises de chaussées [6])

À la date de rédaction du présent manuel, les règles de calcul de dimensionnement des structures avec couche(s) de sol traité en assise de chaussée sont exposées dans la norme de dimensionnement des chaussées dans sa version **PR NF P98-086** de mai 2018 « Chaussées - Terrassement - Dimensionnement - Vérification du dimensionnement structural des chaussées routières - Application aux chaussées neuves » [N18].

LE COIN DU PRESCRIPTEUR

Les tableaux qui suivent indiquent des préconisations d'études et de contrôles. Ils rappellent aussi les objectifs courants à atteindre pour les parties d'ouvrage concernées.

Remblais généraux

▶ **Le Guide Technique relatif aux remblais et couches de forme (GTR), la norme NF P11-300, le Guide de Traitement des Sols (GTS) sont les éléments techniques qui fondent les emplois en remblais.**

Les objectifs des indices de portance requis après traitement à la chaux sont donnés dans le tableau qui suit. Extrait du tableau B-1 du GTS [5].

Nature des matériaux	Limons			Craies	
	A1 C1A1	A2 C1A2	A3 C1A3	R12	R13
Valeurs d'IPI en dessous desquelles un traitement peut être envisagé	8	5	3	15	10
Valeurs d'IPI à obtenir sur le matériau traité*	10 à 20	7 à 15	5 à 10	15 à 30	10 à 20
Valeurs d'IPI au-delà desquelles le traitement peut être arrêté	15 à 25	10 à 20	8 à 15	25 à 35	15 à 25

I 33

*Pour le traitement des PST des valeurs majorées de 10% à 20% doivent être considérées, étant entendu qu'il est en plus nécessaire de vérifier la condition $ICBR/IPI > 1$.

À SAVOIR

- IPI** : Indice de Portance Immédiate
- GTR** : caractérisation GTR selon **NF P11-300 [N4]**
- Gv** : aptitude au traitement selon **NF P94-100 [N13]**
- ICBR** : Indice CBR après 4 jours en immersion
- c' et φ'** : cohésion et angle de frottement

Éléments de prescriptions : pour l'emploi des sols traités en remblais

Type d'emploi	Critère et enjeux	À L'ÉTUDE		À LA RÉALISATION	
		Caractéristiques minimales	Niveau de performances	Contrôles	Objectifs
Partie basse de remblais	Résistance à une montée de nappe de courte durée	GTR IPI et ICBR Gv	ICBR > IPI Gv validée	Granularité mouture Qualité de compactage	D < 40 mm q4
Remblais généraux*	Stabilité et absence de tassement sous propre poids	GTR, IPI	IPI > 10 pour limon A ₁ ou A ₂ IPI > 15 pour craie R ₁₂ ou R ₁₃	Qualité de compactage Module de portance	q4 EV2 > 20 MPa
Remblais sous dallage**		GTR, IPI Teneur en sulfates	SSa*	Qualité de compactage Module de portance	q4 EV2 > 20 MPa
PST***		GTR IPI et ICBR	Etat hydrique moyen IPI > 10 ICBR > IPI	Granularité mouture Module de portance	D < 40 mm EV2 > 35 MPa

34

* Dans le cas spécifique de remblais de grande hauteur on se reportera au tableau 3 du rapport de TerDOUEST.

** L'utilisation de déblais recyclés en remblais sous dallages nécessite une vérification spécifique de la teneur en sulfates solubles du matériau selon une fréquence en relation avec l'importance du chantier. Le document de référence pour les remblais sous dallage est le DTU 13.3[N16].

*** Pour le dimensionnement des épaisseurs de matériaux, au regard des objectifs assignés à la PST (PST1, PST2), on se reportera au GTS.

À SAVOIR

Plusieurs possibilités d'amélioration ou de stabilisation des matériaux d'arase sont envisageables, selon la prise en compte du caractère peu gélif ou non gélif des matériaux d'arase dans le calcul de l'indice de gel admissible.

En tout état de cause, une caractérisation GTR accompagnée de mesure de portance et des caractéristiques à l'immersion des matériaux traités est nécessaire.

Dans le cadre de la prise en compte du caractère non gélif du matériau, la résistance à la compression diamétrale (R_{tb}) doit être supérieure à 0.25 MPa à la date probable d'apparition du gel sur le chantier.

Remblais de tranchées

La norme **NF P98-331** « Tranchées : ouverture, remblayage, réfection » [N17] et le fascicule 70 du CCTG titre 1 « réseaux » [12], le guide technique de remblayage [10] ainsi que la note SETRA « Remblayage des tranchées et réfection de chaussées » de juin 2007 [11], composent le référentiel technique pour cet emploi.

Dans la zone constitutive de l'appui de la canalisation, la taille maximale des plus gros éléments du matériau est définie comme suit :

- $D_{max} < 22 \text{ mm}$ si le diamètre nominal des tuyaux (DN) est ≤ 200
- $D_{max} \leq 40 \text{ mm}$ si $200 < \text{DN} \leq 600$
- $D_{max} \leq 60 \text{ mm}$ si $\text{DN} > 600$ (sous chaussée $D_{max} \leq 40 \text{ mm}$ si $\text{DN} > 200$)

À SAVOIR

La nomenclature des tranchées

Domaine d'emploi des sols		Roulement		
		Base	Assise de chaussée	
	q2	Fondation		
	q3	Partie Supérieure de Remblai (PSR)		Remblai
	q4			
	q5 ou q4	Assise et remblai latéral		Zone d'enrobage
	Lit de pose			

RAPPEL DES SPÉCIFICATIONS DE QUALITÉ DE COMPACTAGE

Les qualités de compactage q2, q3, q4, et q5 sont celles définies dans le tableau de la norme **NF P98-331** [N17]

Pour la zone de remblayage, il faut respecter les spécifications suivantes :

- $D_{max} < \frac{1}{10}$ de la largeur de tranchée et inférieure à $\frac{1}{5}$ de l'épaisseur de couche

35

COUPE TYPE DE TRANCHEE SOUS CHAUSSEE SELON NF P98-331

Le tableau (ci-dessous) résume les éléments de prescriptions pour l'emploi.

Type d'emploi	Critère et enjeux	À L'ÉTUDE		À LA RÉALISATION	
		Caractéristiques minimales	Niveau de performances	Contrôles	Objectifs
Zone enrobage tranchée	Appui continu Protection du réseau Absence de tassement	GTR	D _{max} adapté Etat hydrique « m » ou « h »	Qualité de compactage	q5
Partie inférieure de remblais	Stabilité de la tranchée	GTR	D _{max} ≤ 50 mm Etat hydrique « m » ou « h »	Qualité de compactage	q4
Partie supérieure de remblais	Aptitude aux sollicitations dynamiques	GTR IPI Gélicivité	IPI > 25 Non gélif	Qualité de compactage Portance	q3 EV2 > 35 MPa

Remblais techniques

La note d'information SETRA - Ouvrages d'Art n°34 de 2012 « *construire des remblais contigus aux ouvrages d'art* » [13] fixe les conditions d'emploi des matériaux traités pour l'emploi retenu. Les conditions, règles d'emploi et objectifs de performances sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

Type d'emploi	Critère et enjeux	À L'ÉTUDE		À LA RÉALISATION	
		Caractéristiques minimales	Niveau de performances	Contrôles	Objectifs
Remblais contigus aux ouvrages*	Stabilité des remblais et ouvrages	GTR	Etat hydrique « m »	Mouture	< 40 mm
		Gv	Absence de gonflement	Qualité de compactage au pénétromètre pour les matériaux traités à la chaux	q3
		IPI et ICBR	ICBR > IPI		
		Résistance mécanique	Rc 2j > 0.1 MPa Rc 14 j _{air} + 14 j _{immersion} > 0.5 MPa	Qualité de compactage au gammadensimètre si traités aux liants hydrauliques	q3
		c' et φ'	Caractéristiques mécaniques c' et φ' conformes avec le dimensionnement de l'ouvrage		

Couches de forme ou d'assises de chaussées

BONNE PRATIQUE

Dans la mesure du possible, les études nécessaires au traitement de sols doivent être réalisées par le maître d'œuvre le plus en amont possible du chantier, et surtout avant la conception du DCE. Ainsi, l'entreprise peut

adapter sa réponse de gestion de déblais en fonction des études fournies. Toutefois, il est important de signaler que si les études ne sont pas réalisées en amont, les variantes restent possibles.

L'emploi en couche de forme requiert un traitement avec un liant hydraulique à minima, précédé si nécessaire d'une amélioration à la chaux. L'étude comprend à minima :

- Une aptitude au traitement selon la norme **NF P94-100 [N13]** qui valide l'absence de gonflement significatif et le niveau de résistance atteint. Elle peut suffire dans le cadre d'un matériau qui fait l'objet d'un suivi continu ou d'études antérieures.
- Une étude des résistances mécaniques (compression simple ou diamétrale) pour le dimensionnement de l'épaisseur de la couche de forme dans les autres cas.

Les éléments de conception et de dimensionnement des couches de forme sont précisés dans le GTS [5] et dans son complément sous la forme de la note d'information CEREMA n°2 [15].

Les principes sont très similaires pour l'usage en assises de chaussées, mais le niveau des exigences est plus élevé tel qu'indiqué dans le guide technique de traitement des sols dédié à cet usage [6]. Ces exigences croissent avec le trafic attendu et sont plus importantes pour un usage en couche de base qu'en couche de fondation. Il faut ajouter à cela l'application de la norme **NF P98-114-3 [N15]** et les normes auxquelles elle renvoie des séries **NF EN 13286** (dont [N14]) et **NF EN 14227** (dont [N1] et [N2]).

RAPPEL

Il est nécessaire de prévoir un cloutage de la surface des sols fins traités afin d'assurer un bon engrenement avec la couche de structure du dessus (enchâssement de gravillons avant la fin du délai de maniabilité), complété par un enduit de protection.

En cas d'application en arrière-saison avec les risques de premiers gels, voire plus tardivement, l'expérience montre qu'il convient de protéger rapidement la couche traitée avec une couverture granulaire ou bitumineuse suffisante.

Type d'emploi	Critère et enjeu	À L'ÉTUDE		À LA RÉALISATION	
		Caractéristiques minimales	Niveau de performances	Contrôles	Objectifs
Couche de forme	Plateforme support de chaussée* PF2, PF2qs, PF3, PF4	GTR	IPI > 20	Épaisseur	Théorie +/- 5 cm
		Gv	Apte au traitement	Qualité de compactage	q3
		IPI et ICBR	ICBR > IPI	Caractéristiques de portance (28j)	Module EV2 ou déflexion conforme à la classe de plateforme visée [15]
Assise de chaussée à faible trafic (T3 à T5)**	Trafic	Etude de niveau 1 si ≤ à PF3 et de niveau 2 si PF4	Classe mécanique 5 minimum, selon tableau C1-X du GTS		
		GTR	IPI > 30	Épaisseur	Théorie +/- 3 cm
		IPI et ICBR	IPI > 30	Compactage	q3
		Etude selon NF P98-114-3	Classe mécanique T2 minimum	Caractéristiques de portance (28j)	Module EV2 ou déflexions

* pour les chantiers de faible importance l'expérience montre qu'une aptitude au traitement est suffisante en Normandie.

** pour la réalisation des travaux, on se reportera au chapitre 4 du guide technique 2006 « *traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques ; application à la réalisation des assises de chaussées* » [6]



BIBLIOGRAPHIE

GUIDES TECHNIQUES & NOTES D'INFORMATIONS

- [1] Utilisation des matériaux de Haute-Normandie, **guide technique** « *Les limons* », Région Haute-Normandie, mars 2000
- [2] Utilisation des matériaux de Haute-Normandie, **guide technique** « *La craie* », Région Haute-Normandie, mars 2000
- [3] **Guide technique** « *Identification et utilisation des déblais de terrassements valorisés à la chaux* », ARE-BTP, novembre 2009
- [4] **Guide technique** « *Réalisation des remblais et des couches de forme* » (GTR), fascicules 1 et 2, SETRA/LCPC, version 2000
- [5] **Guide technique** « *Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques* » (GTS), SETRA/LCPC, janvier 2000
- [6] **Guide technique** « *Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques, Application à la réalisation des assises de chaussées* », SETRA, août 2007
- [7] **Rapport** « *Enseignements de TerDOUEST, Propositions de compléments au guide traitement de sols* », IDRRIM, décembre 2015
- [8] **Guide de valorisation** hors site des terres excavées dans des projets d'aménagement, Direction générale de la prévention des risques - Service des risques technologiques - Bureau du sol et du sous-sol, Novembre 2017
- [9] **Circulaire** du 08/02/07 relative aux sites et sols pollués - Modalités de gestion et de réaménagement des sites pollués
- [10] **Guide Technique** « *Remblayage des tranchées et réfection des chaussées* », LCPC/SETRA, mai 1994
- [11] **Note d'information** SETRA, « *Remblayage des tranchées et réfection des chaussées* », juin 2007
- [12] **Fascicule** 70 du CCTG titre 1 « *réseaux* »
- [13] **Note d'information** n°34 - Ouvrages d'Art « *Construire des remblais contigus aux ouvrages d'art* », SETRA janvier 2012
- [14] **Guide technique** « *Guide technique de Conception et dimensionnement des structures de chaussée* », LCPC/SETRA, décembre 1994
- [15] **Note d'information** Chaussées - Plateforme - Assainissement n°2 « *Dimensionnement des épaisseurs de couche de forme pour PF2qs* » CEREMA, mars 2017 - Complément au GTR et au GTS

NORMES

- [N1] **NF EN 14227-11** « Mélanges traités aux liants hydrauliques - Spécifications partie 11 : Sols traités à la chaux »
- [N2] **NF EN 14227-15** « Mélanges traités aux liants hydrauliques - Spécifications partie 15 : Sols traités aux liants hydrauliques »
- [N3] **NF P98-115** « Assises de chaussées - Exécution des corps de chaussées - Constituants - Composition des mélanges et formulation - Exécution et contrôle »
- [N4] **NF P11-300** « Exécution des terrassements, classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières »
- [N5] **NF P94-040** « Sols : reconnaissance et essais - Méthode simplifiée d'identification de la fraction 0/50 mm d'un matériau grenu - Détermination de la granulométrie et de la valeur de bleu »
- [N6] **NF EN ISO 17892-4** « Reconnaissance et essais géotechniques - Essais de laboratoire sur les sols - Partie 4 : Détermination de la distribution granulométrique des particules »
- [N7] **NF P94-068** « Mesure de la capacité d'absorption d'un sol de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux - Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tâche »
- [N8] **NF P94-051** « Sols : reconnaissance et essais - Détermination des limites d'Atterberg - Limite de liquidité à la coupelle - Limite de plasticité au rouleau »
- [N9] **NF P94-064** « Sols : reconnaissance et essais - Masse volumique sèche d'un élément de roche - Méthode par pesée hydrostatique »
- [N10] **NF P94-050** « Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux »
- [N11] **NF P94-093** « Sols : reconnaissance et essais - Détermination des références de compactage d'un matériau - Essai Proctor Normal - Essai Proctor modifié »
- [N12] **NF P94-078** « Sols : reconnaissance et essais - Indice CBR après immersion. Indice CBR immédiat. Indice Portant Immédiat - Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR »
- [N13] **NF P94-100** « Sols : reconnaissance et essais - Matériaux traités à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Essais d'évaluation de l'aptitude d'un sol au traitement »
- [N14] **NF EN 13286-49** « Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques - Partie 49 : essai de gonflement accéléré pour sol traité à la chaux et/ou avec un liant hydraulique »
- [N15] **NF P98-114-3** « Assises de chaussées - Méthodologie d'étude en laboratoire des matériaux traités aux liants hydrauliques - Partie 3 : sols traités aux liants hydrauliques éventuellement associés à la chaux »
- [N16] **NF P11-213-1** « DTU 13.3 dallages conception calculs et exécution – partie 1 Cahier des Clauses Techniques Dallages à usage industriel ou assimilés »
- [N17] **NF P98-331** « Tranchées : ouverture, remblayage, réfection »
- [N18] **PR NF P98-086** « Chaussées - Terrassement - Dimensionnement - Vérification du dimensionnement structurel des chaussées routières - Application aux chaussées neuves »



REMERCIEMENTS

▶ Ces manuels ont été élaborés dans le cadre de l'Appel à Manifestation d'Intérêt du Contrat de Plan Inter-Régions (CPIER) 2015-2020 sur l'axe « *Transition vers une économie circulaire plus vertueuse en gestion des ressources naturelles* ».

Financement :

- Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME Normandie)
- Région Normandie
- Fédération Régionale des Travaux Publics de Normandie (FRTP Normandie)
- Union Nationale des Industries de Carrières et Matériaux de Construction (UNICEM Normandie)

Pilotage et coordination :

- Cécilia GODIN, *Fédération Régionale des Travaux Publics de Normandie*

Groupe de travail technique :

- Etienne FROMENTIN, *UNICEM Normandie*
- Vincent LABBE, *entreprise Eurovia*
- Patrice PAUMELLE, *entreprise Gagneraud Construction*
- Eric VOLLEMAERE, *entreprise Lhotellier*
- Membres du groupe de travail Laboratoires, *APAQ Normandie*

40 |

Réalisation :

- Pascal OGER, *Rincent BTP*
- Gaëtan CHAMBAT, *Rincent BTP*



Pour aller plus loin :
www.myfrtp-normandie.fr



SITE DE ROUEN : 420 avenue des Canadiens | 76 650 Petit-Couronne
SITE DE CAEN : 12 rue Ferdinand Buisson | Bâtiment PASEO | Parc Athéna | 14 280 Saint-Contest
Tél. : 02 35 61 02 71 - normandie@fntp.fr