



A.R.E.B.T.P
Haute-Normandie

Identification et utilisation

**des déblais
de terrassement**

valorisés à la chaux

➤ GUIDE TECHNIQUE

Région Haute-Normandie
NOVEMBRE 2009

DÉPARTEMENT DE
LEURE





A.R.E.B.T.P
Haute-Normandie

A.R.E.B.T.P
Haute-Normandie

A.R.E.B.T.P
Haute-Normandie



A.R.E.B.T.P
Haute-Normandie

A.R.E.B.T.P
Haute-Normandie

A.R.E.B.T.P
Haute-Normandie



A.R.E.B.T.P
Haute-Normandie

Préambule

Ce guide a été établi dans le but d'identifier clairement les déblais de terrassement recyclés à la chaux. Il a pour vocation principale de renseigner la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre sur l'utilisation possible des matériaux valorisés.

Il est combiné au contrat des bonnes pratiques environnementales des plateformes de valorisation et des installations mobiles de recyclage dont les signataires s'engagent à respecter les aspects permettant de fabriquer des matériaux recyclés de qualité.

Il a été rédigé en parallèle du guide d'identification et d'utilisation des matériaux recyclés issus des bétons de démolition, dont l'élaboration a été confiée à l'Association pour la Promotion et l'Amélioration de la Qualité des travaux et équipements routiers en Normandie.

Les membres du groupe de travail ayant permis la rédaction du présent guide sont :

• **Agence De l'Environnement et de Maîtrise de l'Energie Haute-Normandie :**
Bernard AMEIL

• **Direction Régionale de l'Équipement, de l'Aménagement et du Logement :**
Olivier BONNEAU

• **Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Rouen :**

Virginie AMANT, Jean-Hughes COLOMBEL, Marc NORMAND

• **Fédération Régionale des Travaux Publics :**

Cédric BUISINE, Fabien RIDEL, Patrice PAUMELLE ainsi que leurs collaborateurs.

L'animation du groupe de travail a été assurée par l'Association Régionale pour l'Environnement du BTP de Haute-Normandie : Etienne FROMENTIN

Des remerciements sont adressés aux personnes suivantes pour leur relecture du document :

• **Olivier LEROUX**, chef de service infrastructures transports à l'Agglomération Rouennaise

• **Vincent DUCLOS**, directeur ALLU FRANCE

• **Claude JOLY**, chef de marché BTP Balthazard & Cotte

• **Alexandre LEBAS**, cabinet Ingetec

• **Alain DUVAL**, direction des routes du Conseil Général de l'Eure

• **Denis PIERZO**, direction des routes du Conseil Général de Seine-Maritime.

Une procédure de validation est en cours auprès du CFTR.

INTRODUCTION

RESSOURCES

Identification p 6

- Nature
- Etat
- Comportement mécanique

Classification des matériaux p 9

ELABORATION

Gestion des entrants p 10

- Plateformes fixes de regroupement
- Plateformes temporaires

Processus de fabrication p 11

- Scalpage
- Criblage / Emottage
- Malaxage avec la chaux
- Stockage du produit élaboré

TRAITEMENT

Etudes p 13

- Etude préalable
- Etude de formulation

Établissement de la FTP et conditions de mise en oeuvre p 15

Types d'installations p 16

- Installations mobiles
- Installations semi-mobiles
- Installations fixes

DOMAINES D'UTILISATION ET CONDITIONS DE MISE EN ŒUVRE

Remblayage des tranchées p 18

Remblai p 20

Autres utilisations p 22

Assurance qualité p 23

- Rédaction DCE et CCTP
- SOPAQ / PAQ

Précautions de mise en œuvre du matériau p 24

ASPECTS ECONOMIQUES ENVIRONNEMENTAUX / SOCIAUX

Impacts économiques p 25

Aspects environnementaux p 27

Conclusion p 27

SITES DE TRAITEMENT EN HAUTE-NORMANDIE

ANNEXE 1 :
Références d'utilisation
et d'emploi

ANNEXE 2 :
Exemples de fiches
techniques produit

ANNEXE 3 :
Bibliographie



INTRODUCTION

En France, la production de déblais de terrassement avoisine les 260 millions de tonnes par an. On estime qu'un tiers de ces déblais sont mis en décharges, dont 60% en installations de stockage de déchets inertes et 40% dans des sites non répertoriés (source : ADEME, 2004).

Ramenée à l'échelle de la Haute-Normandie, cette production est estimée à environ 8 millions de tonnes avec les mêmes proportions de mises en décharges.

Des efforts doivent donc encore être produits pour améliorer la part de matériaux recyclés et répondre ainsi aux textes de lois qui encouragent le tri et la réutilisation des matériaux issus des chantiers. La loi du 13 juillet 1992 a fixé à 2002 la fin d'exploitation des décharges traditionnelles et réserve la mise en stockage aux déchets ne pouvant plus subir de transformation ou de valorisation dans les conditions économiques du moment.

En 2002, le schéma régional de gestion des déchets du BTP de Haute-Normandie a été mis en place suite à la circulaire du 15 février 2000. Les objectifs principaux de ce plan sont de limiter la mise en décharge, d'organiser les filières de valorisation et enfin d'inciter à l'utilisation de matériaux inertes recyclés. Enfin, plus récemment, la directive européenne du 17 juin 2008 hiérarchise à 5 niveaux les options de gestion des déchets du BTP : prévention, réemploi, recyclage, valorisation et enfin en dernier recours l'élimination en stockage.

Face à un contexte généralisé au développement durable, les entreprises de travaux publics se doivent de plus en plus de prendre en compte la gestion des déblais de terrassement. La filière de traitement de sols à la chaux, utilisée régulièrement dans les grands pro-

jets routiers in-situ, répond pleinement à ces objectifs. C'est pourquoi elle se développe aujourd'hui à des échelles plus modérées qui permettent de valoriser de petites quantités sur plateformes ou directement sur chantiers.

Ainsi, après quelques années d'usage, il apparaît que les matériaux issus du recyclage des déblais offrent une véritable alternative technique et économique dans bon nombre d'utilisations en bâtiment et travaux publics. Les caractéristiques techniques de ces matériaux permettent en effet de satisfaire à un large éventail d'exigences depuis les simples remblais jusqu'aux assises de chaussées à trafic lourd.

Enfin, l'utilisation de ces matériaux présente des avantages concrets :

- Préservation des ressources naturelles,
- Réduction des coûts et nuisances liées aux transports puisque les ressources sont locales,
- Limitation de mise en décharge dont on cherche à réduire le nombre et l'usage et parallèlement économie du coût de mise en décharge.

Le présent guide est destiné à l'ensemble de la filière du BTP, de la maîtrise d'ouvrage aux entreprises en passant par les bureaux de contrôles. Il permet d'identifier clairement les caractéristiques des matériaux recyclés et ainsi favoriser leur emploi dans les chantiers de travaux publics. Il répond également à la nécessité de favoriser l'emploi d'un langage commun pour l'ensemble des intervenants. Enfin, il présente les entreprises réalisant du traitement de sols à la chaux. Cette liste, bien entendu évolutive, sera mise à jour trimestriellement et sera consultable sur le site internet de l'ARE BTP HN : www.are-btp.fr.

RESSOURCES

Identification

Les déblais de terrassement représentent donc pour la Haute-Normandie 8 millions de tonnes par an. Environ deux tiers sont actuellement valorisés soit en réutilisation sur place, soit en recyclage après traitement ou en utilisation en remblais de carrières. Une autre fraction de cette partie est aussi envoyée vers des travaux d'aménagement, destination soumise au code de l'urbanisme.

C'est donc potentiellement environ trois millions de tonnes par an de matériaux supplémentaires qui pourraient être valorisés. Actuellement éliminés dans des installations de stockage de déchets inertes (ISDI) ou en décharge «sauvage», cette évacuation devient de plus en plus problématique faute d'exutoire autorisé.

Concernant la provenance de ces matériaux, il est essentiel de distinguer deux échelles de chantiers. Les statistiques montrent que plus de la moitié des quantités produites annuellement proviennent des chantiers de VRD⁽¹⁾ pour lesquels les terrassements restent proches de la surface.

Un faible pourcentage des quantités restantes concerne les grands projets routiers et le complé-

ment est fait par les chantiers de génie civil à caractère « privé » au cours desquels les terrassements intéressent des terrains plus profonds.

La géologie régionale indique que les sols naturels rencontrés lors de ces chantiers sont constitués de trois types de matériaux : limons de plateaux, argiles à silex et craie. Ces types de sols qui ne sont pas toujours valorisables en l'état peuvent faire l'objet d'un traitement mécanique et/ou d'un traitement avec un liant hydraulique.

Par ailleurs, les terrains déblayés peuvent être mêlés de débris de construction d'ouvrages susjacents comme les structures de chaussées ou les trottoirs.

Ainsi, les volumes et les types de sol récupérés sont très variables d'une opération à l'autre. Sur certains chantiers, ils pourront faire l'objet d'une réutilisation en l'état, mais leur destination principale reste l'évacuation en installation de stockage de déchets inertes. Or, leurs caractéristiques géotechniques et le développement des processus d'élaboration sur plateformes ou directement sur les chantiers permettent de valoriser ces matériaux en vue d'un réemploi.

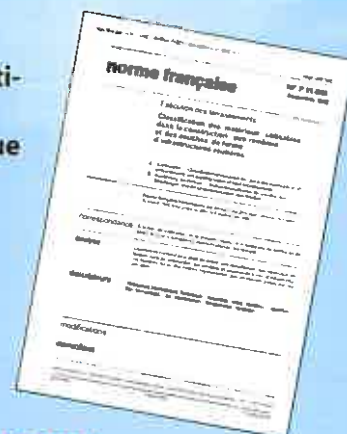
NATURE

Les sols naturels sont d'origines différentes. Ils doivent donc être identifiés.

Pour cela, les paramètres de nature, d'état et de comportement mécanique sont les plus déterminants. Ils sont repris dans la norme NF P 11-300.

Les paramètres de nature se rapportent à des caractéristiques intrinsèques, c'est-à-dire qui ne varient pas ou peu, ni dans le temps, ni au cours des différentes manipulations que subit le sol au cours de sa mise en œuvre.

La nature d'un sol sera déterminée par trois caractéristiques : granularité, VBS⁽²⁾, Ip⁽³⁾.



Granularité

(normes NF P 94-056 et P 94-057)

Le Dmax⁽⁴⁾ correspond à la dimension maximale rencontrée dans un sol.

Le seuil retenu à 50 mm permet de distinguer les sols fins, sableux et graveleux (≤ 50 mm) des sols blocailleux (> 50 mm).

Dans la fraction inférieure à 50 mm, on distingue deux sous-critères :

• Le tamisat à 80 μ m

Ce paramètre permet de distinguer les sols riches en fines, et dans une plus large mesure, d'évaluer leur sensibilité à l'eau.

Deux seuils existent pour ce critère : 12% / 35 %

$\leq 12\%$: sols sableux et graveleux pauvres ou riches en fines

$12\% < X < 35\%$: matériaux sableux

$> 35\%$: sols fins

• Le passant à 2 mm

Ce paramètre permet d'établir une distinction entre les sols à tendance sableuse et les sols à tendance graveleuse.

Le seuil retenu est 70%.

Au delà on définit les sols à tendance sableuse et en-deçà, les sols à tendance graveleuse.



VBS

(norme NF P 94-068)

Ce paramètre est le plus courant pour mesurer l'argilosité d'un sol. Il représente la quantité de bleu de méthylène pouvant s'adsorber sur les surfaces externes et internes des particules du sol. La VBS s'exprime en grammes de bleu pour 100 g de sol.

Les seuils retenus sont ceux de la norme NF P 11-300 et sont au nombre de 6. Toutefois, deux seuils essentiels sont à retenir :

0,2 : seuil au-dessus duquel les sols sont sensibles à l'eau

2,5 : seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sols argileux



Ip

(norme NF P 94-051)

L'indice de plasticité est un second paramètre pour caractériser l'argilosité dans le sol. Son interprétation est d'autant plus fiable que la proportion pondérale de la fraction 0/400 μ m contenue dans le sol étudié est importante et que l'argilosité de cette fraction est grande.

Les seuils retenus sont :

12 : limite supérieure des sols faiblement argileux

25 : limite supérieure des sols moyennement argileux

40 : limite entre les sols argileux et très argileux

VBS⁽²⁾ : Valeur au bleu de méthylène d'un sol (elle s'exprime par la masse de bleu de méthylène pouvant s'adsorber sur 100 g de sol ; sa valeur est d'autant plus grande que le sol est argileux) - Exprimée en g de bleu pour 100 g de sol / Ip⁽³⁾ : Indice de plasticité d'un sol (il s'exprime par la différence entre la w_p et la w_L du sol considérée ; sa valeur est d'autant plus grande que le sol est argileux) - Exprimé en % de teneur en eau / Dmax⁽⁴⁾ : Diamètre des plus gros éléments présents dans un sol (il est apprécié visuellement en général). Exprimé en mm.

ÉTAT

Il s'agit des paramètres qui ne sont pas propres au sol mais fonction de son état hydrique. Les 5 seuils définissant la teneur en eau sont : $ts^{(5)}$ / $s^{(6)}$ / $m^{(7)}$ / $h^{(8)}$ / $th^{(9)}$.

- **ts et th** : sont des états d'humidité du sol qui n'autorisent pas le réemploi en l'état dans les conditions technico-économiques françaises. Il doit y avoir un changement d'état du sol (en arrosant ou en séchant) avant sa réutilisation.
- **m** : est l'état d'humidification optimum permettant le réemploi du matériau
- **s et h** : sont des états d'humidité du sol qui autorisent sa mise en œuvre en prenant des dispositions particulières : soit de l'arrosage pour le s, soit de l'aération pour le h.

L'état hydrique d'un sol est caractérisé par les paramètres suivants : optimum Proctor, $I_c^{(10)}$ et $IPI^{(11)}$.

 **Optimum Proctor**
(norme NF P 94-093)

C'est la position de la teneur en eau naturelle $W_n^{(12)}$

par rapport à l'**optimum** Proctor normal $W_{OPN}^{(13)}$. Ce rapport permet de caractériser l'état hydrique naturel par rapport à l'optimum pour les terrassements.

$$W_n / W_{OPN}$$

 **I_c**
(norme NF P 94-051)

L'indice de consistance est la position de la teneur en eau naturelle par rapport à la limite d'Atterberg ($I_p = w_L - w_p$). Il permet de caractériser tous les états mais dans des conditions particulières.

$$I_c = w_L - w_n / w_L - w_p$$

 **IPI**
(norme NF P 94-051)

Défini dans la norme indiquée ci-dessus, l'indice de portance immédiat permet de caractériser les états h et th.

COMPORTEMENT MÉCANIQUE

Le comportement mécanique permet de juger l'utilisation possible ou non des sols en couche de forme. Il distingue les matériaux dont la fraction granulaire est susceptible de résister au trafic.

Les éléments les plus utilisés pour définir le comportement mécanique sont le Los Angeles (LA) (norme NF EN 1097-2) et Micro Deval Eau (MDE) (norme NF EN 1097-1). Si leur coefficient est inférieur ou égal à 45, alors les sols seront susceptibles de résister au trafic sans risque de fragmentation.

Pour des études plus poussées, les coefficients suivants pourront être utilisés :

- **Friabilité des Sables (FS)** (norme P 18-576)
- **Fragmentabilité (FR)** (norme NF P 94-066)
- **Dégradabilité (DG)** (norme NF P 94-067)

La masse volumique, quant à elle, sera utilisée pour définir le comportement mécanique de la craie (voir les seuils dans le GTR⁽¹⁴⁾ faisant référence à la norme NF P 11-300).

$ts^{(5)}$: Etat d'un sol très sec : humidité du sol très faible n'autorisant plus en général la réutilisation du sol / $s^{(6)}$: Etat d'un sol sec : humidité faible mais autorisant encore une mise en œuvre en prenant des dispositions particulières / $m^{(7)}$: Etat d'humidité d'un sol moyen : humidité optimum pour la mise en œuvre / $h^{(8)}$: Etat d'un sol humide : humidité élevée autorisant toutefois la réutilisation en prenant des dispositions particulières / $th^{(9)}$: Etat d'un sol très humide : humidité très élevée ne permettant plus en général la réutilisation du sol / $I_c^{(10)}$: Indice de consistance d'un sol (il traduit la position relative de la w_n d'un sol par rapport à ses limites d'Atterberg) et s'exprime par la relation $I_c = w_L - w_n / w_L - w_p$, sans unité / $IPI^{(11)}$: Indice portance immédiat (dans le GTS, la valeur de l'IPI considérée est la résistance au poinçonnement d'une éprouvette de sol mesurée immédiatement après sa confection selon les modalités de l'essai Proctor Normal). Exprimé en % / $W_n^{(12)}$: Teneur en eau naturelle (supposée être celle qu'il possède dans son gisement). Exprimée en % / $W_{OPN}^{(13)}$: Teneur en eau Optimum Proctor Normal (c'est la teneur en eau permettant d'obtenir la $pdOPN$ lorsqu'on compacte le sol à l'énergie Proctor Normal). Exprimée en % / GTR⁽¹⁴⁾ : Guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme.

Classification des matériaux

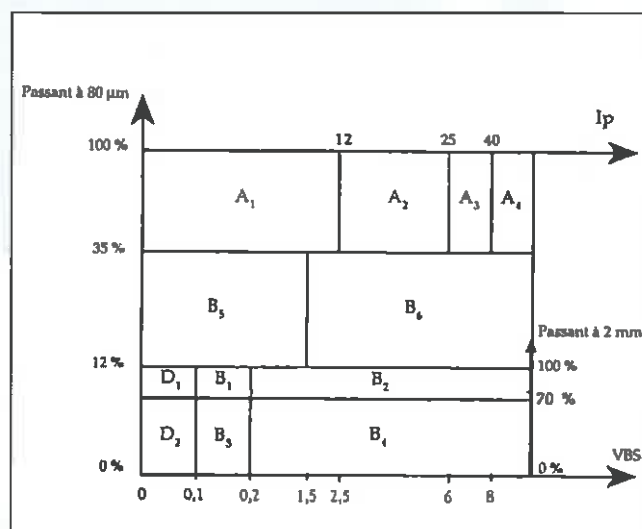
Les trois paramètres vus précédemment permettent de classer les sols en 6 familles, selon le tableau synoptique ci-dessous :

- **Classe A** : sols fins
- **Classe B** : sols sableux ou graveleux avec fines
- **Classe C** : sols comportant des fines et des gros éléments
- **Classe D** : sols insensibles à l'eau
- **Classe R** : sols rocheux
- **Classe F** : sols organiques ou sous produits industriels.

Le présent guide étudiera l'utilisation des sols de classes A / B / C / D.

Le tableau ci-après est le synoptique de classification des matériaux selon leur nature.

Schéma n°1 : Tableau synoptique de classification des sols



Source : Remblayage des tranchées et réfection des chaussées – Guide technique - SETRA/LCPC – Mai 1994

ÉLABORATION

Gestion des entrants

L'objectif du tri est de s'assurer de l'homogénéité des matériaux à traiter, de façon à respecter les dosages et les processus définis préalablement lors de l'étude initiale du traitement et pendant la phase de réglage de l'installation de recyclage.

Ce tri peut s'effectuer de différentes façons :

- **Par sélection géographique** : seront éliminées en particulier les zones pour lesquelles on sait par expérience que les sols comportent des sulfates (risques de gonflement) ;

- **Par une reconnaissance géotechnique** préalable aux travaux pour les fouilles importantes ;

- **Par une inspection visuelle du matériau à la bascule** si cela est possible ou après déchargement au niveau du stockage.

La sélection visuelle doit permettre de reconnaître le sol sélectionné au préalable, de séparer les déblais les plus argileux ou les plus humides nécessitant un traitement préalable et de refuser tout autre déchet.

PLATEFORMES FIXES DE REGROUPEMENT

Lors d'un regroupement sur plate-forme de valorisation, la variabilité des terrains est très importante.

Il est nécessaire de procéder à un tri des entrants pour constituer des lots de matériaux homogènes en fonction des paramètres décrits précédemment (nature, état, comportement).

Ce tri pourra être effectué en amont du regroupement sur le chantier, au moment du déchargement ou directement sur la plate-forme à partir des stocks constitués.

PLATEFORMES TEMPORAIRES

Au même titre que sur les plateformes fixes, il convient de qualifier le matériau extrait suivant la norme NF P 11-300 par des études géotechniques.

Cette étude peut se faire avant l'appel d'offres pour que soit introduit une reconnaissance géotechnique dans les pièces du Dossier de Consultation des Entreprises (DCE). La seconde solution consiste à réaliser une étude immédiatement avant les travaux par l'entreprise.

Dans les deux cas, le nombre d'échantillons à prélever sera fonction de l'importance du volume de matériaux mobilisé en prenant en considération qu'un échantillon pour 1 000 m³ constitue une bonne moyenne pour ce type d'opération.

Processus de fabrication

SCALPAGE

Une fois le matériau entrant trié et sélectionné, celui-ci est scalpé entre 60 et 100 mm environ pour séparer la partie la plus grossière du matériau constitué de blocs de graves traitées, d'enrobés, de pavés ou de pierres. Ce refus pourra recevoir un traitement ultérieur spécifique (concassage, voir guide d'identification et d'utilisation des matériaux issus des bétons de démolition) pour être introduit à nouveau dans le processus ou valorisé tel quel. Sur plate-forme, les moyens les plus couramment utilisés sont des grilles à barreaux fixes ou relevables, des scalpeurs à doigts ou des cribles à disques ou à étoiles.

Enfin, pour les réemplois sur place, cette opération peut être effectuée par le passage du matériau excavé dans un godet cribleur en l'absence de réactif ou par tout autre moyen approprié.

CRIBLAGE / EMOTTAGE

Le passant subit ensuite un criblage dont l'objectif est d'atteindre une granularité 0/D où D peut être égal à 31,5 mm, 63 mm, 80 mm ou 100 mm en fonction de l'utilisation du sol sortant. Cette opération permet également un émottage du matériau avant son traitement. Le refus peut être valorisé directement sous forme de granulat ou bien concassé pour être réintroduit dans le processus. Le passant est orienté pour un traitement à la chaux.

Pour les chantiers mobiles où le réemploi s'effectue sur place, l'emploi de godets cribleurs ou émotteurs autorise un émottage à 60 mm même pour des sols fortement plastiques.

Sur les plateformes de regroupement, les moyens pour cette opération sont les mêmes que ceux décrits précédemment.

MALAXAGE AVEC LA CHAUX

L'objectif général de cette opération est de réduire l'argilosité du matériau et de contrôler sa teneur en eau pour l'amener dans les conditions optimales de compactage. Pour réaliser cet objectif, il est nécessaire de traiter le matériau criblé avec un réactif adapté. Ce traitement s'effectue par un malaxage durant lequel le réactif (chaux dans la majorité des cas) est mélangé au matériau. Les moyens de malaxage doivent être adaptés aux objectifs fixés pour l'utilisation des produits chaulés. Il convient d'optimiser la réaction sol/chaux par la qualité du malaxage et la teneur en eau du mélange. Le malaxage est généralement fait :

- dans un malaxeur à pâles en centrale fixe ou mobile
- dans tout autre dispositif assurant l'homogénéité suffisante du mélange chaux/sol.

Le temps de transit dans le malaxeur sera adapté pour permettre un mélange satisfaisant. Le dosage en chaux défini par une étude préalable en laboratoire est effectué de préférence de façon pondérale par l'utilisation de dispositifs adaptés.

STOCKAGE DU PRODUIT ÉLABORÉ

Enfin, sur chantier ou sur plate-forme, le malaxage doit toujours permettre le cas échéant un ajout d'eau si le matériau traité est jugé trop sec et donc difficile à compacter. Il est nécessaire de disposer d'aires de stockage bien aménagées (plateformes stabilisées et drainées) afin d'assurer un bon écoulement des eaux superficielles, d'éviter toute stagnation d'eau au pied des stocks et de permettre une reprise correcte des matériaux traités par les engins de chargement. Le stock devra faire l'objet d'un compactage léger et être lissé et penté. Dans ces conditions, les matériaux pourront être stockés plusieurs mois. D'une manière générale, le stockage des matériaux sensibles à l'eau traités à la chaux permet un murissement du mélange qui conduit à une modification de la minéralogie de l'argile. Les performances alors obtenues avec ce nouveau matériau sont supérieures à celles obtenues immédiatement après traitement.

TRAITEMENT

Avant toute phase de traitement, il est important d'étudier si le sol peut être réemployé à l'état naturel. Il est également possible de réaliser les essais de caractérisation et les opérations mécaniques décrites ci-dessus sans liant en vue d'une réutilisation. Cependant les sols Hauts-Normands ont un état hydrique fréquemment « humide ». Leur comportement présente une relative sensibilité à l'eau ce qui ne permet pas un compactage efficace. Le traitement par un réactif est alors une bonne solution. Le réactif le plus adapté à ce traitement est la chaux aérienne calcique conforme à la norme NF P 98-101.

La chaux agit immédiatement sur la teneur en eau du matériau par formation de chaux hydratée, et par flocculation des feuillets d'argiles. Ceci se traduit par une élévation importante de la limite de plasticité du sol sans modification concomitante de la limite de liquidité. De plus, le matériau traité à la chaux permet un stockage de longue durée et reste réexcavable dans le cas d'emploi en tranchée.

L'efficacité du traitement doit permettre d'atteindre les performances fixées au GTS⁽¹⁵⁾ de 2000 et dans la norme NF EN 13286-49 afin d'améliorer le comportement du sol.

Schéma n°2 : Objectifs du traitement des sols

IPI	Classes de matériaux (selon classification GTR 92)							
	A ₁ C ₁ A ₁ C ₂ A ₁ *	A ₂ B ₆ C ₁ A ₂ C ₂ A ₂ * C ₁ B ₆ C ₂ B ₆ R ₃₄	A ₃ C ₁ A ₃ C ₂ A ₃ *	B ₄ C ₁ B ₄ C ₂ B ₄ *	B ₂ B ₅ C ₁ B ₂ C ₂ B ₂ * C ₁ B ₅ C ₂ B ₅ *	R ₁₂ ☉	R ₁₃ ☉	F ₂
Valeurs en dessous desquelles un traitement peut être envisagé (cf. GTR)	8	5	3	15	12	15	10	15
Valeurs à obtenir sur le matériau traité ◊	10 à 20	7 à 15	5 à 10	20 à 40	15 à 30	15 à 30	10 à 20	15 à 20
Valeurs au-delà desquelles le traitement peut être arrêté (ou poursuivi avec réduction du dosage)	15 à 25	10 à 20	8 à 15	30 à 50	20 à 40	25 à 35	15 à 25	25 à 30

* Les matériaux de ces classes comportent une fraction importante d'éléments anguleux supérieurs à 20 mm. De ce fait, l'estimation de leur portance à partir de la valeur de l'IPI mesuré sur leur fraction 0/20 mm peut ne pas être suffisamment représentative. Une évaluation plus précise nécessiterait de pratiquer des essais en place (essais à la plaque ou à la dynaplaque, etc.)

☉ Pour les classes R, les valeurs proposées ne sont pas issues du GTR, mais seulement indicatives. Pour les classes de matériaux sensibles à l'eau non envisagées dans le tableau, les valeurs de l'IPI à considérer doivent résulter d'une étude spécifique

◊ 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 $I_{CBH}/IPI \geq 1$ (cf. § B-2.2.)

ÉTUDE PRÉALABLE

Pour être traitée, chaque famille de matériaux collectés devra faire l'objet d'une étude permettant de définir le dosage en chaux nécessaire. Cette étude préalable telle que définie au GTS et dans la norme NF EN 13286-49 comporte deux volets :

- **L'identification des sols destinés au traitement (cf. chapitre II)**
- **La formulation des mélanges ayant pour but de fixer le dosage en chaux des matériaux qualifiés.**

Dans un environnement spécifique faisant apparaître des possibilités significatives de présence dans le sol d'éléments perturbateurs (matières organiques, sulfates, nitrates...), une vérification de l'aptitude au traitement doit être réalisée à partir de l'essai décrit dans la norme NF EN 13286-49. L'aptitude peut être considérée comme acquise si le gonflement volumique reste inférieur ou égal à 10% (cf. GTS). Ces informations peuvent être consignées sur une fiche d'identification donnant les caractéristiques géotechniques de la famille selon les paramètres décrits.

ÉTUDE DE FORMULATION

4 niveaux d'études sont indiqués dans le GTS. Il est essentiel pour cette étape de réaliser les études du niveau 2.

Une fois le matériau identifié, cette étude permet de définir le dosage en réactif à incorporer pour permettre le compactage et assurer la portance recherchée. Elle est fondée sur la réalisation d'abaques donnant le pourcentage de chaux à appliquer en fonction de la teneur en eau pour obtenir les valeurs de portance fixées au GTS. Ces dernières sont rappelées en préambule de ce chapitre dans le schéma n°2 pour les familles de sols signalées. Il convient par ailleurs de différencier les emplois en corps de remblais et ceux en partie supérieure de terrassements (PST) pour lesquels le niveau de portance est fixé au seuil maximum.

De tels abaques permettent de fixer et d'ajuster la quantité de réactif à incorporer aux sols sélectionnés.

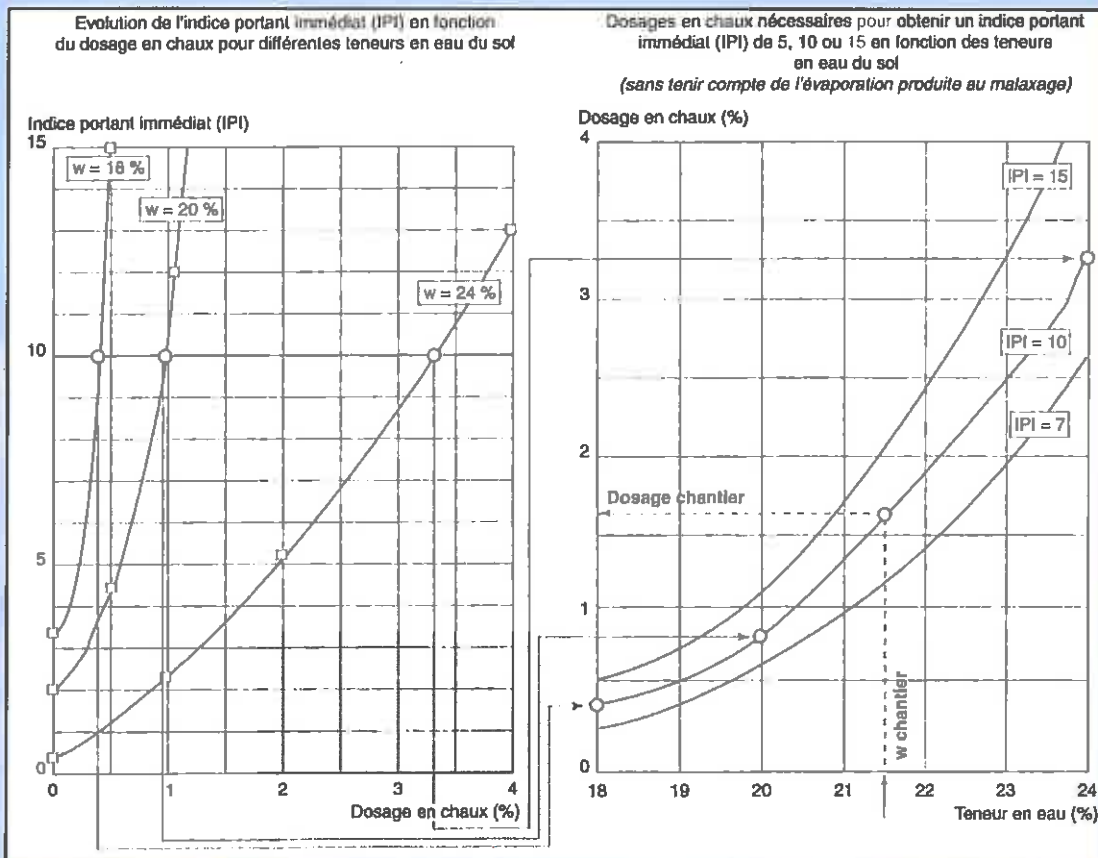
La méthodologie de l'étude de formulation consiste à humidifier la fraction 0/20 mm des échantillons,

constitués au cours de l'étude de qualification, selon leur teneur en eau. Les échantillons ainsi préparés sont mélangés à des dosages croissants de produits de traitement (au moins trois dosage par teneur en eau) choisis dans un domaine économique réaliste, soit des dosages des chaux inférieurs à 3%. Pour réaliser l'humidification des échantillons et leur mélange avec le produit de traitement, l'utilisation du malaxeur-désagregateur décrit dans l'annexe informative de la norme NF P 94-093 s'impose quasiment étant donné que les sols concernés seront presque toujours plus ou moins plastiques.

Chaque mélange est ensuite compacté selon les conditions opératoires définies dans la norme NF P 94-093 et on détermine la valeur de l'IPI de chacun d'eux conformément à la norme NF P 94-078. Les valeurs trouvées sont reportées sur des graphes tels que ceux représentés sur la figure ci-après, qui représente un exemple d'étude de formulation du traitement d'un limon de classe A2 avec de la chaux vive.

Schéma n°3 : exemple de présentation des résultats d'une étude de formulation

Paramètres		Dosage en chaux				
		0	0,5	1	2	4
W_{nat} du sol 18 %	IPI	3	15	23,5	35,5	27
	$W_{sol\ traité}$ (%)	18,1	17,6	17,1	16,4	14,7
	ρ_d (t/m^3)	1,73	1,73	1,70	1,67	1,57
W_{nat} du sol 20 %	IPI	2	5,5	14	23,5	23,5
	$W_{sol\ traité}$ (%)	19,7	19,6	19,3	18,7	17,4
	ρ_d (t/m^3)	1,67	1,69	1,69	1,68	1,61
W_{nat} du sol 24 %	IPI	0,5	1,5	2,5	5	13
	$W_{sol\ traité}$ (%)	24,1	23,7	23,1	21,7	20,5
	ρ_d (t/m^3)	1,56	1,57	1,59	1,63	1,63



Source : Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Guide technique - SETRA/LCPC - Janvier 2000

Établissement de la FTP⁽¹⁶⁾ et conditions de mise en oeuvre

Un suivi régulier du matériau doit permettre de confirmer la classe de sols et de déterminer la teneur en eau du matériau traité, paramètres nécessaires à la définition des conditions de mise en oeuvre.

Les caractéristiques nécessaires à l'identification des matériaux sortants sont les suivantes :

- classe du matériau
- granularité
- VBS
- IPI
- densité à l'OPN + courbe Proctor
- teneur en eau

Ces éléments permettent d'aboutir à l'élaboration d'une fiche technique produit dont des modèles sont visibles en annexe de ce document.

Fiche Technique LIMECO 0/31.5
Matériau en remblais de tranchées

Nature du LIMECO :
Valorisation de déchets à teneur élevée en eau et traités en ligne en centrale de mélange automatisée SAE sur le site de Nécite Normande (ex Origny / Brezé / Juvilly)
Matériau déposé par transport de [transporteur] Lit 0/31

Principales caractéristiques :

Classe du matériau	St 2 A1
granularité	D < 75 µm (CEN 12546)
VBS	< 2%
IPI	< 10
Densité à l'OPN	1,9 à 2,1
Teneur optimale en eau	12%
MO (teneur volumique)	aucun
Matière organique	< 5%
Sulfates solubles (g/g)	< 1%

FUSEAU LIMECO 0/31.5

Domaines d'utilisation et conditions de mise en oeuvre :

Le produit est un matériau de terre gélive et est autorisé de []
 - En cas de traitement en central de mélange automatisé SAE, le produit est autorisé de []
 - En cas de traitement en centrale de mélange automatisée SAE, le produit est autorisé de []

REMPLISSAGE DES TRANCHÉES / REMBLAIS CONTIGUS
 Epaisseur maximale de 20 cm par couche (sauf des 1^{ers} 1^{ers} mètres de compactage)
 Adapter la teneur en eau au facteur des performances du matériel de compactage (cf. Annexe 1) jusqu'à obtention de la courbe de compactage optimale.

REMBLIS DIVERS
 Réviser en fonction des recommandations des industriels de []
 Epaisseur de couches maximale : 20 à 30 cm (sauf en cas de compacteur de formation) (sauf les performances du compacteur : V2 à V5)
 Adapter la teneur en eau au facteur des performances du matériel de compactage (cf. Annexe 1) jusqu'à obtention de la courbe de compactage optimale.

COURBE DE FORME
 - Remblais de [] (type CO 21.5) (sauf en cas de matériel de type BOC 25 en centrale (sauf 4 à 5% LB))

Particularités
 - Facilement utilisable à l'état sec (sauf en cas de compactage)



La fréquence d'analyses à effectuer pour atteindre cet objectif est indiquée dans le contrat d'engagements des bonnes pratiques environnementales et se doit d'être respectée par tout signataire.

Deux niveaux sont déclinés :

- Un premier niveau minimum pour lequel il est demandé une granularité, une teneur en eau, une VBS et un taux de sulfate par trimestre en production continue et par campagne dans le cadre d'installations mobiles.
- Un second niveau auquel il faut ajouter une densité à l'OPN et courbe proctor plus un IPI une fois par an.

Types d'installations

Les installations de recyclage dépendent fortement des conditions locales d'exploitation (nature des matériaux entrants, emplois visés, importance du gisement...). Dans ce chapitre, il est fait état du processus de recyclage et des matériels utilisables de manière non exhaustive. Des indications sont données concernant le type de l'installation en fonction des volumes à traiter.

En Haute-Normandie, la filière est en cours de développement. Seules quelques entreprises et plateformes proposent ce type de traitement mais la demande est de plus en plus forte de la part des professionnels du recyclage étant donné les intérêts économiques et environnementaux du procédé.

INSTALLATIONS MOBILES

Elles sont composées d'une chargeuse ou d'une pelle équipée d'un godet cribleur à étoiles ou à disques et d'un silo tampon contenant la chaux. Ce silo sera équipé d'un système de dosage volumétrique (vis sans fin).

Ce type d'atelier peut traiter jusqu'à 500 T de matériaux par jour, ceci étant fonction de leur argilosité.



INSTALLATIONS SEMI-MOBILES

Ces installations sont des machines spécifiques qui regroupent dans un espace compact le scalpeur, les cribles adaptés, le silo de chaux et l'outil de malaxage.

Elles sont adaptées pour un usage sur plate-forme de regroupement et de valorisation puisque leur transfert est possible à l'aide d'un porte engin. Elles peuvent atteindre des rendements jusqu'à 800 tonnes par jour, ce qui les rend également adaptées à des gros chantiers de VRD.



INSTALLATIONS FIXES

Ce sont des installations similaires aux centrales de matériaux traités (cf NF P 98-732-1 et GTS Chaussées). Les capacités de traitement sont comprises entre 200 et 400 tonnes par heure.



DOMAINES D'UTILISATION / CONDITIONS DE MISE EN OEUVRE

De façon générale, la performance de la portance recherchée fixe les conditions de mise en œuvre. Elles sont fonction de :

- **La nature et de l'état hydrique du matériau traité à compacter,**
 - **De l'objectif de compactage visé,**
 - **Du matériel de compactage envisagé.**
- La fiche technique produit établie après valorisation

permet d'identifier le matériau à mettre en œuvre : nature et état hydrique. Pour les autres paramètres (épaisseur de mise en œuvre et objectif de compactage), on se reportera au guide technique remblayage de tranchées complété par la note d'information de juin 2007 ou au guide pour les terrassements routiers (GTR) selon le type de chantier réalisé avec le matériau.

Remblayage des tranchées

Dans le cadre des remblais de tranchées, le guide fixe trois objectifs de densification. Ces objectifs sont fixés en fonction de l'implantation de la tranchée, du rôle des différentes couches et de la qualité des matériaux considérés pour chacune des couches.

De manière générale, l'objectif Q3 sera visé pour la partie supérieure du remblai. L'objectif Q4 sera recherché quant à lui pour la partie inférieure du remblai ou corps de remblai. Enfin, un nouvel objectif Q5 a été créé en 2007 pour la zone d'enrobage des réseaux dans la norme révisée NF P 98-331 sur les tranchées.

Les matériaux utilisables à l'état naturel correspondant aux objectifs de densification ci-dessus sont les suivants :



Tableau n°1 : Matériaux utilisables en remblayage de la partie supérieure de remblai de tranchée – Objectif de densification Q3

Appellation selon NF P 11-300 Sols	Symbole classification
Sols sableux et graveleux avec fines (non argileuses)	B1 ; B3
Sols comportant des fines (non argileuses) et des gros éléments	C1B1 ; C1B3 ; C2B1 ; C2B3 C1B4 ; C2B4 après élimination de la fraction fine O / d
Sols insensibles à l'eau	D1 ; D2 ; D3

Source : Remblayage des tranchées et réfection des chaussées – Guide technique - SETRA/LCPC – Mai 1994

Tableau n°2 : Matériaux utilisables en remblayage de la partie inférieure de remblai de tranchée – Objectif de densification Q4

Appellation selon NF P 11-300 Sols	Symbole classification
Sols fins	A1h ; A1m ; A1s ; A2h ; A2m
Sols sableux et graveleux avec fines	B1 ; B2h ; B2m ; B2s ; B3 ; B4h ; B4m ; B4s ; B5h ; B5m ; B5s ; B6h ; B6m
Sols comportant des fines et des gros éléments	C1A1h ; C1A1m ; C1A2h ; C1A2m C2A1h ; C2A1m ; C2A2h ; C2A2m C1B2h ; C1B2m ; C1B4h ; C1B4m C1B5h ; C1B5m ; C1B6h ; C1B6m C2B2h ; C2B2m ; C2B4h ; C2B4m C2B5h ; C2B5m ; C2B6h ; C2B6m
Sols insensibles à l'eau	D1 ; D2 ; D3

Source : Remblayage des tranchées et réfection des chaussées – Guide technique - SETRA/LCPC – Mai 1994

Les modalités de traitement de sol avec la chaux n'ont pas été prises en compte dans le guide de remblayage des tranchées, bien qu'elles puissent s'appliquer d'un point de vue strictement technique. Les matériaux susceptibles d'être utilisés après traitement sont précisés dans le tableau.

Tableau n°3 : Matériaux utilisables après traitement

Sols améliorés après traitement	A1 ; B5 ; B6 ; A2 ; C1A1 ; C1A2 ; C1B5 ; C1B6
---------------------------------	---

Source : Remblayage des tranchées et réfection des chaussées – Guide technique - SETRA/LCPC – Mai 1994

Le guide fournit des tableaux de compactage définissant dans chaque cas, l'épaisseur des couches, le débit théorique du matériel de compactage utilisé, le nombre de passes à effectuer et la vitesse de l'engin. En conséquence, la connaissance de la nature du sol recyclé et de son état hydrique, de la partie d'ouvrage à réaliser et du niveau de compactage précis permet d'utiliser de tels tableaux pour un matériel de compactage retenu.

Exemple d'un cas de sol limoneux traité à la chaux :

- Nature et état hydrique après traitement : A1
- Objectif de densification requis : Q3 (pour partie supérieure de remblai)
- Matériel de compactage envisagé : Compacteur vibrant PV4

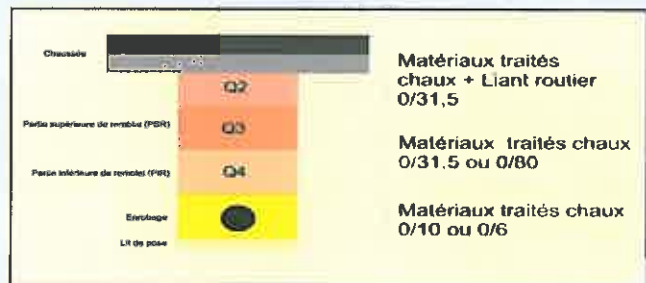
Modalités de compactage suivantes définies dans le tableau 6.3 du guide de remblayage des tranchées :

- Epaisseur (e) = 15 cm
- Débit théorique (Q/L) = 20 m³/h
- Nombre de passages (n) = 12
- Vitesse de l'engin (V) = 1,5 km/h

De manière générale, dans le cadre des chantiers de remblais de tranchées, les matériaux recyclés à la chaux peuvent être utilisés dans les couches suivantes : voir schéma n°4

L'utilisation des matériaux valorisés à la chaux dans le cadre des remblais de tranchées est également détaillée dans un guide édité par EDF-GDF Services. Ce document vise les mêmes objectifs que le présent guide et indique les spécificités souhaitées par EDF-GDF dans leurs chantiers de remblayage de tranchées.

Schéma n°4 : Coupe générale de remblais de tranchées et utilisation des matériaux traités



Remblai

Les conditions d'utilisation en remblai répondent à 7 critères ci-après qui sont symbolisés par une lettre :

- **Extraction = E**
- **Action sur la granularité = G**
- **Action sur la teneur en eau = W**
- **Traitement = T**
- **Régalage = R**
- **Compactage = C**
- **Hauteur des remblais = H**

Ces critères sont définis dans le guide technique « Réalisation des remblais et des couches de formes ». Le tableau ci-après récapitule les différentes conditions pouvant être imposées pour utiliser les différents matériaux en remblais.



Tableau n°4 : Conditions pouvant être imposées pour utiliser les différents matériaux en remblais

Rubrique	Code	Conditions d'utilisation
E Extraction	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Extraction en couches (0,1 à 0,3 m)
	2	Extraction frontale (pour un front de taille > 1 à 2 m)
G Action sur la granularité	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Elimination des éléments > 800 mm
	2	Elimination des éléments > 250 mm pour traitement
W Action sur la teneur en eau	3	Fragmentation complémentaire après extraction
	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Réduction de la teneur en eau par aération
	2	Essorage par mise en dépôt provisoire
T Traitement	3	Arrosage pour maintien de l'état
	4	Humidification pour changer d'état
	0	Pas de condition particulière à recommander
R Régilage	1	Traitement avec un réactif ou un additif adapté
	2	Traitement à la chaux seule
	0	Pas de condition particulière à recommander
C Compactage	1	Couches minces (20 à 30 cm)
	2	Couches moyennes (30 à 50 cm)
	3	Couches moyennes (30 à 50 cm)
H Hauteur des remblais	1	Compactage intense
	2	Compactage moyen
	3	Compactage faible
H Hauteur des remblais	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Remblai de hauteur faible (<= 5m)
	2	Remblai de hauteur moyenne (<= 10m)

Source : Réalisation des remblais et couches de formes – Guide technique - SETRA/LCPC – Juillet 2000

Le compactage ne dispose pas de code 0 puisque le projecteur sera toujours tenu de prescrire une énergie de compactage à appliquer.

Exemple d'un cas de sol limoneux traité à la chaux

- **Nature et état hydrique après traitement :** C1A2m
- **Energie de compactage :** Moyenne – Code 2
- **Matériel de compactage envisagé :** Compacteur vibrant PV5

Modalités de compactage suivantes définies dans le Guide Technique de « Réalisation des remblais et couches de formes »

- **Epaisseur (e) = 30 cm**
- **Débit théorique (Q/L) = 315 m³/h.m**
- **Nombre de passages (n) = 3**
- **Vitesse de l'engin (V) = 3 km/h**

Autres utilisations

Après étude préalable et de formulation, certains matériaux prétraités chaux peuvent admettre un traitement complémentaire au liant routier qui permettra de les utiliser en couche de forme ou couche de fondation.

Ces applications sont développées dans le GTS de 2000 : « *Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Application à la réalisation des remblais et couches de formes* » et dans le guide technique « *Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Application à la réalisation des assises de chaussées* ». En outre, les conditions d'utilisation en couches de formes sont les suivantes :

Tableau n°5 : Conditions pouvant être imposées pour utiliser les différents matériaux en couche de forme

Rubrique	Code	Conditions d'utilisation
G Action sur la granularité	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Elimination de la fraction 0/d sensible à l'eau
	2	Elimination de la fraction grosssière empêchant un malaxage correct du sol
	3	Elimination de la fraction grosssière empêchant un réglage correct de la plate-forme
	4	Elimination de la fraction 0/d sensible à l'eau et de la fraction grosssière empêchant un réglage correct de la plate-forme
W Action sur la teneur en eau	5	Fragmentation de la fraction grosssière pour l'obtention d'éléments fins
	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Arrosage pour maintien de l'état hydrique
T Traitement	2	Humidification pour changer d'état hydrique
	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Traitement avec un liant hydraulique
	2	Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux
	3	Traitement mixte : chaux + liant hydraulique
	4	Traitement à la chaux seule
5	Traitement avec un liant hydraulique et éventuellement un correcteur granulométrique	
S Protection superficielle	6	Traitement avec un correcteur granulométrique
	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Enduit de cure et éventuellement gravillonné
	2	Enduit de cure gravillonné éventuellement clouté
	3	Couche de fin réglage

Assurance qualité

La fourniture de matériaux recyclés pour les remblais dans le cadre de travaux de terrassements ne peut aboutir sans une démarche de gestion de la qualité.

Cette démarche est définie dans le Guide Technique « *Organisation de l'assurance qualité dans les travaux de terrassements* » qui distingue plusieurs étapes partant de l'établissement du Dossier de Consulta-

tion des Entreprises (DCE) jusqu'à l'achèvement de l'ouvrage. Il existe également un guide d'assistance à la rédaction des DCE pour les marchés de terrassements édité par le SETRA.

Pour la fourniture de matériaux recyclés, il faut prendre en compte les dispositions spécifiques définies ci-après et qui résultent des possibilités actuellement observées en région Haute-Normandie.

ÉTUDES

Dans la mesure du possible, les études nécessaires au traitement de sols doivent être réalisées par le maître d'oeuvre 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.

RÉDACTION DCE ET CCTP

Les stipulations techniques figurant au CCTP⁽¹⁷⁾ doivent permettre l'emploi en remblais des sols fins A (A1, A2...) et/ou des sols graveleux (B5, B6) de la norme NF P 11-300.

Les indices de portance minimum après traitement à la chaux devront suivre les recommandations suivantes quelque soit le type de sol.

- | | |
|--|-------|
| • IPI Minimum pour un corps de remblai : | => 10 |
| • IPI Minimum pour la partie supérieure de remblai : | => 15 |

SOPAQ / PAQ

Les exigences devant figurer au Schéma Organisationnel du Plan d'Assurance Qualité (SOPAQ⁽¹⁸⁾) sont :

- la provenance des sols de réemplois,
- la description sommaire du processus de traitement et la capacité des matériels utilisés,
- l'organisation générale des contrôles qualité qui reviennent à l'entreprise et les indications sur les moyens prévus conformément aux exigences du SOPAQ.

Pendant le déroulement du chantier, l'exploitant de l'installation de recyclage doit remettre un Plan d'Assurance Qualité (PAQ) définissant notamment les procédures particulières à la technique vue précédemment :

- exécution du tri sélectif et modalités de gestion

des stocks de sols sélectionnés,

- préparation des sols et technique de traitement mise en œuvre (étude de formulation des matériaux, processus...),
- organisation, consistance et fréquence du contrôle intérieur.

Le PAQ précisera la fréquence des essais adaptée selon qu'il s'agit de classer les sols sélectionnés ou de caractériser l'état des matériaux recyclés (cf. fiche technique produit).

Pendant la durée du chantier, la fiche technique nécessaire à la définition du réemploi du matériau valorisé devra accompagner chaque fourniture. Cette fiche technique est associée à la fabrication d'un produit et à la notion d'un lot de matériaux.

Précautions de mise en oeuvre du matériau

Les précautions de mise en œuvre peuvent varier selon le matériau traité et les matériaux avec lesquels il se retrouve en contact. Par exemple, il est nécessaire de prendre des précautions d'utilisation pour une mise en œuvre sur des tuyaux en fonte car le pH du matériau est basique.

Toutefois, les principales précautions à prendre sont les suivantes :

- le matériau ne doit pas être mis en œuvre lors de fortes précipitations et/ou en période de gel important,
- le support doit être porteur et sec afin de permettre un compactage de bonne qualité,
- le matériau doit être compacté dès sa mise en place,
- le chantier doit être drainé en cas de circulation d'eau importante dans le sol.

SOPAQ⁽¹⁸⁾: Schéma organisationnel du plan d'assurance qualité qui est un document joint à l'offre d'une entreprise. Il indique les lignes générales de la démarche d'assurance de la qualité que l'entreprise prévoit d'appliquer. Doivent y figurer en particulier les réponses au questionnaire éventuel présenté dans le DCE concernant les méthodes et les moyens que l'entreprise appliquera pour réaliser tout ou partie des prestations commandées

ASPECTS ÉCONOMIQUES / ENVIRONNEMENTAUX / SOCIAUX

Impacts économiques

Ce chapitre fournit des éléments de comparaison entre la filière traditionnelle (enlèvement des matériaux, mise en décharge et apport de nouveaux matériaux) et la filière de recyclage sur plate-forme et sur chantier.

Attention, les chiffres fournis ci-dessous sont des valeurs hors taxes indicatives et hors TGAP⁽¹⁹⁾. Il faut les prendre comme des ordres de grandeur reflétant une estimation de la situation en 2009.

FILIÈRE TRADITIONNELLE

La filière traditionnelle consiste à excaver les matériaux de terrassement, les évacuer en installation de stockage de déchets inertes et réaliser un apport de nouveaux matériaux pour le remblayage. Les éléments de coût à prendre en compte, hors fonctionnement du chantier, sont les suivants :

Gestion du déchet :

- Transport vers l'ISDI
- Coût de mise en décharge

Apport de nouveaux matériaux :

- Transport de la carrière au chantier
- Coût d'achat du matériau

Si les coûts de mise en décharge et d'achat de matériaux peuvent être facilement estimés, le coût de transport est quant à lui très aléatoire. Il va évidemment dépendre de la localisation du chantier, du lieu de l'installation de stockage, de la proximité de la carrière et en derniers recours de la nature des travaux.

FILIÈRE DE RECYCLAGE SUR PLATE-FORME

Cette méthode consiste simplement à évacuer les déblais sur une plate-forme acceptant les matériaux terreux et proposant une valorisation à la chaux. Cette solution permet de disposer de matériaux recyclés pouvant être utilisés en remblayage. Les éléments de coûts sont les suivants :

Gestion du déchet :

- Transport vers la plate-forme
- Coût de l'acceptation sur la plateforme justifié par le coût du tri, de la prise en charge et par l'élimination d'une infime partie de DIB⁽²⁰⁾

Apport de nouveaux matériaux :

- Double fret plate-forme
- Coût d'achat du matériau

Le coût d'achat d'un matériau recyclé va avoir peu d'incidence sur l'aspect économique puisqu'il est légèrement inférieur à un matériau naturel. L'avantage économique de cette solution réside dans la mise en place d'un double fret pour l'apport de matériaux de remblayage.

TGAP⁽¹⁹⁾ : Taxe générale sur les activités polluantes
DIB⁽²⁰⁾ : Déchets industriels banals

FILIÈRE DE RECYCLAGE SUR CHANTIER

Cette solution consiste à utiliser du matériel mobile (type godet) directement sur chantier. Elle réduit véritablement, voire annule les coûts de gestion du déchet et d'apport de matériaux puisque tout reste in situ. Les éléments de coûts à prendre en compte sont donc les suivants :

- **Transport, location et fonctionnement du matériel**
- **Aménagement d'un lieu de stockage**
- **Coût de la chaux**

Malgré la réduction de coût, cette méthode doit faire face à des contraintes de réalisation du chantier comme par exemple la mise en place d'un lieu de stockage et de traitement. De plus, selon les conditions particulières de chantier (humidité, type de sols...), le coût de traitement peut être plus important. Enfin, elle constitue une méthode adaptée uniquement pour des petits chantiers de VRD, les rendements de production étant inférieurs à ceux d'une plate-forme.

.....

Prenons l'exemple d'un chantier de réseau sur lequel sont excavés 1000 T de déblais et où un remblayage est effectué. Les déblais sont évacués en 6x4. Une installation de stockage est située à 20 kms, une plate-forme de recyclage à 20 kms et enfin les matériaux naturels sont disponibles à 40 kms.

Une estimation approximative des coûts fait res-

sortir un coût global de gestion du déchet et de remblayage à hauteur de :

- **33 € / T pour la filière traditionnelle,**
- **20 € / T pour la filière de recyclage sur plate-forme,**
- **10 € / T pour la filière de recyclage sur chantier.**

De plus, et à titre indicatif, le recyclage sur place de 1000 T de déblais permet de réduire les émissions de CO₂. En effet, la filière traditionnelle émet approximativement 92 T de CO₂, comprenant l'extraction et le transport des granulats. La filière de recyclage sur chantier, quant à elle, annule toute émission due aux transports. En partant du principe qu'une tonne de chaux = une tonne de CO₂, l'utilisation de la chaux (à hauteur de 1,5 % de chaux / T traitée en moyenne) engendre une émission de CO₂ de l'ordre de 15 T. La filière de recyclage sur chantier permet ainsi une réduction des émissions de CO₂ de l'ordre de 77 T.

Ces données sont à prendre avec beaucoup de prudence, car comme expliqué ci-dessus, cela dépend réellement de facteurs multiples :

- **Lieu du chantier**
- **Distance par rapport à l'ISDI**
- **Distance par rapport à la plate-forme**
- **Distance de la source de matériaux naturels**
- **Fonctionnement du chantier**
- **Type du chantier**
- **Type de sols rencontrés lors de l'excavation**
- **Type de matériels utilisés**

Aspects environnementaux

Dans la partie précédente, il a été prouvé que les transports pouvaient être réduits en favorisant la valorisation des déblais et l'utilisation des matériaux recyclés. L'économie des transports induit également une réduction des nuisances qui y sont liées, notamment les émissions de GES⁽²¹⁾. Celles-ci seront d'autant plus importantes que les matériaux seront recyclés à proximité des chantiers.

D'autre part, l'utilisation de matériaux recyclés engendre une préservation des ressources en granulats

naturels. Effectivement, celles-ci diminuent considérablement et la Haute-Normandie doit faire face à une pénurie de matériaux nobles issus de carrières. Ces derniers doivent donc être réservés pour des utilisations où l'emploi de matériaux recyclés reste limité voire impossible (ex : enrobés, bétons).

Enfin, le recyclage des déblais favorise largement la diminution de mise en décharges et tend à supprimer les dépôts sauvages.

Conclusion

Dans le contexte de l'après Grenelle de l'environnement et de la démarche de développement durable, l'intérêt du recyclage des déblais réside dans la réduction du coût que peut apporter ce type de matériau :

- à la collectivité en réduisant le coût global des travaux mais aussi en réduisant le transport par route des déblais et remblais et ses inconvénients,

- à l'entreprise de travaux et aux donneurs d'ordre en limitant le coût de mise en dépôt des déblais, le coût des transports et ceci en utilisant un matériau à prix comparable et offrant les mêmes garanties d'usage que les matériaux naturels.

LES SITES DE TRAITEMENT EN HAUTE NORMANDIE

Plateformes de traitement des déblais à la chaux

CANA SERVICES – CRTVT

42, route de Calmare
76 210 BEUZEVILLE LA GRENIER
Tél : 02 35 31 71 45
Contact : *Alexandre LOUE*

CBN

ZI zone bleue - Rue Louis Delaporte
76 370 ROUXMESNIL BOUTEILLES
Tél : 02 32 14 42 06
Contact : *Fabien RIDEL*

SAMOG SAS

Hameau du Bourbel - Route d'Aumale
76 340 NESLE NORMANDEUSE
Tél : 02 35 93 50 60
Contact : *Cédric BUISINE*

SARL LELEU

10, rue de Coupigny
76 390 ILLOIS
Tél : 02 35 93 66 07
Contact : *Sébastien LELEU*

SAINTE HONORINE TERRASSEMENT

Hameau les Grandes Molaises
27 910 LES HOGUES
Tél : 02 32 49 72 46
Contact : *Vincent PEREE*

GUERIN MATÉRIAUX RECYCLAGE

Route de l'Aigle
27 250 NEAUFLES AUVERGNY
Tél : 02 32 30 60 98
Contact : *Éric GUÉRIN*

SARL CARRE

ZA Les Casteliers - Route d'Emalleville – Les Faulx
Tél : 02 32 67 04 81
Contact : *Alain CARRE*

Unités semi-mobiles

CANA SERVICES – CRTVT

42, route de Calmare
76 210 BEUZEVILLE LA GRENIER
Tél : 02 35 31 71 45
Contact : *Alexandre LOUE*

SAMOG SAS

Hameau du Bourbel
Route d'Aumale
76 340 NESLE NORMANDEUSE
Tél : 02 35 93 50 60
Contact : *Cédric BUISINE*

Unités mobiles

GAGNERAUD CONSTRUCTION

38, rue Paul Doumer - BP 41
76 700 HARFLEUR
Tél : 02 35 51 04 94
Contact : *Patrice PAUMELLE*

SARL LELEU

10, rue de Coupigny
76 390 ILLOIS
Tél : 02 35 93 66 07
Contact : *Sébastien LELEU*

SAINTE HONORINE TERRASSEMENT

Hameau les Grandes Molaises
27 910 LES HOGUES
Tél : 02 32 49 72 46
Contact : *Vincent PEREE*

GUERIN MATÉRIAUX RECYCLAGE

Route de l'Aigle
27 250 NEAUFLES AUVERGNY
Tél : 02 32 30 60 98
Contact : *Éric GUÉRIN*



Plans Départementaux et Schéma Régional de gestion des déchets du BTP de Haute-Normandie
Plateformes de regroupement et de valorisation des déblais de terrassement



Sources : DRE - DDE27 - DDE76 / AREBTP / ADEME / IGN GEO FLA / © Direction Régionale de l'Équipement de Haute-Normandie - ARTAIG / Décembre 2008

Annexe 1 : Références d'utilisation et d'emplois

Chantier	Année de réalisation	Type de produit	Origine	Utilisation	Quantité
A28	2003	Val'écaux	CBN Dieppe	Remblaiement des pilles d'ouvrage	2 500 T
Réseau eaux pluviales Berneval le Grand (76)	2004	Val'écaux	CBN Dieppe	Remblayage des tranchées	1 500 T
Assainissement eaux usées Barentin (76)	2005		Gagneraud Construction	Remblayage des tranchées	5 000 m ³
Plate-forme Rouxmesnil Bouteilles (76)	2005	Val'écaux	CBN Dieppe	Remblai sous plate-forme	1 000 T
Assainissement eaux usées La Chaussée (76)	2006	Val'écaux	CBN Dieppe	Remblayage des tranchées	1 000 T
Bassin versant (76)	2007	Val'écaux	CBN Dieppe	Mise en œuvre sur un chantier de bassin versant	1 500 T
Assainissement eaux usées Houquetot (76)	2008		Gagneraud Construction	Remblayage des tranchées	1 800 m ³
Lotissement « La Gargatte » Blangy sur Bresle (76)	2008	LIMECO 0-31,5	SAMOG	Accès parcelle et remblayage supérieur des tranchées communes	1 650 T
		LIMECO 0-10		Lit de pose et enrobés	1 500 T
Ancienne prison Dieppe (76)	2008	Val'écaux	CBN Dieppe	Chantier réhabilitation	1 500 T
Assainissement eaux usées La Couture Boussey (27)	2009		Gagneraud Construction	Remblayage des tranchées	1 400 m ³

Annexe 2 : Exemples de fiches techniques « produit »

Caractéristiques du VAL'ECAUX 0/31.5

Description VAL'ECAUX 0/31.5

Nature du matériau
Matériau à granulométrie calibrée et stable
Granulométrie 0/31.5
Classification GTR : A1 stabilité

Caractéristiques Physico-chimiques
Valeur caractéristique de la résistance à la compression f_{ck}

Recommandations
NE PAS METTRE EN ŒUVRE VAL'ECAUX SOUS PRÉCIPITATIONS IMPORTANTES

Domaines d'utilisation

- Remblais pas de conditions d'utilisation particulières application du GTR VAL'ECAUX convient à tous types de remblais en particulier aux remblais de tranchées.
- Concrète de base

AR1 = 0/31.5 de VAL'ECAUX (en 2 couches) en 10/20

VAL'ECAUX est traité chimiquement après séchage

Sous réserve d'études complémentaires VAL'ECAUX peut être traité aux Lanes hydrauliques pour des utilisations plus exigeantes dans les zones à forte circulation pour l'étude d'éventuelles variantes technologiques de plus fortes valeurs f_{ck}

Conseils de mise en œuvre

- Ne pas mettre en œuvre le matériau en condition de pluie et de gel
- La sol support doit être porteur et sûr afin de permettre un compactage correct du VAL'ECAUX 0/31.5
- Compacter immédiatement les zones mises en œuvre en fin de journée s'il y a menace de pluie
- Mettre en œuvre par couches de 0.40 m maximum avec, de préférence, un compacteur vibratoire
- Pour le remblai de tranchée mise en œuvre par couches de 20 à 30 cm
- Drainer en cas de circulation d'eau importante dans le sol
- Séchage possible sur chantier à condition de protéger le tas des intempéries

Fiche Technique LIMECO 0/31.5

Utilisation en remblais de tranchées

Nature du LIMECO :
Valorisation de déchets inertes soûlés et traités et traités à la chaux en centrale de mélange normalisée SAE par le site de Neule haut-maine (axe Bagny / Brezée - Aumale)
Matériau agréé qui participe au Développement Durable

Principales caractéristiques :

Classe du matériau	BS A1
granulométrie	0 à 31.5 mm (type courtois)
VBS	< 2.0
IPI	< 10
pH	< 6.0
Densité à l'OPH	1.67 t/m ³
Teneur optimale en eau	12%
Confinement volumique	14 mm
Matière organique	< 5%
Sulfates sur soluble	< 1%

Domaines d'utilisation et conditions de mise en œuvre :

- Ne pas mettre en œuvre lors de fortes pluies et / ou en période de gel important
- Eviter les tranchées faibles par chantier ou les protéger
- Ne pas mettre en œuvre en contact de l'eau forte (niveau 10cm en sous-sol)

REMBLAGE DES TRANCHÉES / REMBLAIS CONTIGUS
Épaisseur maximale de 20 cm par couche avec des petits moyens de compactage
Adapter le nombre de passes en fonction des performances de compactage
Adopter le mode vibratoire alternatif jusqu'à obtenir le temps de vibration conseillé

REMBLIS DIVERS
Mise en œuvre conformément aux indications de l'ETB
Épaisseur de couche conseillée : 30 à 50 cm avec un gros moyen pour de traitement favoriser les performances du compacteur (20 à 30)
Adapter le nombre de passes et le nombre de compacteur en fonction des performances

COUCHE DE FORME
• Retraitement du LIMECO 0/31.5 précédé par deux couches de type B0/A5 en 4 cm (épaisseur de 4 ou 5% LB)

Particularités
• Facile sensible à l'eau après mise en œuvre et compactage

FICHE TECHNIQUE

AGNERAID
C 1800 / 1800 / 1100
Matière Granulométrique
Granulométrie Calibrée
Laboratoire agréé

DENOMINATION Matériau Le Havre en Heavy Densité **DATE** 2008

Nature du matériau
Limon A1

Matériau valorisé par stabilisation et collage, valeur f_{ck} de 10.0

Granulométrie :	0/31.5	IPI app :	15
VBS :	1.15	Vape :	16.6%
Classification G.T.R. :	A1	pdapp :	1.2%

Recommandations
LA MATIÈRE NE DOIT PAS ÊTRE MISE EN ŒUVRE APRÈS FORTES PRÉCIPITATIONS

Domaines d'utilisation
Le support doit être porteur et sûr afin de permettre un compactage de bonne qualité de matière
La structure doit être compactée dès sa mise en place, surtout en cas de temps de pluie
Drainer en cas de circulation d'eau importante dans le sol
Le stockage de la matière doit être possible sur chantier à condition de procéder à une sommation de stock à l'aide de sacs couverts et autres pour permettre l'écoulement des eaux

Domaines d'application
Remblais application du GTR
Concrète de base

Sous réserve d'études complémentaires de stabilité pour être traité aux Lanes hydrauliques pour des utilisations plus exigeantes
Le laboratoire AGNERAID est disponible pour d'éventuelles études de variantes (compactage de plus fortes valeurs f_{ck})

Annexe 3: Bibliographie

Guides techniques et autres

- Utilisation matériaux recyclés pour le remblayage des tranchées - Chantiers EDF-GDF Services.
- Réalisation des remblais et des couches de forme – Fascicule I : principes généraux – Guide technique – SETRA / LCPC – Juillet 2000 (2^{ème} édition)
- Réalisation des remblais et des couches de forme – Fascicule II : annexes techniques – Guide technique – SETRA / LCPC – Juillet 2000 (2^{ème} édition)
- Remblayage des tranchées et réfection des chaussées – Guide technique – SETRA / LCPC – Mai 1994
- Remblayage des tranchées et réfection des chaussées – Complément au guide Sétra-LCPC de 1994 – CETE Normandie Centre / SETRA – Juin 2007
- Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques – Application à la réalisation des remblais et des couches de forme – Guide Technique – SETRA / LCPC – Janvier 2000
- Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques – Application à la réalisation des assises de chaussées – Guide technique - CFTR / SETRA - Septembre 2007
- Contrat d'engagements de bonnes pratiques environnementales

Références normatives

NF P 11-300 (septembre 1992)

- Indice de classement : P11-300
- Rubrique(s) ICS : 93.020
- Statut : Norme homologuée
- Titre : Exécution des terrassements – Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructure routières

NF EN 1097-1 (novembre 1996)

- Indice de classement : P18-650-1
- Rubrique(s) ICS : 91.100.15
- Statut : Norme homologuée
- Titre : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 1 : détermination de la résistance à l'usure (micro-DEVAL)

NF EN 1097-2 (octobre 1998)

- Indice de classement : P18-650-2
- Rubrique(s) ICS : 91.100.15
- Statut : Norme homologuée
- Titre : Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats – Partie 2 : méthodes pour la détermination de la résistance à la fragmentation

NF P 94-066 (décembre 1992)

- Indice de classement : P94-066
- Rubrique(s) ICS : 93.020
- Statut : Norme homologuée
- Titre : Sols : reconnaissance et essais – Coefficient de fragmentabilité des matériaux rocheux

NF P 94-068 (octobre 1998)

- Indice de classement : P94-068
- Rubrique(s) ICS : 93.020
- Statut : Norme homologuée
- Titre : 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

NF P 94-078 (mai 1997)

- Indice de classement : P94-078
- Rubrique(s) ICS : 93.020
- Statut : Norme Homologuée
- Titre : Sols : reconnaissance et essais – Indice CBR après immersion. Indice CBR immédiat. Indice portant immédiat – Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR

NF P 94-056 (mars 1996)

- Indice de classement : P94-056
- Rubrique(s) ICS : 93.020
- Statut : Norme homologuée
- Titre : Sols : reconnaissance et essais – Analyse granulométrique. Méthode par tamisage à sec après lavage

NF P 94-057 (mai 1992)

- Indice de classement : P94-057
- Rubrique(s) ICS : 93.020
- Statut : Norme homologuée
- Titre : Sols : reconnaissance et essais – Analyse granulométrique des sols - Méthode par sédimentation

NF P 94-051 (mars 1993)

- Indice de classement : P94-051
- Rubrique(s) ICS : 93.020
- Statut : Norme homologuée
- Titre : Sols : reconnaissance et essais – Détermination des limites d'Atterberg. Limite de liquidité à la coupelle.
- Limite de plasticité au rouleau

NF P 94-093 (octobre 1999)

- Indice de classement : P94-093
- Rubrique(s) ICS : 93.020
- Statut : Norme homologuée
- Titre : Sols : reconnaissance et essais – Détermination des références de compactage d'un matériau. Essai Proctor normal. Essai Proctor modifié

NF P 94-067 (décembre 1992)

- Indice de classement : P94-067
- Rubrique(s) ICS : 93.020
- Statut : Norme homologuée
- Titre : Sols : reconnaissance et essais – Coefficient de dégradabilité des matériaux rocheux

NF EN 13286-49 (octobre 2004)

- Indice de classement : P98-846-493
- Rubrique(s) ICS : 93.080.20
- Statut : Norme homologuée
- Titre : Sols : reconnaissance et essais – Matériaux traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques - Partie 49 : essai de gonflements accélérés pour sol traité à la chaux et/ou avec un liant hydraulique.

NF P 98-101 (juillet 1991)

- Indice de classement : P98-101
- Rubrique(s) ICS : 93.080.20
- Statut : Norme homologuée
- Titre : Assises de chaussées – Chaux aérienne calcique pour sols et routes. Spécifications

NF P 98-331 (février 2005)

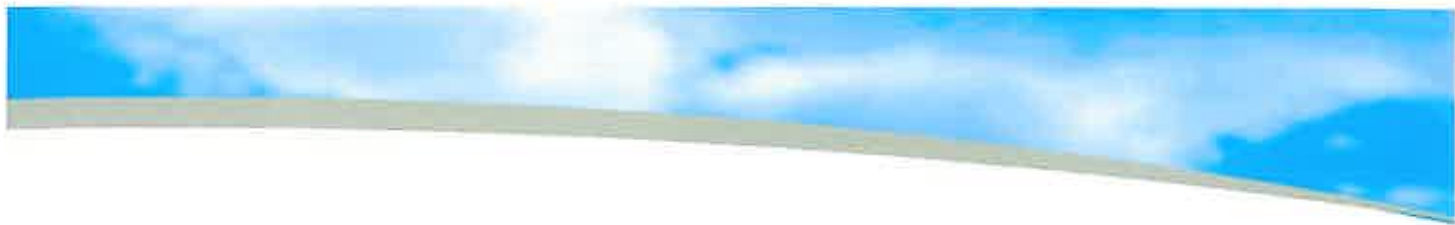
- Indice de classement : P98-331
- Rubrique(s) ICS : 93.020 / 93.080.10
- Statut : Norme homologuée
- Titre : Chaussées et dépendances – Tranchées : ouverture, remblayage et réfection

NF P 98-732-1 (mai 2001)

- Indice de classement : P98-732-1
- Rubrique(s) ICS : 93.080.10
- Statut : Norme homologuée
- Titre : Matériels de construction et d'entretien des routes - Fabrication des mélanges – Partie 1 : centrale de malaxage pour matériaux traités aux liants hydrauliques ou non traités

NF P 18-576 (décembre 1990)

- Indice de classement : P18-576
- Rubrique(s) ICS : 91.100.15
- Statut : Norme expérimentale
- Titre : Granulats – Mesure du coefficient de friabilité des sables



A.R.E.B.T.P

А.Р.Е.Б.Т.П

A.R.E.B.T.P

А.Р.Е.Б.Т.П

A.R.E.B.T.P

А.Р.Е.Б.Т.П



А.Р.Е.Б.Т.П

А.Р.Е.Б.Т.П

А.Р.Е.Б.Т.П

А.Р.Е.Б.Т.П

А.Р.Е.Б.Т.П

А.Р.Е.Б.Т.П





A.R.E.B.T.P
Haute-Normandie

14, rue G. Charpark
76130 Mont Saint Aignan

Tél. : 02 32 19 52 59
Fax : 02 32 19 52 53
@ : are.btp@normandnet.fr