

Mars 2013

Graves de valorisation → Graves chaulées



Sommaire

Avant propos (page 3)

Introduction (page 3)

I. Descriptif des installations de traitement (page 4)

Installation fixe (page 4)

Installation semi mobile (page 4)

Installation mobile (page 5)

II. Origine et classification géotechnique des matériaux à valoriser (page 5)

III. Fabrication d'un matériau chaulé (page 7)

IV. Le choix du réactif: la chaux (page 8)

Caractérisation technique de la chaux spécifique au traitement des matériaux inertes homogènes (page 8)

Préconisations d'utilisation de la chaux vive (page 8)

Descriptif de la réaction de chaulage et ses propriétés (page 9)

V. Traitement à la chaux - Études (page 10)

VI. Évaluation environnementale (page 11)

VII. Caractéristiques des graves chaulées (page 13)

Les divers modes d'élaboration (page 13)

Synoptique du processus de production de Graves Chaulées sur une installation fixe ou mobile (page 14 et 15)

VIII. Domaine d'utilisation et recommandations de mise en œuvre (page 16)

Domaines d'utilisation des Graves de Terrassements Chaulées (GTC) (page 16)

Domaines d'utilisation des Graves de Déconstructions Chaulées mixtes ou bétons (GDC 0-sol M ou B) (page 16)

Domaines d'utilisation du mélange (GDTC 1-sol m ou b) constitué de Graves de Déconstructions (GD M ou B) et de Graves de Terrassements Chaulées (GTC) (page 16)

Recommandations et spécifications de mise en œuvre des Graves Chaulées (GC) (page 16)

IX. Maîtrise de la qualité (page 18)

Le Plan d'Assurance Qualité de l'installation de l'élaboration de la grave chaulée (PAQ) (page 18)

X. Établissement de DCE (page 19)

Intégration aux marchés publics (page 19)

XI. Annexes (page 21 à 26)

Avant propos

Les objectifs du Grenelle de l'environnement visent à avoir une gestion rigoureuse et économe des ressources naturelles en ayant recours aux matériaux recyclés. Aussi, dans la continuité du guide Rhône-Alpes portant sur les graves recyclées de démolition paru pour la première fois en 2005, les acteurs rhônalpins ont souhaité accompagner le développement de la production et l'utilisation de graves chaulées. Le présent guide permet d'en préciser les prescriptions sur la fabrication, la qualité, les essais et la mise en œuvre. Il est le fruit d'un important travail entre les entreprises, les services de l'Etat, les collectivités territoriales et les organisations professionnelles et doit permettre une utilisation sécurisée de ce type de matériaux par les entreprises de travaux publics.

Introduction

Dans ce fascicule, nous partons du postulat que les déblais entrants sont inertes⁽¹⁾ au sens de la directive 1999/31/CE du conseil du 26 avril 1999 - JOCE du 16 juillet 1999.

Dans le cas de matériaux issus de déconstruction et de déblais inertes de chantiers, le document de référence des professionnels pour le contrôle des matériaux est le « Guide méthodologique pour l'acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière » - (MEDDTL mars 2011) et sa déclinaison pour les matériaux recyclés issus des activités du BTP en cours d'élaboration.

Le processus de traitement étudié ici est le chaulage en installation fixe, semi-mobile ou mobile sur les plates-formes de valorisation. Le traitement à la chaux en place ayant déjà fait l'objet de nombreuses études (GTS - 2000).

L'objet de ce guide est le traitement à la chaux seule, nous laissons volontairement de côté les ciments et autres Liants Hydrauliques Routiers (LHR) (cf. chapitre IV Le choix du réactif).

Ce guide est le fruit d'un travail collaboratif de deux années impliquant des représentants des structures suivantes : L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie Rhône-Alpes, le Centre d'Études Techniques de l'Équipement de Lyon, le Conseil Général du Rhône, la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement Rhône-Alpes, la Fédération des Entreprises du Bâtiment et des Travaux Publics du Département du Rhône, le laboratoire de la Direction de la Voirie du Grand Lyon, l'Union Nationale des Industries de Carrières et Matériaux Rhône-Alpes ainsi qu'un fabricant de chaux et un laboratoire privé d'analyses de sols.

Nous remercions l'ensemble des personnes ayant participé au comité de pilotage et aux groupes de travail.

Ce guide a obtenu le certificat de conformité du Comité Avis de l'Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité.

⁽¹⁾Déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante. Les déchets inertes ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique. Ils ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. (Source : Directive 1999/31/CE du conseil du 26 avril 1999 - JOCE du 16 juillet 1999.)

I. Descriptif des installations de traitement

Les installations de valorisation sont à adapter en fonction de chaque situation (nature des matériaux entrants, importance du traitement, réutilisation du matériau en place,...). Nous pouvons recenser trois types d'installations principales :

- installation fixe,
- installation semi mobile,
- installation mobile.

Il existe un matériel adapté à chaque situation. Quelle que soit l'installation, il faudra respecter le processus du traitement décrit dans ce guide.

La région Rhône Alpes offre une diversité de nature de matériaux intéressante où chaque type d'installation trouvera un intérêt qualitatif, économique et environnemental.

→ Installation fixe

Cette installation de grand rendement est mise en œuvre sur des plates-formes imposant une autorisation, un enregistrement, ou une déclaration préfectorale d'exploitation avec comme objectif la valorisation de matériaux chaulés destinés à la commercialisation après maturation.

Elle offre une grande souplesse de traitement pour les chantiers de proximité de faible ou moyenne importance où le traitement in situ n'est pas adapté (proximité de réseaux, altimétrie modifiée...)



Exemple d'installation fixe - © CETE de Lyon

→ Installation semi mobile

Cette installation est destinée à traiter de gros volumes de matériaux en centre de valorisation ou directement sur chantier important.

Le rendement peut atteindre 800 à 1000 Mégagrammes (Mg) ou tonnes par jour (exemple : chantiers importants de VRD). Cette installation nécessite une plate-forme attenante au chantier, ce qui réduit considérablement le nombre de camions, supprime la gêne aux usagers et diminue l'usure et la fatigue du réseau routier.



Exemple d'installation semi-mobile - © CETE de Lyon

→ Installation mobile

Elle est composée d'une chargeuse ou d'une pelle équipée d'un godet cribleur et d'un silo contenant de la chaux vive équipé d'un doseur volumétrique télécommandé.

Cette installation est adaptée pour tous types de chantiers de faible importance.

Le traitement des matériaux peut atteindre 150 Mégagrammes (tonnes) par jour.

L'installation est très rapide et déplaçable à l'avancement du chantier si nécessaire (exemple : chantier d'assainissement ou réseaux enterrés en pleine terre). De faible investissement, elle permet aux novices de se familiariser avec les techniques du traitement à la chaux.

Attention, ce type d'installation nécessite un suivi plus rigoureux, notamment en phase de fabrication : le matériau doit être passé plusieurs fois dans le godet cribleur afin d'obtenir une homogénéité convenable du mélange matériau-chaux.



Exemple d'installation mobile - © CETE de Lyon

II. Origine et classification géotechnique des matériaux à valoriser

Les matériaux excédentaires à valoriser sont inertes et proviennent principalement de :

- Travaux de terrassements en pleine masse ou d'aménagement de plates-formes industrielles ou pavillonnaires,
- Travaux d'excavation sur des chantiers routiers (chaussées et tranchées) et de Voiries et Réseaux Divers (VRD),
- Stériles générés en centres de valorisation lors de l'élaboration de graves issues de déconstructions,
- Découvertes issues de l'exploitation de carrières et de gravières.

Dans certains cas, ces matériaux excédentaires peuvent faire l'objet d'une réutilisation en l'état, selon les règles du GTR et du Guide de remblayage des tranchées, mais en règle générale, ils sont destinés à être évacués en installation de stockage de déchets inertes. Pourtant, leurs caractéristiques géotechniques et le développement de procédés de traitement sur plate-forme permettent une élaboration de ces matériaux en vue d'une valorisation.

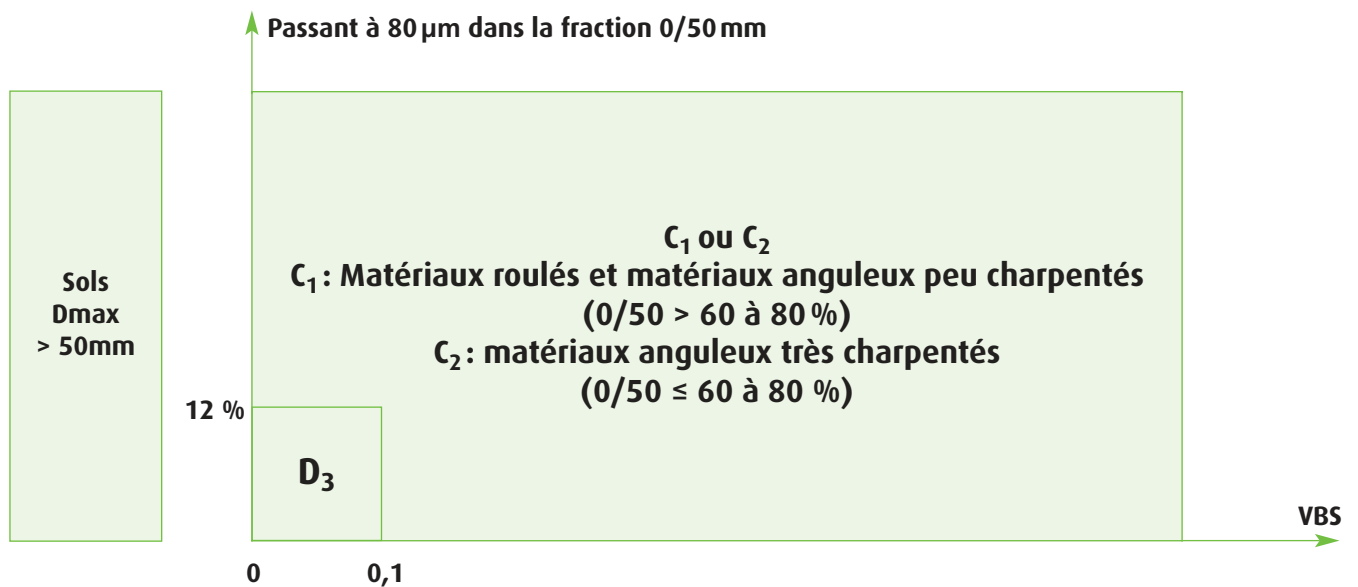
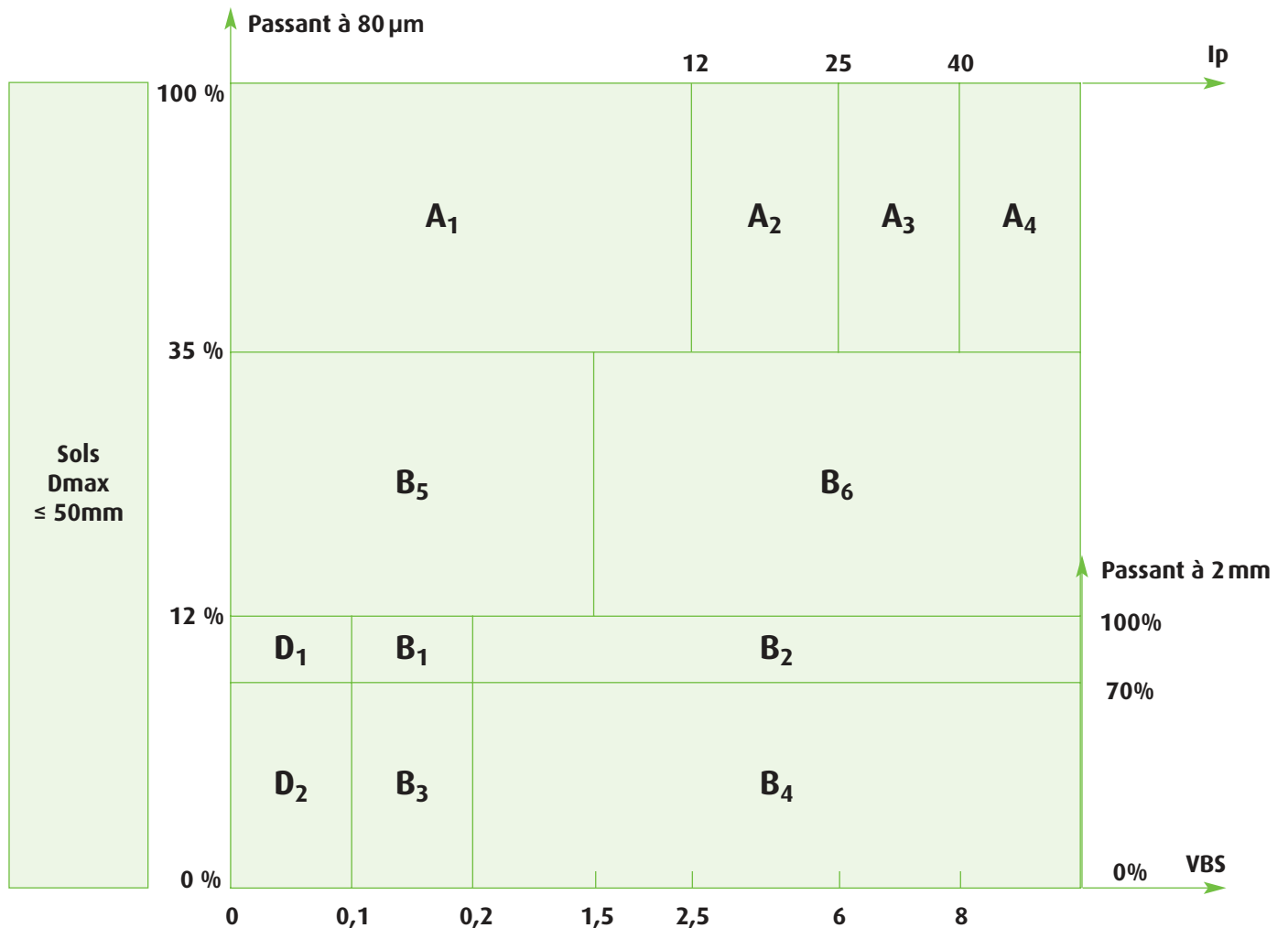
Ces matériaux excédentaires d'origines et de natures géotechniques différentes doivent être identifiés après homogénéisation sur le stock dans le temps, selon la norme NF P 11-300 (GTR-1992). En région Rhône-Alpes, ces matériaux excédentaires sont principalement des matériaux fins, graveleux appartenant aux classes géotechniques : Ai, Bi, ou blocailleux de classes : CjAi, CjBi ou rocheux de classes : Ri. Ces matériaux présentent un caractère évolutif, sensible à l'eau et pour certains gélifs.

En cas de doute, l'aptitude de ces matériaux au traitement à la chaux est vérifiée à partir de l'essai décrit dans la norme NF P 94-100.

Cette vérification sera réalisée dans le cas d'un contexte géologique faisant apparaître des possibilités significatives de présence dans le matériau brut d'éléments perturbateurs (matières organiques, phosphates, chlorures, nitrates, sulfures et/ou sulfates, ces derniers étant responsables de la formation d'ettringite).

L'aptitude peut être considérée comme acquise si le gonflement volumique du matériau préalablement traité reste inférieur ou égal à 5 % (cf. GTS - 2000).

Tableaux synoptiques de classification des sols



Source : extrait de la norme NF P 11-300

III. Fabrication d'un matériau chaulé

Sur une aire de valorisation, la fabrication de la Grave Chaulée se déroule suivant les étapes suivantes :

Gestion des entrants

La phase la plus délicate pour un traitement à la chaux efficace repose sur la gestion des entrants.

Il est primordial de constituer sur une durée suffisante un stock à traiter qui soit le plus homogène possible et le plus représentatif de la future production, afin de pouvoir déterminer précisément le traitement adapté (étude préalable). La constitution du ou des stocks doit passer par une sélection qui peut s'effectuer de la manière suivante :

- Origine : certaines zones géographiques sont connues par expérience comme étant des sols pollués (industriels, à fort pourcentage en hydrocarbures ou en sulfates) donc à éliminer à cause des risques de pollution ou de gonflement provoqués par la formation d'ettringite.
- Identification géotechnique préalable sur chantier pour des travaux importants.
- Identification visuelle à la bascule et au déchargement par des personnes expérimentées en centre de valorisation, afin de différencier les matériaux plus ou moins argileux, plus ou moins humides, voire de refuser les matériaux suspects.

À l'issue de cette sélection, un mode de stockage par couches successives permet la constitution d'un matériau homogène lors de la reprise pour alimenter l'installation de traitement.

Sur ces stocks homogènes ainsi constitués seront prélevés des échantillons représentatifs en vue d'une identification géotechnique selon la norme NF P 11-300 accompagnée de la détermination de l'état hydrique.

Scalpage

Une fois le matériau entrant trié et sélectionné, celui-ci peut être scalpé à 100mm pour séparer la partie la plus grossière. Le refus peut être valorisé sous forme de grave.

Criblage, Emottage

Le passant à 100mm subit ensuite un criblage qui permet d'atteindre une granularité 0/D ($20\text{mm} \leq D \leq 63\text{mm}$). Cette opération, au moyen d'un crible approprié, permet également un émottage du matériau avant son traitement. Le refus du criblage peut être valorisé au même titre que les refus du scalpage ou réintroduit après concassage dans le processus. À l'issue du criblage, le passant peut alors être orienté vers l'installation de traitement à la chaux.

Mélange avec la chaux

Le malaxage doit permettre de mélanger le réactif (la chaux vive) avec le matériau de manière satisfaisante afin de réduire son caractère argileux et de maîtriser sa teneur en eau finale.

Le mélange peut se faire au moyen d'un mélangeur à pales ou tout autre dispositif permettant d'assurer une homogénéité suffisante du mélange matériau/chaux.

La qualité du malaxage doit être adaptée aux objectifs fixés pour l'utilisation des produits chaulés. Il est primordial de déterminer en étude préalable le dosage optimal en chaux vive ainsi que la teneur en eau du mélange final. Le dosage en chaux vive (exprimé en % du matériau à traiter sec) doit s'effectuer de préférence de manière pondérale et l'installation doit permettre si besoin l'ajout d'eau si le matériau traité est jugé trop sec à l'origine ou après mélange. Les performances finales du produit dépendent également fortement de la qualité du malaxage.

Stockage des matériaux traités

Les aires de stockage doivent être convenablement aménagées (drainées et stabilisées) : elles doivent permettre un bon écoulement des eaux superficielles pour éviter toute stagnation au pied des stocks et permettre une reprise correcte des matériaux traités par les engins de chargement. Le stock doit être penté, lissé et éventuellement fermé par un léger serrage. Une croûte de protection se forme naturellement par le processus de carbonatation, spécifique à la chaux vive aérienne. Dans de telles conditions, le stockage permet une amélioration des performances géotechniques et géomécaniques de la Grave Chaulée (GC) dans le temps.

Diverses élaborations sont aussi possibles pour les matériaux ainsi chaulés (Cf chapitre VII) :

- Le chaulage d'un matériau inerte issu de terrassements réalisés en pleine terre.
- Le mélange homogène composé de la fraction granulaire 0/d (riche en fines sensibles à l'eau) chaulée non maturée et de sa fraction granulaire complémentaire d/D non traitée d'un même matériau issu de la déconstruction routière et/ou de bâtiments.
- Le mélange hétérogène constitué d'une proportion granulaire 0/d d'un matériau inerte chaulé mûré issu de terrassements en pleine terre et d'une proportion granulaire 0/D d'une grave élaborée à partir d'un matériau inerte provenant de la déconstruction routière et/ou de bâtiments.

IV. Le choix du réactif : la chaux

Les sols rencontrés en région Rhône-Alpes sont généralement humides et sensibles à l'eau, ce qui ne permet pas une réutilisation en l'état si l'on recherche des performances géotechniques et géomécaniques convenables.

Il est donc nécessaire de traiter ces matériaux avec un réactif normé approprié.

Le produit le plus adapté à ce jour est la chaux vive aérienne calcique, conforme à la norme NF EN 459 -1,-2.

Ce guide exclut volontairement le ciment et autres liants hydrauliques de type routier. Bien que ce traitement ne soit pas volontairement approfondi dans ce guide, il reste néanmoins une piste d'amélioration nécessaire et indispensable sur le plan géomécanique pour répondre à des contraintes routières importantes que subit la future structure de chaussée mais également sur le plan géothermique pour résister à l'agression du gel sévissant sur une longue durée (Dans ce cas, se reporter au guide technique : GTS 2000 et au guide de réalisation des assises de chaussées).

➔ Caractérisation technique de la chaux spécifique au traitement des matériaux inertes homogènes :

La chaux aérienne calcique doit satisfaire aux obligations de conformité pour le marquage CE (norme NF EN 459 -1, -2, -3) suivant les paramètres indiqués sur la Fiche Technique Produit du réactif (Voir modèle de Fiche Technique Produit en annexe).

La teneur CaO + MgO est déterminée selon la norme NF EN 459-2. Elle ne doit jamais être inférieure à 80%.

La teneur CaO + MgO disponible est déterminée selon la méthode Leduc décrite dans la norme NF EN 459-2.

La classe de la chaux vive à préconiser est la suivante : CL80 - Q - Chaux CL calcique vive (Q) ayant une teneur totale en oxyde de calcium ou chaux vive (CaO) et oxyde de magnésium (MgO) de 80%.

La réactivité de la chaux vive constitue le paramètre permettant de contrôler sa qualité : pour cela, il est nécessaire de pratiquer un test de réactivité dès réception selon la norme NF EN 459-2 et de réitérer le test en cas de stockage prolongé de la chaux dans le silo.

La classe de réactivité choisie selon la norme NF EN 459-1 est R4.

La réactivité, qui s'exprime par la valeur t_{60} , représente le temps nécessaire pour porter de 20 à 60°C la température de 600mL d'eau auxquels on ajoute 150g de chaux vive. La valeur t_{60} est exprimée en minutes. Plus la chaux est réactive, plus vite elle réagira et donc plus petite sera la valeur t_{60} . La classe R4 permet d'utiliser une chaux à réactivité élevée, soit $t_{60} < 25$ min afin d'avoir une réaction rapide et d'éviter tout gonflement de la Grave Chaulée (GC).

La granulométrie de la chaux vive ne doit être ni trop grosse (délai de réaction et de diffusion dans le matériau) ni trop fine (risque de perte au vent).

La classe granulométrique retenue par rapport à la norme NF EN 459-1 est *a minima* la classe P3 (passant au tamis de 5mm = 100%, passant au tamis de 2mm \geq 95%, et passant au tamis de 90 μ m \geq 30%).

L'écriture synthétique normée de la chaux vive devant apparaître sur les bons de livraison et/ou sur les étiquettes est par exemple : **CL80 - Q (R4 ; P3)**.

➔ Préconisations d'utilisation de la chaux vive

En ce qui concerne les conditions de travail, la chaux vive est un produit irritant. Son utilisation nécessite des précautions pour éviter d'inhaler des poussières sur les sites de production de matériaux chaulés. Des chaux vives à faible envol de poussières sont quelquefois utilisées sur des sites sensibles. Les Équipements de Protection Individuels (EPI) appropriés seront portés conformément à la fiche de sécurité REACH transmise par le fournisseur de chaux vive.

Après le malaxage avec le matériau inerte homogène, la chaux vive devenue éteinte ne se retrouve plus pulvérisable car associée à celui-ci.

Note : Dans les premiers instants de la réaction avec l'eau, une légère odeur de sous-bois se dégage. Elle provient de l'exothermicité de la réaction d'hydratation de la chaux vive qui entraîne une légère évaporation de l'eau libre présente dans le matériau d'origine.

Lors du stockage, du chargement et de la mise en œuvre de la Grave Chaulée, le problème de poussières devient inexistant à condition de maintenir la GC dans un état hydrique moyennement humide (m).

→ Descriptif de la réaction de chaulage et ses propriétés

La chaux modifie partiellement le comportement des sols évolutifs, sensibles à l'eau, grâce à trois actions distinctes, qui se produisent immédiatement, à court terme puis à long terme :

Une diminution immédiate de la teneur en eau :

La teneur en eau du mélange matériau-chaux se trouve abaissée immédiatement en raison de :

- la consommation de l'eau nécessaire à l'hydratation de la chaux vive,
- l'évaporation d'eau suite à la chaleur dégagée par la réaction d'hydratation exothermique,
- l'aération provoquée par le malaxage, et les reprises de la GC,
- l'apport de chaux, qui augmente le pourcentage de fines.

Des modifications à court terme des propriétés géotechniques de la GC

L'incorporation de chaux vive dans un matériau argileux, développe une agglomération des fines particules argileuses en éléments plus grossiers et friables : c'est la floculation (formation d'agglomérats ou « grumeaux »).

Les incidences de cette réaction sur le mélange matériau-chaux entraînent :

- une **diminution de l'Indice de plasticité : I_p** ,
- une **augmentation de l'Indice Portant Immédiat : IPI** ,
- un **aplatissement de la courbe Proctor Normal** avec diminution de la masse volumique apparente sèche à l'optimum Proctor et augmentation de la teneur en eau optimale.

Le matériau argileux humide passe ainsi de manière progressive d'un état plastique à un état **solide, friable, non collant et perd progressivement sa sensibilité à l'eau**.

Le matériau chaulé peut être considéré comme non sensible à l'eau si le rapport suivant est vérifié: →

Des modifications à long terme de la GC

La chaux hydratée ou éteinte : $Ca(OH)_2$ en tant que base forte, élève le pH ($pH > 10$) de la GC et provoque ainsi en milieu aqueux, l'attaque et la solubilisation des complexes limono-argileux du matériau (silice et alumine). Il se forme alors des aluminates et des silicates de calcium hydratés (réaction pouzzolanique) qui, en cristallisant et précipitant, agissent comme un liant entre les agglomérats ou « grumeaux ». Il est à noter que l'intensité et la vitesse de ces réactions chimiques à long terme dépendent d'un certain nombre de paramètres :

- le pH (potentiel Hydrogène),
- le dosage optimal en chaux vive (quantité maximale de chaux éteinte « consommable » par l'argile présente dans le matériau à traiter pour alimenter les réactions),
- la teneur en eau : c'est l'**eau résiduelle, libre** circulant dans le matériau traité qui permet la poursuite des phénomènes de modification des matériaux par floculation des argiles présentes dans le matériau stocké sur plate-forme. Il est donc primordial que le matériau avant et après traitement ne se retrouve pas dans un état **s** (sec), **ts** (très sec),
- **la température** ambiante : pour que l'effet pouzzolanique s'opère, la température doit être supérieure à + 5°C ; si elle passe en dessous de 5°C, cette réaction s'interrompt mais reprend dès que la température remonte au-dessus de 5°C,
- le compactage de la GC lors de sa mise en œuvre, permet le rapprochement spatial des éléments réactifs et facilite la poursuite de la réaction pouzzolanique.

$$\frac{I_{CBR} \text{ Chaulé } 4j \text{ d'immersion}}{IPI \text{ Chaulé}} \geq 1$$

Avec: I_{CBR} = indice de portance californien (California Bearing Ratio)
et IPI = Indice Portance Immédiat (de 0,8 à 1,00 de l'OPN)

Remarque

Le compactage à l'OPN imposé au matériau chaulé lors de l'essai CBR suivi d'une immersion totale pendant 4 jours permettent de démontrer l'insensibilité à l'eau d'une GC m (moyennement humide). Ce test de laboratoire se rapproche davantage de la réalité de chantier comparativement à l'essai de la Valeur au Bleu de méthylène du Sol (VBS) La VBS selon la norme NF P 94-068, exige une mise en suspension totale des particules d'argile (agglomérées sous l'action de la chaux vive en présence d'eau) contenues dans la fraction granulaire 0/5mm de la GC au moyen d'une agitation mécanique vigoureuse de la solution aqueuse pour faciliter le phénomène d'adsorption du bleu de méthylène introduit, sur la surface externe de chaque grain argileux libéré. Ce mode opératoire sévère imposé à l'échantillon, ne représente pas les conditions réelles d'exposition à l'eau du matériau chaulé compacté sur un chantier routier. Néanmoins, cet essai non retenu dans le cas présent permet de caractériser l'argilosité du matériau (paramètre de nature) qui traduit sa sensibilité « intrinsèque » à l'eau indispensable pour le classer géotechniquement selon la norme NF P 11-300.

V. Traitement à la chaux - Études

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

Chaque famille de matériau à traiter doit faire l'objet d'une étude permettant de définir le dosage optimal en chaux. Cette étude préalable telle que définie dans la norme NF EN 13286-49 et dans le GTS (2000) comporte deux volets :

- L'identification et la classification géotechnique selon la norme NF P 11 300 (GTR-1992) des matériaux destinés au chaulage.
- La formulation des mélanges, en laboratoire, ayant pour but d'optimiser le dosage pondéral en chaux vive des matériaux qualifiés à l'état sec pour atteindre les performances recherchées. Le dosage doit être déterminé selon la formule suivante :

$$d \% = \frac{Q}{Mms + Q} \times 100$$

Avec : **d** = pourcentage de chaux ou teneur pondérale en chaux vive en % de matériau sec

Q = masse de chaux vive

Mms = masse de matériau sec

La **classification géotechnique** se fait avant chaulage. Après chaulage, on parle d'assimilation à la classification de départ. Elle est obtenue par :

- L'identification analytique avant traitement (granulométrie, valeur au bleu, Courbe Proctor Normal, IPI, CBR...) de l'échantillon « moyen » constitué et représentatif du stock de matériau inerte homogène avant chaulage.
- La connaissance de la plage de variation de la teneur en eau du stock. Cette plage est obtenue en mesurant la teneur en eau sur divers prélèvements caractérisant divers états hydriques (définis à partir de la courbe Proctor Normal préalablement établie).

Remarque

ce dosage en pourcents n'est pas le même que le dosage à régler sur l'installation de traitement. Il doit être converti en pourcentage massique de matériau humide Mmh (à sa teneur en eau naturelle mesurée juste avant le chaulage).

Objectifs du traitement des sols appliqué à la réutilisation des sols trop humides en remblai

IPI	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 de 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

Source : Guide technique pour le Traitement des Sols

* 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 (à la plaque, 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 envisagés 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 $I_{CBR} / IPI \geq 1$ (cf B-2.2 du GIS)

Etude de formulation

Pour le matériau qualifié cette étude permet de définir le dosage optimal en chaux d'un point de vue géotechnique nécessaire pour permettre le compactage et assurer la portance recherchée.

Elle est fondée sur la réalisation d'abaques donnant le pourcentage pondéral de chaux à appliquer en fonction de la teneur en eau pour obtenir les valeurs de portance fixées par le GTS - 2000 pour les familles de matériaux signalées, en différenciant les emplois en corps de remblais (Partie Supérieure de Terrassement et l'ARase) de ceux de la couche de forme pour lesquels le niveau de portance fixé est plus élevé. De tels abaques permettent de fixer et d'ajuster la quantité de chaux vive à incorporer aux matériaux sélectionnés.

Suivi géotechnique de production

Un suivi analytique régulier du matériau inerte homogène à chauler doit permettre de confirmer sa classe géotechnique puis de déterminer la teneur en eau du matériau après traitement, paramètres indispensables et nécessaires à la caractérisation de la Grave Chaulée (GC) et à la définition des conditions géotechniques de sa mise en œuvre sur le chantier en élaborant au préalable le plan de compactage.

VI. Évaluation environnementale

L'évaluation environnementale globale est présentée dans le tableau page suivante.

L'ensemble des indicateurs illustre les avantages et inconvénients d'une technique dans chacun des grands piliers du développement durable : l'environnement, l'économie et le social.

Il revient aux concepteurs de donner les éléments pour quantifier ces différents paramètres, mais il est de la responsabilité du maître d'ouvrage d'y affecter un coefficient de pondération pour l'analyse globale.

À ce niveau, la volonté est de donner les outils aux concepteurs et maîtres d'ouvrage pour pouvoir comparer quantitativement différentes variantes sur un projet, mais aussi de donner une tendance générale pour les indicateurs qui ne sont pas directement liés au projet.

Divers documents en application et d'autres en préparation comme l'analyse du cycle de vie de la chaux confirment l'intérêt et l'incitation forte à valoriser les matériaux inertes plutôt que les diriger vers un dépôt définitif (Installation de Stockage de Déchets Inertes), dont le coût, agrémenté d'une Taxe Générale sur les Activités Polluantes (TGAP), ne cessera d'augmenter :

- 5e axe du plan d'Etat 2009-2012 du 14/10/2009 relatif aux déchets qui vise à augmenter la part valorisée de déchets du bâtiment et des travaux publics, par l'introduction et le renforcement d'aides et d'incitations fiscales adaptées au secteur.
- Plans départementaux de gestion des déchets du BTP de Rhône-Alpes.
- Cadrage régional des ressources en matériaux de construction.
- Convention d'engagement volontaire signée en mars 2009 par l'Etat, des représentants de la maîtrise d'ouvrage, de la maîtrise d'œuvre et de la profession.
- Code des marchés publics qui intègre l'Environnement dans les clauses d'attribution des marchés et autorise les variantes environnementales.
- Les règlements de voirie de collectivités locales qui incitent à l'utilisation de ces matériaux en tranchées.
- Guide méthodologique : Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière et sa déclinaison pour les matériaux recyclés issus des activités du BTP, en cours d'élaboration.

Évaluation développement durable des différents types de graves, de la production à l'utilisation

	Facteur comparatif	Indicateurs	Graves Chaulées	Graves Naturelles	Graves de Déconstructions	
			Tendances			
Production	Lutte contre le changement climatique					
	GES	Quantité de Gaz à effet de serre émise pour la fabrication de la grave <i>Plus la quantité sera grande, plus l'impact DD sera négatif</i>	-	+	+	
	Préservation de la biodiversité, protection des milieux et des ressources					
	Economie des ressources	Carburant utilisé pour la fabrication, tonnage de matériaux naturels prélevés en carrière <i>Plus la quantité sera grande, plus l'impact DD sera négatif</i>	++	--	++	
	Impact paysager	Impact du site de fabrication <i>Plus l'impact sera grand, plus l'impact DD sera négatif</i>	+	-	+	
	Cohésion sociale					
	Coût	Coût de la grave <i>Plus le coût sera élevé, plus l'impact DD sera négatif</i>	=	=	=	
Dynamique de développement suivant des modes de production et de consommations responsables						
Valorisation	Volume de matériaux issus des filières de recyclage et valorisation des déchets <i>Plus le volume sera grand, plus l'impact DD sera positif</i>	++	-	++		
Utilisation	Lutte contre le changement climatique					
	GES	Quantité de Gaz à effet de serre émise pour les différentes composantes liées à l'utilisation de la grave (transport...) <i>Plus la quantité sera grande, plus l'impact DD sera négatif</i>	/	/	/	
	Cohésion sociale					
	Délais	Délai de réalisation du projet (épaisseur à mettre en œuvre suivant la performance du matériau) <i>Plus les délais seront longs, plus l'impact DD sera négatif</i>	+	-	-	
	Entreprises locales	Recours à leurs services (% et nombre) <i>Plus le nombre et % seront élevés, plus l'impact DD sera positif</i>	=	=	=	
	Dynamique de développement suivant des modes de production et de consommations responsables					
Production de déblais	Volume de déblais produit lors du chantier <i>Plus le volume sera grand, plus l'impact DD sera négatif</i>	++	+	+		
Fatigue du réseau routier existant	Nombre de rotations poids lourds <i>Plus le nombre de PL sera grand, plus l'impact DD sera négatif</i>	/+	/-	/-		

Remarque

L'évaluation des indicateurs est volontairement simplifiée :

- ++ : lorsque l'utilisation de la grave concernée est très avantageuse d'un point de vue développement durable, son impact DD est donc très positif
- + : lorsque l'utilisation de la grave concernée est avantageuse d'un point de vue développement durable, son impact DD est donc positif
- : lorsque l'utilisation de la grave concernée est désavantageuse d'un point de vue développement durable, son impact DD est donc négatif
- : lorsque l'utilisation de la grave concernée est très désavantageuse d'un point de vue développement durable, son impact DD est donc très négatif.
- / : signifie que le critère est directement lié au projet et est donc très difficile à estimer a priori

VII. Caractéristiques des graves chaulées

→ Les divers modes d'élaboration

Après la réalisation du traitement à la chaux des matériaux inertes en centre de valorisation, plusieurs modes d'élaboration de ces derniers aboutissant à des Graves Chaulées (GC) peuvent s'envisager.

Ainsi, les procédés les plus couramment mis en œuvre ou à mettre en œuvre sur la région Rhône-Alpes sont les suivants :

La Grave de Terrassements Chaulée

Les déblais inertes provenant de travaux de terrassements réalisés en pleine terre, d'ouvertures de tranchées également réalisées en pleine terre et éventuellement de « Stériles » issus de l'élaboration de la Grave de Déconstructions mixte ou béton, sont réceptionnés sur des aires spécifiques de stockage en centre de valorisation dans le but de constituer au cours du temps un matériau inerte **homogène**.

Ce dernier avant de subir le chaulage est analysé géotechniquement dans le but de le classer selon la norme NF P 11-300 (GTR) et de déterminer sa teneur en eau initiale indispensable au dosage optimal en chaux vive (CaO).

La Grave de Terrassements Chaulée obtenue sera commercialisée sous une référence qui prendra en compte son origine (Terrassements).

Ainsi, la Grave de Terrassements Chaulée appartiendra à la catégorie **0** qui l'assimile à un sol naturel de granularité **0/D** selon le Guide technique régional des Graves Recyclées. Elle s'écrira sous la forme abrégée :

GTC 0-sol 0/D (Dmax = 63mm)

Remarque - Conditions à respecter

Cette Grave de Terrassement Chaulée fraîchement produite devra subir sur son aire de production aménagée à cet effet, une maturation d'une durée de l'ordre de trois mois avant sa commercialisation, afin de permettre aux réactions chimiques internes décrites au chapitre « Le choix du réactif : la chaux » de se poursuivre normalement.

Les Graves Chaulées mélangées

Première possibilité : **Mélange « homogène » en ligne**

Au cours de l'élaboration la Grave de Déconstructions Chaulée mixte (**GDC M**) ou béton (**GDC B**) 0/D obtenue à partir de déblais inertes de déconstructions, subit d'abord un scalpage à la dimension granulaire **d** pour obtenir provisoirement les fractions granulaires suivantes :

- La fraction granulaire **d/D'** subit un concassage destiné à ramener la dimension granulaire à **D** et à produire des fines propres sur le plan géotechnique. La fraction granulaire obtenue possède la granularité **0/D**.
- La fraction granulaire **0/d** communément appelée « stériles » contient des fines impropres sur le plan géotechnique. Pour cela, cette fraction subit en ligne un traitement à la chaux vive (CaO), pour se retrouver mélangée (toujours en ligne) à la nouvelle fraction granulaire **0/D** sans avoir connu au préalable une phase de maturation.

L'écriture abrégée de ce mélange « homogène » chaulé sera :

GDC 0-sol M ou B 0/D (Dmax = 80mm)

Seconde possibilité : **Mélange « hétérogène » différé**

La Grave de Terrassements Chaulée **GTC 0-sol 0/d après maturation** pourra être mélangée dans des proportions à définir préalablement, à une Grave de Déconstructions mixte (**GD 1-sol M 0/D**) ou béton (**GD 1-sol B 0/D**) assimilée à la classe géotechnique D3 selon le Guide technique régional sur les Graves Recyclées.

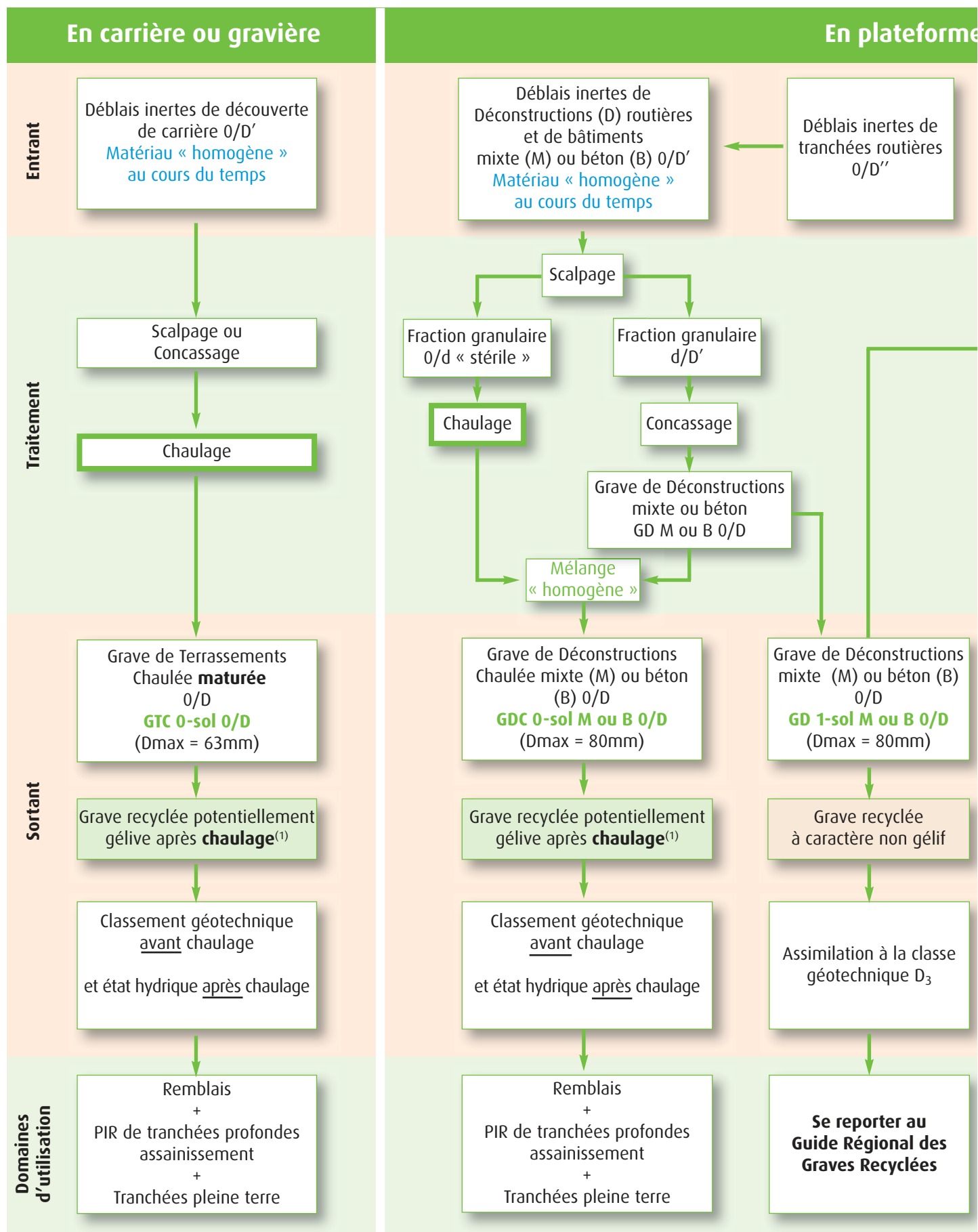
La quantité limite d'ajout de Grave de Terrassements Chaulée maturée 0/d (**GTC 0-sol 0/d**) à la Grave de Déconstructions mixte 0/D (**GD 1-sol M 0/D**) ou béton (**GD 1-sol B 0/D**) ne devra en aucun cas modifier le caractère non gélif imposé au mélange final dont l'écriture abrégée sera :

GDT 1-sol M ou B 0/D (Dmax = 80mm)

Remarque

Une série d'essais de gonflement au gel devra être réalisée pour définir la quantité maximale de GTC 0-sol 0/d à intégrer au mélange, afin de s'assurer qu'il présente un caractère non gélif. La proportion sera indiquée dans la Fiche Technique Produit.

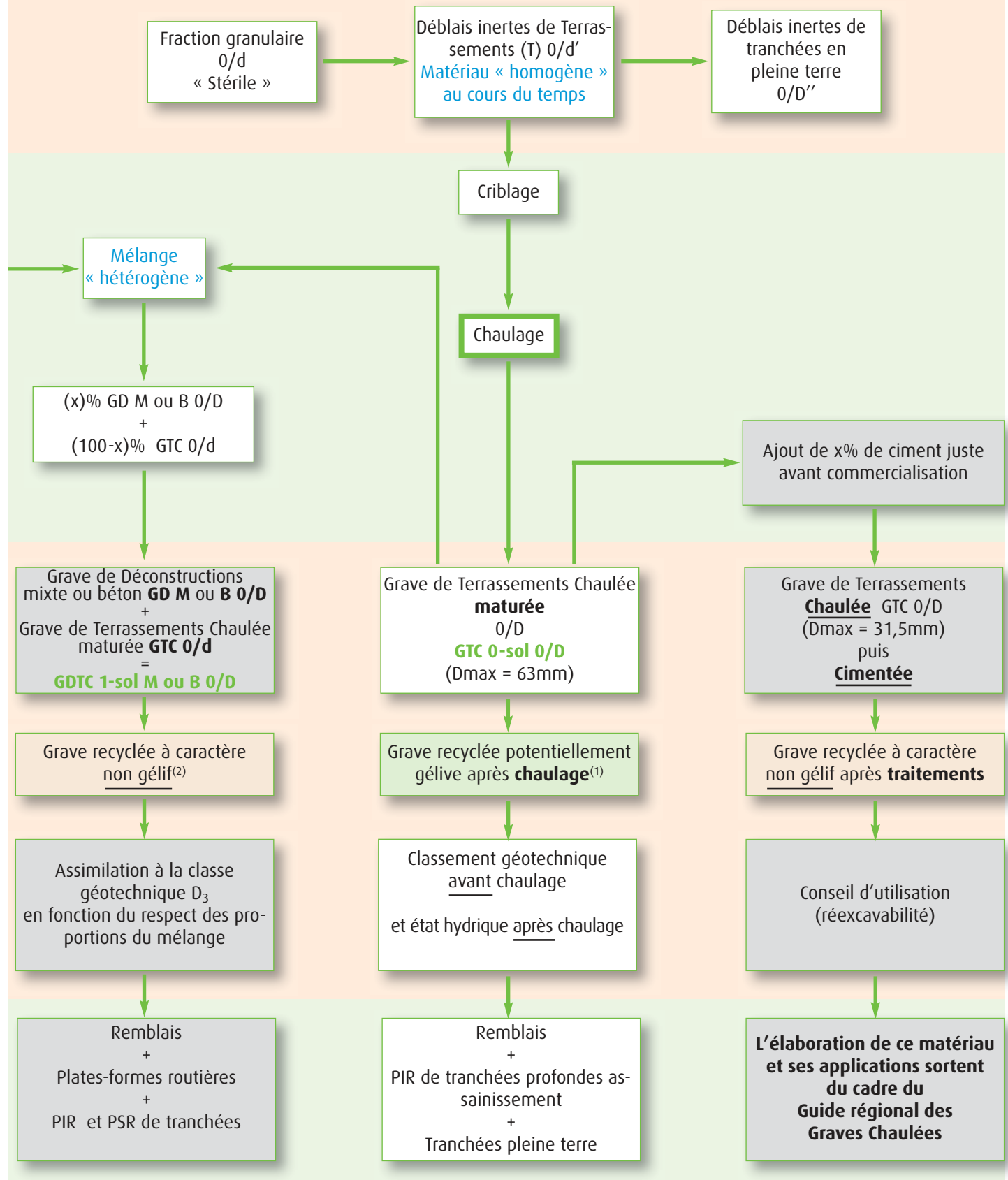
Synoptique de processus de production de graves



(1) Le caractère peu gélif est généralement constaté régionalement (exemple C₁, B₅ voir page 16). Pour élargir les domaines d'utilisation, le caractère non gélif doit être démontré au cas par cas.

Chaulées sur une installation fixe ou semi-mobile

Le valorisation



(2) Après mélange sur le produit fini le caractère non gélif doit être démontré pour pouvoir l'assimiler à un D₃.

VIII. Domaines d'utilisation et recommandations de mise en œuvre des graves chaulées

→ Domaines d'utilisation des Graves de Terrassements Chaulées (GTC)

Les domaines d'utilisation des Graves Chaulées dépendent essentiellement de leur sensibilité au gel après chaulage.

Dans le cadre de ce Guide technique régional, le CETE de Lyon et le Laboratoire de Clermont-Ferrand ont réalisé au cours de l'année 2011, une série d'essais de gonflement au gel selon la norme NF P 98-234.2 sur des matériaux inertes homogènes de terrassements en pleine terre, classés géotechniquement B5 avant chaulage puis traitée à hauteur de 1,4% pondéral à la chaux vive (CaO). Les échantillons réalisés ont été testés à différents stades de maturation en fonction du temps.

Ces essais ont permis de conclure que cette Grave de Terrassements Chaulée (GTC) présente un **caractère peu gélif après traitement**.

En conséquence la Grave de Terrassements Chaulées GTC 0-sol 0/D est considérée potentiellement gélive, sauf étude particulière et/ou accord du Maître d'Ouvrage. Elle est donc autorisée uniquement en Partie Inférieure de Remblai (PIR) de tranchées profondes d'assainissement sous chaussées, en tranchées réalisées en pleine terre et en remblais routiers.

Les domaines d'utilisation de la Grave de découvertes de carrière Chaulée 0/D sont identiques à ceux de la **GTC 0-sol 0/D**.

Note : *Le traitement à la chaux augmente l'angle de frottement interne du matériau chaulé permettant ainsi la réalisation de remblais d'ouvrages routiers présentant des pentes plus raides qu'avec le même matériau non traité. Cet avantage permet notamment de limiter l'emprise au sol des ouvrages routiers.*

→ Domaines d'utilisation des Graves de Déconstructions Chaulées mixtes ou bétons (GDC 0-sol m ou b)

Du fait de son caractère potentiellement gélif après chaulage, les domaines d'utilisation de la **Grave de Déconstructions Chaulée (GDC)** sont identiques à ceux de la Grave de Terrassements Chaulée (GTC 0-sol 0/D) et de la Grave de découverte ou de scalpage de carrière Chaulée.

Rappels des domaines d'utilisation :

- En Partie Inférieure de Remblai (**PIR**) de tranchées en pleine terre et tranchées profondes d'assainissement.
- En remblais routiers.

Des tableaux récapitulatifs de classification, domaines d'emploi et de mise en œuvre, sous forme de triptyque, sont présents en annexes du guide.

→ Domaines d'utilisation du mélange (GDTC 1-sol M ou B) constitué de Grave de Déconstructions (GD M ou B) et de Grave de Terrassements Chaulées (GTC)

Les domaines d'utilisation de ce mélange « hétérogène » (**GDTC 1-sol M ou B**) lorsque le caractère non gélif est démontré, sont les suivants :

- Tranchées : Partie Inférieure de Remblai (PIR), Partie Supérieure de Remblai (PSR).
- Plates-formes routières (Classe de plate-forme minimale visée : PF2 - 50MPa).
- Remblais routiers.

→ Recommandations et spécifications de mise en œuvre des Graves Chaulées (GC)

La mise en œuvre des Graves Chaulées (GC) nécessite de prendre certaines précautions à savoir :

- Travailler en dehors des zones inondables à cause du pH très basique de la GC.
- Utiliser au minimum 50cm au-dessus des plus hautes eaux de la nappe phréatique.
- Eviter la mise en œuvre en cas de forte pluie.
- « Fermer » la surface de la GC en place tous les soirs par compactage.
- Réaliser un traitement de cure pour la fermeture définitive du chantier :

La protection superficielle à appliquer sur :

- l'ARase de terrassement réalisée en **GTC 0-sol 0/D** ou en **GDC 0-sol M ou B 0/D**,
- la couche de forme réalisée en **GDTC 1-sol M ou B 0/D**

est assurée par un traitement de cure constitué d'un épandage uniforme d'une couche d'émulsion suivi d'un cloutage à l'aide de gravillons concassés de granularité 4/6mm ou 6/10mm, à raison de 5 à 7 kg/m².

En cas de nécessité absolue d'utiliser des **GTC 0-sol 0/D** ou encore **GDC 0-sol M ou B 0/D** présentant un caractère potentiellement gélif, sur un chantier en présence d'eaux souterraines proches de la surface, des moyens de protections particulières pourront être appliqués. À savoir :

- La réalisation d'un drain destiné à stopper les remontées capillaires en plaçant d'abord un géotextile anti-poinçonnement directement sur le sol naturel en place, puis de procéder au régalage une couche drainante constituée de gravette sans fines sur une épaisseur de 10cm environ. Cette couche est recouverte d'un second géotextile identique au premier sur lequel est mise en œuvre la GC au sens de la norme NF P 98-234.2.

- L'élaboration d'une **GC 0-sol 0/D** maturée en centre de valorisation complétée d'un faible ajout de ciment juste avant sa mise en œuvre sur le chantier, en s'assurant par une étude préalable de la réexcavabilité du matériau.

De façon générale, la performance de la portance recherchée sur les arases de terrassement des remblais et les qualités de compactage de la Partie Inférieure de Remblai (PIR) en tranchées en pleine terre ou profondes d'assainissement sous chaussée qui concernent plus particulièrement la **GTC 0-sol 0/D** ou encore la **GDC 0-sol M** ou **B 0/D**, imposent des conditions de mise en œuvre.

Ces conditions sont fonction des paramètres suivants :

- la classification géotechnique avant chaulage et l'état hydrique m (moyennement humide) de la Grave Chaulée (GC) avant la commercialisation et la mise en œuvre sur chantier,
- l'objectif de densification visé (q5 et q4) pour l'obtention de la qualité de compactage des remblais chaulés de tranchées,
- l'engin de compactage retenu et sa classe spécifique établie dans les Guides Techniques nationaux pour la réalisation des Terrassements Routiers (GTR) ou le Remblayage de tranchées (SETRA-LCPC)

En arase de terrassement, le compactage doit être réalisé avec un compacteur à pneus mais il est possible d'utiliser un compacteur vibrant à cylindres lisses. Dans ce cas, les dernières passes de chaque couche mise en œuvre doivent s'effectuer avec ce cylindre mais sans vibration dans le but d'éviter le phénomène de « feuillette ».

La Fiche Technique Produit (**FTP**) de la Grave Chaulée (GC) établie par le producteur avant sa commercialisation (voir en annexe) permet d'identifier et caractériser ce matériau chaulé et maturé, afin d'adapter et optimiser sa mise en œuvre. Elle indique notamment la classification géotechnique (NF P 11-300) du matériau inerte avant traitement, son état hydrique après chaulage, la teneur pondérale en chaux vive (CaO) exprimée en % pondéral par rapport au matériau sec ainsi que la date du chaulage pour s'assurer du temps de maturation de l'ordre de trois mois.

Rappel

Les paramètres indispensables à l'établissement d'un plan de compactage, sont :

- l'épaisseur des couches compactées à mettre en œuvre,
- l'objectif de densification à respecter (q5 et q4),
- le nombre de passes de l'engin de compactage choisi par l'Entreprise de terrassements.

Pour cela, on s'appuiera sur les Guides Techniques nationaux destinés à la réalisation des Terrassements Routiers (GTR) et au Remblayage de tranchées en prenant en compte le type du chantier à réaliser ainsi que les propriétés géotechniques de la Grave Chaulée (GC) retenue pour le futur chantier.

Classification des graves chaulées comme matériau selon NF P11-300

Catégorie	GTC0 - sol	GDC0 - sol	GDTCT1 - sol	Fréquences des contrôles
			(x)% GD 0/D + (100-x)% GTC 0/d	
Paramètres de nature				
Granularité (NF P 94-056)	0/D D max ≤ 63 mm	0/D D max ≤ 80 mm	0/D D max ≤ 80 mm	1 / 2000 tonnes ⁽¹⁾ ou 1 / chantier
Valeur au bleu (Propreté) (NF P 94-068)	valeur déclarée	valeur déclarée	0,10 (CdF)	
Paramètres de comportement mécanique				
Dureté	Sans Objet		si D ≥ 31,5 mm	engagement producteur sans fréquence ⁽²⁾
LA (NF EN 1097-2)			≤ 45	
MDE (NF EN 1097-1)			≤ 45	
Indice Portant Immédiat (NF P 94-078)				1 / 5j production ou 1 / 2000 tonnes ⁽¹⁾ ou 1 / chantier
Classe du matériau : C ₁ PB ₅	15 à 30	≥ 30 (x)		
Autres classes possibles :				
A ₃ , CiA ₃	5 à 10	≥ 10		
A ₂ , CiA ₂ , B ₆ , CiB ₆	7 à 15	≥ 15		
A ₁ , CiA ₁	10 à 20	≥ 20 (x)		
B ₂ , CiB ₂ , B ₃	15 à 30	≥ 30 (x)	1 / production	
B ₄ , CiB ₄	20 à 40	≥ 40 (x)		
I _{CBR} chaulé 4j d'immersion / IPI (NF P 94-078) entre 0,80 et 1,00 de OPN	Sans Objet		≥ 1	
Caractéristique physico-chimique				
Teneur en sulfates solubles dans l'eau (NF EN 1744-1 art.10.2)			SS _{0,7}	engagement producteur sans fréquence ⁽³⁾
Caractéristiques de fabrication				
Identification des origines des matériaux selon (NF EN 933-11)			Rcug 70	1 / 5j production ou 1 / 2000 tonnes ⁽¹⁾
			X1	
			FL5	
Classement géotechnique - Domaine d'utilisation (Réemploi)				
Utilisation (NF P 11-300)	Remblais		Remblais et Couches de Forme	
	PIR de tranchées profondes assainissement		Plates formes routières	
	Tranchées pleine terre		PIR et PSR de tranchées	

(x) catégorie inexistante

⁽¹⁾ 2000 tonnes ou 1000 m³ (NF EN 14227-11 annexe B5.3)

⁽²⁾ au minimum 1 par an - 1/chantier < 2000 tonnes ou 5 jours - PIR Partie Inférieure Remblai - PSR Partie Supérieure Remblai

⁽³⁾ Pour la GDTCT1, 1/mois de production. Pour les autres, au minimum 1/ an.

IX. Maîtrise de la qualité

→ Le Plan d'Assurance Qualité de l'installation de l'élaboration de la grave chaulée (PAQ)

Il doit comporter en plus des dispositions générales du fascicule 23 « Fournitures de granulats employés à la construction des chaussées » les dispositions suivantes :

Contrôle des matériaux naturels inertes

- Contrôle de chaque contenu de camion à l'arrivée en centre de valorisation pour vérifier visuellement sur la base de certains critères décrits en annexe du fascicule des GC (inclus dans le guide du recyclage), la conformité des matériaux naturels inertes entrants,
- Détection des impuretés indésirables pouvant perturber le traitement à la chaux telles que : matières organiques et/ou putrescibles, phosphates, sulfures, sulfates,... susceptibles d'être présents dans le matériau naturel inerte à traiter.

Stockage des matériaux naturels inertes avant chaulage sur une plate-forme assurant à la base du stock l'élimination des eaux de ruissellement.

- Pour les installations mobiles destinées également à l'élaboration et le chaulage du matériau naturel inerte homogène directement sur chantier dont il est issu, la Fiche Technique Produit (FTP) fournie correspond au contrôle pratiqué sur un échantillon représentatif du stock traité considéré comme le lot unique de fabrication et ceci jusqu'à son épuisement total.

Etude du matériau naturel inerte et homogène avant traitement

- Classement géotechnique selon la norme NF P 11-300, réalisé sur un échantillon représentatif du matériau inerte homogène stocké. Ce classement sera accompagné de l'Indice Portant Immédiat (IPI) du matériau, avant chaulage.
- Étude à l'aptitude au traitement à la chaux selon la norme NF P 94-100, pratiquée sur un échantillon représentatif du matériau naturel inerte et homogène.
- Détermination du pourcentage pondéral (en % du matériau sec) à l'optimum géotechnique en chaux vive aérienne calcique pour pratiquer le chaulage.

Vérification des caractéristiques de la chaux vive aérienne calcique

- Cette vérification repose essentiellement sur le test de réactivité à l'eau de la chaux vive selon la norme NF P 98-102 qui se concrétise par un essai simple et rapide rendant compte globalement de la qualité du réactif réceptionné et conservé dans un silo.

Élaboration et chaulage

- Organisation de l'élaboration et chaulage en fonction d'un stock de matériau inerte le plus homogène possible tant sur le plan géotechnique que sur sa teneur en eau.
- Les opérations suivantes seront entreprises sur les installations : scalpage, criblage, émottage, chaulage, malaxage et éventuellement réhydratation du produit chaulé pour maintenir l'état hydrique moyennement humide (m), puis stockage de la GC sur une aire adaptée.
- La Grave de Terrassements Chaulée (GTC) élaborée puis maturée pourra être commercialisée en cet état ou mélangée à une Grave de Déconstructions 0/D (GDTC 0/D). Pour chaque Grave Chaulée élaborée, le guide précise son écriture abrégée, sa classification géotechnique avant chaulage, ses caractéristiques après chaulage et ses divers domaines d'application accompagnés de quelques recommandations.
- La Grave de Déconstructions Chaulée (GDC) est élaborée à partir du mélange d'une Grave de Déconstruction avec la partie « stériles » chaulée de la même Grave de Déconstruction.

Caractérisation de la Grave Chaulée (GC)

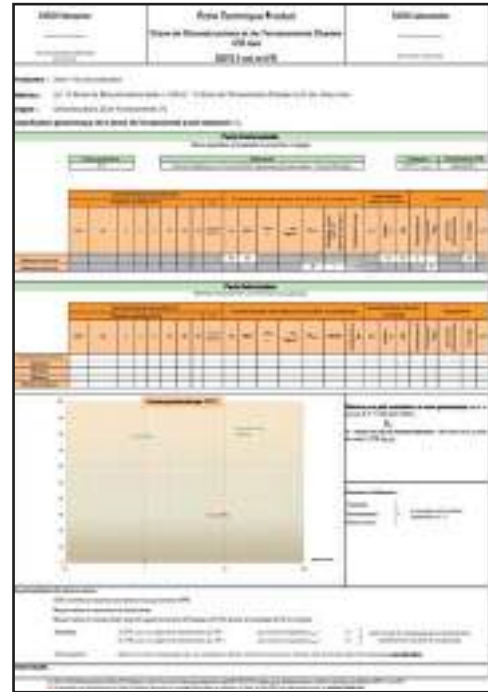
- Caractérisation, contrôle et réalisation d'une Fiche Technique Produit (FTP) incluant la classification spécifique de la GC présente dans ce guide, sa teneur en chaux vive exprimée par rapport au matériau naturel inerte sec à traiter, la date de l'opération du chaulage, ainsi que ses domaines d'application et les recommandations de sa mise en œuvre.
- Pour les installations fixes exploitées en centre de valorisation, les contrôles sont effectués conformément aux règles de contrôles des granulats.
- Pour les installations mobiles destinées également à l'élaboration et le chaulage du matériau naturel inerte homogène directement sur chantier dont il est issu, la Fiche Technique Produit (FTP) fournie correspond au contrôle pratiqué sur un échantillon représentatif du stock traité considéré comme le lot unique de fabrication et ceci jusqu'à son épuisement total.

La Fiche Technique Produit (FTP)

La Fiche Technique Produit (FTP) actualisée tous les six mois, caractérisant la GC, doit préciser l'appartenance de celle-ci, d'après la norme de référence choisie, à savoir :

- La norme française NF P 11-300 est applicable aux GC qui sont assimilables à un sol naturel (sol) et qui présentent :
 - soit un caractère peu gélif (Rappel : utilisation en remblais et tranchées pleine terre). L'écriture abrégée est la suivante :
GTC 0-sol 0/D ou GDC 0-sol M ou B 0/D
 - soit un caractère non gélif (Rappel : utilisation en couches de forme et tranchées). L'écriture abrégée est la suivante :
GTDC 1-sol M ou B 0/D

D'autre part, cette FTP comprend une partie contractuelle sur laquelle le producteur s'engage.



X. Établissement du DCE

→ Intégration aux marchés publics

Le présent guide démontre que les matériaux inertes chauffés sont propres à être employés pour de multiples usages en fonction de leur sensibilité au gel.

Simplement, dans certains cas, ils nécessitent quelques précautions, techniquement faciles à maîtriser.

Leur emploi s'inscrit dans une logique de Développement Durable (Préservation des ressources, diminution des besoins en stockage définitif qui se raréfie).

Les marchés publics ne doivent pas en entraver leur utilisation. Au contraire, les Maîtres d'Ouvrage publics peuvent encourager leur usage, de façon volontariste, sous réserve que cette exigence ne se traduise pas dans les faits comme une clause discriminatoire en faveur d'un ou deux fournisseurs.

Il est rappelé que l'article 18 de la loi du 15 juillet 1975 (Code de l'environnement L-541-33) interdit de refuser un produit de recyclage sur le seul critère de son origine. Ce sont donc les caractéristiques présentées dans la Fiche Technique Produit (FTP) qui constituent l'outil d'acceptation ou non d'une Grave Chaulée (GC) dans un ouvrage de construction.

Cas courant :

Les Graves Chaulées (GC) élaborées en centre de valorisation ou sur chantier sont caractérisées au moyen de la Fiche Technique Produit (FTP). Elles conduisent pour la plupart des

usages à un dimensionnement dépendant de leur classement géotechnique avant traitement et de la couche intéressée dans la future structure routière.

Le CCTP doit être rédigé de façon à permettre leur utilisation normale. Notamment, il est recommandé d'exprimer le plus clairement possible le niveau de performances mécaniques à atteindre à court et long terme qui se traduira en portance pour une arase de terrassement (ARj) concernant la Partie Supérieure de Terrassements ou classe de plate-forme (PFi) pour une couche de forme. Des précautions sont à appliquer pour un chantier en GC si celui-ci est réalisé en arrière-saison et plus particulièrement à l'approche des premiers jours de gel.

Le compactage de la GC doit être réalisé conformément aux modalités figurant dans les tableaux du GTR (1992) assimilables à des plans de compactage et ceci en fonction de la classe géotechnique du matériau naturel inerte avant chaulage, de son état hydrique au moment de sa mise en œuvre, de l'objectif de densification visé (qi) et de l'engin de compactage retenu par l'Entreprise.

Dans le cas général, la réponse d'une Entreprise à un appel d'offres accompagnée d'une grave de recyclage chaulée doit être faite en solution de base si cela ne change pas le dimensionnement de l'ouvrage à réaliser et le quantitatif du bordereau estimatif. Le cas courant correspond donc à l'obligation de fournir une FTP actualisée par des essais géotechniques récents (Périodicité de renouvellement de la FTP : six mois), ce qui sera précisé dans le CCTP.

Cas de variantes :

Le code des marchés publics de 2006 transpose les dispositions de l'article 24 de la directive n° 2004/18/CE du 31 mars 2004, qui prévoient que les pouvoirs adjudicateurs indiquent, dans l'avis de marché, s'ils autorisent ou non les variantes. Dans le cas des procédures formalisées (Appel d'offres) à défaut d'indication, les variantes ne sont pas autorisées (Article 50 alinéa 2). Dans le cas des Marchés adaptés, à défaut d'indication, les variantes sont admises.

Dans le cas où la proposition d'utilisation de Grave Chaulée (GC) conduit à un changement de dimensionnement de la structure ou à des dispositions particulières de mise en œuvre, cela peut correspondre à une variante.

L'intérêt d'autoriser les variantes pour certains marchés :

L'attention de l'acheteur est attirée sur l'opportunité que représentent les variantes, en matière de perfectionnement de l'offre et d'amélioration de la satisfaction des besoins.

En effet, à travers l'autorisation des variantes, le pouvoir adjudicateur se donne la chance de découvrir des solutions innovantes qui, tout en répondant parfaitement à ses besoins, permettent d'utiliser de nouveaux procédés et/ou de nouvelles technologies.

L'ouverture à des variantes est particulièrement recommandée lorsque l'acheteur public souhaite bénéficier d'offres intégrant des objectifs de Développement Durable, alors même qu'il ne maîtrise pas les techniques ou caractéristiques « durables » correspondantes à son marché, ou qu'il ne sait comment les exiger dès la définition de ses besoins.

Cas d'un Maître d'Ouvrage volontariste :

En application d'une stratégie environnementale un Maître d'Ouvrage peut aider à promouvoir l'utilisation de Graves Chaulées (GC), par l'un ou l'autre des moyens suivants :

- fonder le projet sur une solution de base en GC,
- assimiler la GC à une Grave Naturelle (ou de Déconstructions mixte ou béton) en offre de base si le choix de la GC ne remet pas en question le dimensionnement de l'ouvrage,
- ouvrir à variante en précisant que la variante concerne l'utilisation d'un matériau équivalent mécaniquement à la grave proposée dans la solution de base.

Il sera recommandé pour aider au choix d'intégrer dans les critères d'analyse des offres des objectifs environnementaux comme la minimisation des impacts globaux (économie de ressources,...) ou locaux (minimisation des transports,...)

Dans le cas d'une utilisation seule de GC, il conviendra de vérifier au préalable que :

- cela ne conduise pas à constituer un critère discriminatoire susceptible de fausser le jeu de la concurrence,
- les volumes exigés soient compatibles, sur la période des travaux, avec les capacités de production des fournisseurs. Dans le cas contraire, il sera recommandé de limiter l'exigence de fourniture de la GC à une proportion du chantier.

Exemple de fiche produit (non contractuelle)

LOGO Entreprise Sociétés Unipersonnelles <small>Entreprise individuelle professionnelle à responsabilité limitée</small>	Fiche Technique Produit Grave de Terrassements Chaulée 0/D mm GTC 0-400 0/D	LOGO Laboratoire Sociétés Unipersonnelles <small>Entreprise individuelle professionnelle à responsabilité limitée</small>																																																																																																																																																																																														
Producteur : Nom + lieu de production Matériau : Grave de Terrassements Chaulée à 1% (de chaux vive) Origine : Terrassements (T) Classification géotechnique avant traitement : B ₁																																																																																																																																																																																																
Partie Contractuelle <small>Tableau applicable sur les aspects de performance à l'usage</small>																																																																																																																																																																																																
<table border="1"> <tr><th>Classe granulométrique</th></tr> <tr><td>0/0</td></tr> </table>	Classe granulométrique	0/0	<table border="1"> <tr><th>Accessoires</th></tr> <tr><td>Gravité d'utilisation en Travaux Publics des graves de valorisation - Graves Chaulées</td></tr> </table>	Accessoires	Gravité d'utilisation en Travaux Publics des graves de valorisation - Graves Chaulées	<table border="1"> <tr><th>Catégorie</th><th>Classification GTC</th></tr> <tr><td>GTC 0-400</td><td>Assise B₁</td></tr> </table>	Catégorie	Classification GTC	GTC 0-400	Assise B ₁																																																																																																																																																																																						
Classe granulométrique																																																																																																																																																																																																
0/0																																																																																																																																																																																																
Accessoires																																																																																																																																																																																																
Gravité d'utilisation en Travaux Publics des graves de valorisation - Graves Chaulées																																																																																																																																																																																																
Catégorie	Classification GTC																																																																																																																																																																																															
GTC 0-400	Assise B ₁																																																																																																																																																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="10">Caractéristiques de production</th> <th colspan="4">Caractéristiques mécaniques et propriétés de compactage</th> <th colspan="3">Caractéristiques physico-chimiques</th> <th colspan="2">Composition</th> </tr> <tr> <th colspan="10">Passes cumulées en %</th> <th colspan="4"></th> <th colspan="3"></th> <th colspan="2"></th> </tr> <tr> <th>0/0</th><th>0/4</th><th>1</th><th>2</th><th>4</th><th>10</th><th>20</th><th>40</th><th>Type de matériau</th><th>U_{max}</th><th>U_{min}</th><th>U_{max} + U_{min}</th><th>U_{max} - U_{min}</th><th>U_{max}</th><th>U_{min}</th><th>U_{max} - U_{min}</th><th>U_{max}</th><th>U_{min}</th><th>U_{max} - U_{min}</th><th>U_{max}</th><th>U_{min}</th><th>U_{max} - U_{min}</th><th>U_{max}</th><th>U_{min}</th><th>U_{max} - U_{min}</th><th>U_{max}</th><th>U_{min}</th><th>U_{max} - U_{min}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td colspan="10">Indicateurs de qualité</td> <td colspan="4"></td> <td colspan="3"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="10">Indicateur de qualité</td> <td colspan="4"></td> <td colspan="3"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="10">Indicateur de qualité</td> <td colspan="4"></td> <td colspan="3"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="10">Indicateur de qualité</td> <td colspan="4"></td> <td colspan="3"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="10">Indicateur de qualité</td> <td colspan="4"></td> <td colspan="3"></td> <td colspan="2"></td> </tr> </tbody> </table> <p><small>(1) Type de matériau en fonction de la Table d'utilisation des graves de valorisation. Nécessaire d'être en adéquation avec la Valeur de R_{max} (GTC) recommandée pour un matériau/Quota</small></p>			Caractéristiques de production										Caractéristiques mécaniques et propriétés de compactage				Caractéristiques physico-chimiques			Composition		Passes cumulées en %																			0/0	0/4	1	2	4	10	20	40	Type de matériau	U _{max}	U _{min}	U _{max} + U _{min}	U _{max} - U _{min}	U _{max}	U _{min}	U _{max} - U _{min}	U _{max}	U _{min}	U _{max} - U _{min}	U _{max}	U _{min}	U _{max} - U _{min}	U _{max}	U _{min}	U _{max} - U _{min}	U _{max}	U _{min}	U _{max} - U _{min}																														Indicateurs de qualité																			Indicateur de qualité																			Indicateur de qualité																			Indicateur de qualité																			Indicateur de qualité																		
Caractéristiques de production										Caractéristiques mécaniques et propriétés de compactage				Caractéristiques physico-chimiques			Composition																																																																																																																																																																															
Passes cumulées en %																																																																																																																																																																																																
0/0	0/4	1	2	4	10	20	40	Type de matériau	U _{max}	U _{min}	U _{max} + U _{min}	U _{max} - U _{min}	U _{max}	U _{min}	U _{max} - U _{min}	U _{max}	U _{min}	U _{max} - U _{min}	U _{max}	U _{min}	U _{max} - U _{min}	U _{max}	U _{min}	U _{max} - U _{min}	U _{max}	U _{min}	U _{max} - U _{min}																																																																																																																																																																					
Indicateurs de qualité																																																																																																																																																																																																
Indicateur de qualité																																																																																																																																																																																																
Indicateur de qualité																																																																																																																																																																																																
Indicateur de qualité																																																																																																																																																																																																
Indicateur de qualité																																																																																																																																																																																																
Partie Informatrice <small>Matériau de production de référence en 0/0/0/0/0/0/0/0/0/0</small>																																																																																																																																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="10">Caractéristiques de production</th> <th colspan="4">Caractéristiques mécaniques et propriétés de compactage</th> <th colspan="3">Caractéristiques physico-chimiques</th> <th colspan="2">Composition</th> </tr> <tr> <th colspan="10">Passes cumulées en %</th> <th colspan="4"></th> <th colspan="3"></th> <th colspan="2"></th> </tr> <tr> <th>0/0</th><th>0/4</th><th>1</th><th>2</th><th>4</th><th>10</th><th>20</th><th>40</th><th>Type de matériau</th><th>U_{max}</th><th>U_{min}</th><th>U_{max} + U_{min}</th><th>U_{max} - U_{min}</th><th>U_{max}</th><th>U_{min}</th><th>U_{max} - U_{min}</th><th>U_{max}</th><th>U_{min}</th><th>U_{max} - U_{min}</th><th>U_{max}</th><th>U_{min}</th><th>U_{max} - U_{min}</th><th>U_{max}</th><th>U_{min}</th><th>U_{max} - U_{min}</th><th>U_{max}</th><th>U_{min}</th><th>U_{max} - U_{min}</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td> </tr> <tr> <td colspan="10">Indicateurs de qualité</td> <td colspan="4"></td> <td colspan="3"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="10">Minimum</td> <td colspan="4"></td> <td colspan="3"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="10">Maximum</td> <td colspan="4"></td> <td colspan="3"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="10">Minimum</td> <td colspan="4"></td> <td colspan="3"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="10">Maximum</td> <td colspan="4"></td> <td colspan="3"></td> <td colspan="2"></td> </tr> </tbody> </table>			Caractéristiques de production										Caractéristiques mécaniques et propriétés de compactage				Caractéristiques physico-chimiques			Composition		Passes cumulées en %																			0/0	0/4	1	2	4	10	20	40	Type de matériau	U _{max}	U _{min}	U _{max} + U _{min}	U _{max} - U _{min}	U _{max}	U _{min}	U _{max} - U _{min}	U _{max}	U _{min}	U _{max} - U _{min}	U _{max}	U _{min}	U _{max} - U _{min}	U _{max}	U _{min}	U _{max} - U _{min}	U _{max}	U _{min}	U _{max} - U _{min}																														Indicateurs de qualité																			Minimum																			Maximum																			Minimum																			Maximum																		
Caractéristiques de production										Caractéristiques mécaniques et propriétés de compactage				Caractéristiques physico-chimiques			Composition																																																																																																																																																																															
Passes cumulées en %																																																																																																																																																																																																
0/0	0/4	1	2	4	10	20	40	Type de matériau	U _{max}	U _{min}	U _{max} + U _{min}	U _{max} - U _{min}	U _{max}	U _{min}	U _{max} - U _{min}	U _{max}	U _{min}	U _{max} - U _{min}	U _{max}	U _{min}	U _{max} - U _{min}	U _{max}	U _{min}	U _{max} - U _{min}	U _{max}	U _{min}	U _{max} - U _{min}																																																																																																																																																																					
Indicateurs de qualité																																																																																																																																																																																																
Minimum																																																																																																																																																																																																
Maximum																																																																																																																																																																																																
Minimum																																																																																																																																																																																																
Maximum																																																																																																																																																																																																
		<p>Assimilation à la classe géotechnique d'origine selon le décret N° 11 380 (GTC 1802) :</p> <p>δ_d</p> <p>δ_d = état hydrique de fabrication respectivement humidité</p>																																																																																																																																																																																														
<p>Recommandations de mise en œuvre :</p> <p>GTC à mettre en œuvre à une teneur en eau $\pm 1\%$ à $\pm 2\%$ (selon le type de matériau et/ou le type de compactage)</p> <p>Ne pas mettre en œuvre lors de fortes pluies / en période de gel si GTC mise en œuvre avant 7*80 jours (soit 80 jours après le jour de fabrication)</p> <p>Ne pas mettre en contact direct avec les bases fortes (sur pH très basique, pH > 10), prévoir un amortisseur de 10cm environ</p> <p>Tranchées : En P/R, pour un épaisseur de densification δ_d, R_{max} = par couche compactée δ_{max} =</p> <p>Ferronnements : Dans le cas d'un compactage avec un compresseur vibrant, former la surface par 2 passes avec le même angle de compactage sans vibration</p>		<p>Conditions d'utilisation :</p> <p>Tranchées Terrassements Plates-formes</p> <p>à compléter avec tableau classification p 17</p>																																																																																																																																																																																														
<p>Contact Qualité :</p>																																																																																																																																																																																																

Exemple de Fiche Technique Produit (FTP) du réactif

Valorisation des matériaux

Code Européen : EINECS 215-138-0 Référence : CL80 Q (R4,P2)
Rev : 01 Date : 15 mai 2012

Description du produit

Proviacal® DS est un réactif calcique pulvérulent élaboré en usine pour le traitement in-situ ou en centrale de matériaux excédentaires issus d'excavation ou de carrières – scalpage ou découverte – en vue de leur réutilisation dans la construction d'ouvrage ou comme granulats.

Propriétés

Par son action instantanée sur les caractéristiques intrinsèques des matériaux (nature et état), Proviacal® DS améliore les performances mécaniques de ces produits: insensibilité à l'eau et aptitude au compactage

Principaux domaines d'application

Proviacal® DS est particulièrement indiqué dans le traitement des matériaux suivants:

- Déblais de tranchées, excédents d'excavation réputés inertes, notamment exempts de plâtre, feuilles de bâtiment
- Marinages de tunnel
- Stériles de carrières: scalpage, découverte

Proviacal® DS peut aussi être employé en technique routière dans le pré traitement des remblais et des arasés de plate forme. Son emploi doit se faire en respectant des précautions, comme la réalisation d'une étude de traitement préalable. Il n'y a pas de contre indication pour l'emploi ultérieur de liant hydraulique. Une attention particulière doit être portée à l'étude des performances mécaniques.

Conditionnement

Proviacal® DS se présente sous forme pulvérulente prête à l'emploi. Il est livré en vrac par camion citerne à déchargement pneumatique, et peut aussi être livré sur demande en Big bag de 0,5, 0,75 et 1,0 Tonne

Stockage

Stocker à l'abri de l'humidité.

Mise en œuvre

Proviacal® DS est un produit broyé dont la granulométrie est adaptée aux conditions de manutention sur chantier et permet une diffusion parfaite dans le matériau lors du malaxage. Son emploi peut se faire en centrale fixe, mobile ou semi mobile. Un traitement en place est également possible.

Conformité aux normes

Caractéristiques physiques et chimiques :
- NF EN 456-1 mars 2012 ; Chaux de construction CL 80-Q (R4,P2)
Proviacal® DS est un produit de construction élaboré dans des installations bénéficiant du marquage CE.

Données de sécurité

Fiche de données de sécurité disponible sur demande.

Granulométrie

Passant à 2 mm	≥ 95%
Passant à 200 µm	≥ 80%
Passant à 80 µm	≥ 50%



Densité vrac 0,8 à 1

Chaux

Teneur en (CaO+MgO) _{total}	≥ 80%
Teneur en CaO libre	≥ 65%
Teneur en MgO	≤ 5%
Teneur en CO ₂	≤ 5%
Teneur en SO ₃	≤ 2%

Réactivité à l'eau $t_{90} < 25\text{mn}$
(t_{90} = Temps en minutes mis par une suspension de 150g de Proviacal® DS dans 500g d'eau à une température initiale de 20°C pour atteindre 55°C, mesuré selon la norme NF EN 459-2)

Proviacal® DS
Contribue à optimiser l'exploitation des gisements de matériaux naturels et à valoriser les co-produits excédentaires


GRAVES DE VALORISATION - GRAVES CHAULEES CLASSIFICATION – DOMAINES D'EMPLOI – MISE EN ŒUVRE

Document élaboré à partir du **GUIDE RHONE-ALPES D'UTILISATION DES GRAVES DE VALORISATION – GRAVES CHAULEES**, Version 1 – Mars 2013, établi par le Centre d'Etudes Techniques de Lyon, le Grand Lyon, le Département du Rhône, BTP Rhône et l'UNICEM de Rhône-Alpes.



CLASSIFICATION DES GRAVES CHAULEES COMME MATERIAU SELON NF P 11-300

Catégorie	GTC0 - sol	GDC0 - sol	GDT01 - sol (à N 60 80 + 100 c/s GTC0)	Particularités des contraintes
Paramètres de nature				
Granularité (NF P 94-056)	ØD D max ≤ 63 mm	ØD D max ≤ 80 mm	ØD D max ≤ 80 mm	1 / 200 tonnes ⁽¹⁾ ou 1500 m ³
Valeur au site (Propreté) (NF P 94-056)	valeur déclarée	valeur déclarée	0,1 (Couche de Forme)	1 / 2000 ou 1000 m ³ (NF EN 14221-11 article 95.3)
Paramètres de comportement mécanique				
Dureté LA (NF EN 1097-2) MSE (NF EN 1097-1)	Sans Objet		si D ≤ 3 x 3 mm ≤ 45 ≤ 45	engagement producteur sans expérience ⁽²⁾
Indice Portant Immédiate (NF P 94-076) Classe du matériau - C, B ₁ , B ₂ B ₁ , C ₁	10 à 30 20 à 40		≥ 20 (valeur astrophotie) ≥ 40 (valeur astrophotie)	1/3 production et 1/2 chantier de 10000 tonnes ⁽¹⁾
Essai chute 4 d'immersion / IP (NF P 94-076) entre 0,80 et 1,00 de OPB	Sans Objet		≤ 1	1 / production
Caractéristique physico-chimique				
Teneur en sulfates solubles dans l'eau (NF EN 1144-1 art 11.2)	≤ 5%			engagement producteur sans expérience ⁽²⁾
Caractéristiques de fabrication				
Identification des origines des matériaux selon (NF EN 933-11)	Rouge 70 ; X1 ; FL6			1/3 de production ou 1 / 2000 tonnes ⁽¹⁾
Classement géotechnique - Domaine d'utilisation (Réemploi)				
Utilisation (NF P 11-300)	Remblais PIR de tranchées profondes assainissement Tranchées pleins terre		Remblais et Couches de Forme Pistes, formes routières PIR et PSR de tranchées	⁽¹⁾ ou maximum 1 par site ⁽²⁾ choix de production pour le GDT01 et 1/3 minimum pour le GDC0 et la GTC0 1 chantier = 2000 t ou 0,5 jrs

UTILISATION DES GC ASSIMILATION A UN COMPORTEMENT GEOTECHNIQUE POUR MISE EN ŒUVRE

	Catégorie	GTC0-sol	GDC 0-sol	GDT01-sol
Terrassement	Remblai Objectif densification : q4	C1B) ou B)	C1B) ou B)	D3
	Couche de forme Objectif densification : q3			D3
	Couche de fin réglage Objectif densification : q3			D3
Tranchée	PIR Objectif densification : q4	C1B) ou B)	C1B) ou B)	[DC] (i = 1 à 3)
	PSR Objectif densification : q3			[DC] (i = 1 à 3)

■ Usage déconseillé

PIR : Partie inférieure de Remblai
PSR : Partie Supérieure de Remblai

PRESCRIPTIONS DE COMPACTAGE EN TERRASSEMENTS GTC ou GDC 0-sol
Assimilation à la classe CiBj ou Bj

		Classe géotechnique C1B4 ou B4										Classe géotechnique C1B5 ou B5											
		Utilisation en remblai (objectif de densification : q4)																					
Modalités	Para.	P1	P2	P3	V1	V2	V3	V4	V5	PQ3	PQ4	P1	P2	P3	V1	V2	V3	V4	V5	PQ3	PQ4		
Energie de compactage moyenne - Code 2	e (cm)	0,060	0,080	0,100	0,040	0,070	0,100	0,140	0,170	0,090	0,080	0,080	0,080	0,120	0,120	0,080	0,070	0,100	0,120	0,080			
	Q/L	30	35	40	25	30	35	45	55	30	35	35	35	45	30	30	35	45	30	40	35	35	
	n	3	4	4	5	5	3	7	3	7	3	5	3	4	5	4	7	5	4	5	3	5	3
	v	5,0	5,0	5,0	2,0	2,0	4,5	2,0	5,0	2,0	1,0	1,0	5,0	5,0	5,0	2,0	2,0	3,0	2,0	4,0	2,0	5,0	2,0

Compaction VP1, VP2, VP3, VP4, VP5, SP1, SP2 (ainsi que PQ3 pour les C1B5 et B5) implique (économiquement ou techniquement) de compacter le matériau considéré

PRESCRIPTIONS DE COMPACTAGE EN TERRASSEMENTS GDTC 1-sol
Assimilation à la classe D3 (Rappel VBs ≤ 0,1)

		Utilisation en remblai (objectif de densification : q4)												
Modalités	Para.	P1	P2	P3	V1	V2	V3	V4	V5	PQ3	PQ4			
Energie de compactage moyenne - Code 2	Q/S	0,045	0,070	0,100	0,035	0,055	0,085	0,115	0,140	0,050	0,065			
	e (cm)	25	35	50	20	35	30	50	30	70	35	40		
	Q/L	225	350	500	70	110	300	170	520	230	700	380	50	55
	n	6	5	5	6	7	4	6	3	7	3	7	5	6
v	5,0	5,0	5,0	2,0	2,0	3,5	2,0	4,5	2,0	5,0	2,0	1,0	1,0	

		Utilisation en couche de forme (objectif de densification : q3) - avec réserve étude de géométrie											
Modalités	Para.	P1	P2	P3	V1	V2	V3	V4	V5	PQ3	PQ4		
Energie de compactage moyenne - Code 2	Q/S	0,025	0,035	0,020	0,025	0,040	0,055	0,070			0,025		
	e (cm)	25	30	20	25	30	40	30	55	30	70	25	
	Q/L	125	175	40	50	120	80	195	110	250	140	25	
	n	10	10	10	10	8	10	6	10	5	10	10	
v	5,0	5,0	2,0	2,0	3,0	2,0	3,5	2,0	5,0	2,0	1,0		

Cellules grises et compacteurs VP1, VP2, VP3, VP4, VP5, SP1, SP2 implique (économiquement ou techniquement) de compacter le matériau considéré

PRESCRIPTIONS DE COMPACTAGE EN TRANCHEES GTC ou GDC 0-sol
Assimilation à la classe CiBj ou Bj – Etat hydrique m (moyennement humide)

		Classe géotechnique C1B4 ou B4										Classe géotechnique C1B5 ou B5							
Objectif de densification	Para.	PV2	PV3	PV4	PQ2	PQ3	PQ4	PN1	PN2	PN3	PP1	PP2	PV3	PV4	PQ4	PN1	PN2	PN3	PP2
q4	e	15	20	25	20	25	35	20	25	35	15	30	15	20	15	15	15	20	15
	Q/L	50	65	85	35	50	90	60	75	115	20	40	40	60	30	25	35	45	15
	n	4	4	4	5	5	4	3	3	3	3	3	5	5	5	5	4	4	4
	v	1,3	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,4	0,4	1,3	1,5	1,0	0,9	0,9	0,9	0,4
q3		Sans Objet										Sans Objet							

Cellules grises et compacteurs PV1, PQ1 implique (économiquement ou techniquement) de compacter le matériau considéré

Cellules grises et compacteurs PV1, PV2, PQ1, PQ2, PQ3, PQ4, PP1 implique (économiquement ou techniquement) de compacter le matériau considéré

PRESCRIPTIONS DE COMPACTAGE EN TRANCHEES GDTC 1-sol
Assimilation à la Difficulté de Compactage [DC1] ou [DC2] (Rappel VBs ≤ 0,1)

		[DC1] ou [DC2]													
Objectif de densification	Para.	PV1	PV2	PV3	PV4	PQ1	PQ2	PQ3	PQ4	PN1	PN2	PN3	PP1	PP2	
q4	e	15	20	25	30	15	25	40	55	35	45	55	15	40	
	Q/L	40	50	65	115	35	40	65	90	65	80	100	20	55	
	n	5	5	5	4	8	6	8	8	5	5	5	3	3	
	v	1,3	1,3	1,3	1,5	1	1	1	1	0,9	0,9	0,9	0,4	0,4	
q3* *sous réserve étude de géométrie	e		20	25	30		20	30	35	25	30	35			
	Q/L		25	40	65		20	40	50	30	45	55			
	n		10	8	7		10	8	7	8	6	6			
	v		1,3	1,3	1,5		1	1	1	1	0,9	0,9	0,9		
q3* *sous réserve étude de géométrie	e		15	20	25		15	20	30	15	25	30			
	Q/L		20	30	45		15	25	40	25	40	45			
	n		10	9	8		10	8	8	6	6	6			
	v		1,3	1,3	1,5		1	1	1	1	0,9	0,9	0,9		

Cellules grises : compacteurs de la classe correspondante implique (économiquement ou techniquement) de compacter le matériau considéré

➔ Références chantiers

Suivi des chantiers de canalisation remblayés avec des matériaux traités à la chaux

Maître d'ouvrage	Maître d'œuvre	Type de travaux	Lieu d'exécution	Type de route	Entreprises intervenantes				Période d'exécution	Référence du produit	présence
					Réalisation	Compartage - Ponctométré					
						Opérateur	Nombre de points	Nb. de points conformes			
Syndicat Intercommunal des Eaux du Sud-Ouest Lyonnais	Services Techniques	Réhabilitation en eau potable	FOLLIGNY	Commune de Chemin de la Gule	STRACOH	EDC	4	4	Mars - Juin 2005	ESn 0/53 Fevrier 2008	centre de st
GRAND LYON	Subdivision ET Ouest	Assainissement	OSLINS	Rue L. Bourgeois	STRACOH	SATER	2	2	jan-08	ESn 0/53 Fevrier 2008	centre de st
GRAND LYON	Subdivision ET Centre	Assainissement	LYON Re	Rue des Patrons	GARLET ET DUVAL	SATER	4	4	sept-09	ESn 0/53 Fevrier 2008	centre de st
Syndicat Intercommunal des Eaux du Sud-Ouest Lyonnais	Services Techniques	Réhabilitation en eau potable	GREDEU LA VARENNE	Route Départementale	STRACOH	EDC	4	4	juin-10	ESn 0/53 Fevrier 2008	centre de st
Syndicat Intercommunal des Eaux du Sud-Ouest Lyonnais	Services Techniques	Réhabilitation en eau potable	SOURCE EN JARRIST	Commune de la Vallée de Garon Chemin du Loup	STRACOH	EDC	7	7	Fevrier - Mars 2010	ESn 0/53 Fevrier 2008	centre de st
Syndicat Intercommunal des Eaux du Sud-Ouest Lyonnais	Services Techniques	Réhabilitation en eau potable	MARET L'ÉPOLE	Chemin du Saubé	STRACOH	EDC	4	4	avr-11	ESn 0/53 Fevrier 2008	centre de st
Commune de St Pierre de Chandieu	Cabane Merin	Chemin d'accès	ST PIERRE DE CHANDIEU	La Cambre	STRACOH	SO	0	0	mai-12	ES 0/80 octobre 2012	sur site
ENB	SAFEGE	Tronçon d'ouvrages	GREY sur AIX 73	Route Départementale	GROUD GASAMPON	VSI 38	38	29	Fev - Août 2008	CIA 5m	Recyclage sur chantier
ENB	HYDRELLES	Collecteur d'eaux usées	LE PÉRENGIS DESSEUS 71	Route Communale	GROUD GASAMPON	VSI 38	6	6	Mai - Dec 2009	C105m	Recyclage sur chantier
SE THERS	S&R Ingénierie	Réhabilitation en eau potable	La Brodeire 13	Route Communale	GROUD GASAMPON	SO	0	0	juin - juillet 2010	CIA 5m	Recyclage sur chantier
Commune de Groix	Interopinion	Reseau eau usée en d'AEF	Croixes Rue du Fragras	Voie communale	Floppé	Gingret CISTP	9	6	DEC 2009 - MARS 2010	MS et DCS	Provenance issue des tranchées
MARE DE PARCEUR	COMMUNAUTE DE COMMUNE SAONE VALLES	Reseau eau usée	MASSECO	Chemin des Moirans	LEGROS TP	GRAND LYON	3	2	mars-08	B5a	Plateforme
GRAND LYON	GRAND LYON ILLIER LA PARE VOIE TERRITORIALE	Voie nouvelle ZI GENAY	GENAY	Passage Claudus BURET	ENTREPRISE DE FLIPPIS	GRAND LYON	4	4	DECEMBRE 2008	B5a	Plateforme

➔ Références bibliographiques

Réalisation des remblais et des couches de forme (GTR) – Guide technique. Sétra/LCPC, Septembre 1992.

Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques (GTS) – Guide technique. Sétra/LCPC, Janvier 2000.

Guide Rhône-Alpes des graves recyclées de démolition – Guide technique. V2-2005.

NF P 11-300 : Exécution des terrassements-classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructure routière.

NF EN 459-1 : Chaux de construction - Partie 1 : définitions, spécifications et critères de conformité AFNOR, Mars 2012.

NF EN 459-2 : Chaux de construction - Partie 2 : méthodes d'essai. AFNOR, Octobre 2002.

NF EN 459-3 : Chaux de construction - Partie 3 : évaluation de la conformité. AFNOR, Avril 2012.

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 tache. AFNOR, Octobre 1998.

NF P94-100 : Sols : reconnaissance et essais - Matériaux traités à la chaux et/ou aux liants hydrauliques - Essai d'évaluation de l'aptitude d'un sol au traitement. AFNOR, Août 1999.

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. AFNOR, Octobre 2004.

NF P98-234-2 : Essais relatifs aux chaussées - Comportement au gel - Partie 2 : essai de gonflement au gel des sols et matériaux granulaires traités ou non de D inférieur ou égal 20 mm. AFNOR, Février 1996.

NF EN 13285 : Graves non traitées – Spécifications. AFNOR, Décembre 2010.

NF P 98 086 : Dimensionnement structurel des chaussées routières - Application aux chaussées neuves, Octobre 2011.

Guide Méthodologique – Acceptabilité de matériaux alternatifs en techniques routières - Sétra, mars 2011.

Guide technique pour l'utilisation de matériaux régionaux d'Ile-de-France - « Valorisation des excédents de déblais de travaux publics » - Décembre 2003.

Guide technique Haute Normandie - « Emploi et utilisation des déblais de terrassement valorisés à la chaux » - Novembre 2011.

Note d'information n° 22 - « Classification et aide au choix des matériaux granulaires recyclés pour leurs usages routiers hors agrégats d'enrobés » - IDRRIM Février 2011.



ISBN 978-2-11-129802-6

Centre d'études techniques de Lyon
25, avenue François Mitterrand - Case n°1
69674 Bron cedex
Tél. : 33 (0)4 72 14 30 30
Fax : 33 (0)4 72 14 30 35



Action soutenue par :

