

Guide technique

Valorisation des matériaux locaux



pages laissée intentionnellement blanche

Guide technique

Valorisation des matériaux locaux



— — — — —
Edité par le Sétra, r elis e par le Comité français pour les techniques routières (CFTR)

Le CFTR est une structure fédérative qui réunit les différentes composantes de la communauté routière française afin d'élaborer une doctrine technique partagée par tous et servant de référence aux professionnels routi ers dans les domaines des chaussées, des terrassements et de l'assainissement routi er.

Membres du CFTR : Assemblée des Départements de France – Association Française des Producteurs de Géotextiles et Produits Apparent es – Association des Soci etes Françaises d'Autoroutes – Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques – Centre Technique et de Promotion des Laitiers Sidérurgiques – Chambre Syndicale Nationale des Fabricants de Chaux Grasses et Magn esiennes – Comité Infrastructure de Syntec Ingénierie – Direction des Routes – Direction de la S ecurite et de la Circulation Routières – Groupement Professionnel des Bitumes – LCPC – Sétra – Service Technique des Bases Aériennes – Syndicat des Matériels des Travaux Publics et de la Sidérurgie – Syndicat Professionnel des Entrepreneurs de Chaussées en Béton et Equipements Annexes – Syndicat des Terrassiers – Union Nationale des Producteurs de Granulats – Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française.

Association régie par la loi du 1 er juillet 1901 depuis juin 1998,
le CFTR est dot e d'un secrétariat permanent assur e par le Sétra.
Son si ege est localis e au :
46 avenue Aristide Briand - BP 100 - 92225 Bagneux Cedex - France
téléphone : 33 (0)1 46 11 31 53 - télécopie : 33 (0)1 46 11 36 96
intranet : <http://intra.setra.i2/clubs/cftr.shtml>
internet : www.cftr.asso.fr

collection les outils
— — — — —



Ce guide technique a été rédigé, dans le cadre des activités du comité sectoriel «méthodologie» du Comité français pour les techniques routières (CFTR), par un groupe de travail constitué de représentants du réseau scientifique et technique du ministère chargé de l'Équipement, de directions techniques d'entreprises et de producteurs dans le domaine routier.

Son contenu a fait l'objet d'une enquête de validation auprès des différents adhérents du CFTR.

Coordination : D. Brochard (DREIF)

Rédaction :

- Ch. Cimpelli (DREIF)
- V. Lédée (LCPC)
- G. Aussedat (UNPG)
- P. Bense (SCREG/RTE)
- M. Boudonnet (CTPL)
- B. Dailly (Conseil Général 93)
- P. Dupont (Sétra)
- H. Goacolou (EJL)
- P. Hornych (LCPC)
- J-P. Joubert (Sétra, ex. secrétaire du CFTR)
- M. Kergoët (DREIF)
- M. Measson (Laboratoire Central APPIA)
- M. Perdereau (EUROVIA Services)
- J. Pereme (CTPL)
- N. Priolet (CETE de Lyon)
- M. Recourt (CETE Nord-Picardie)
- J. Reynard (CTPL)
- B. Roussel (CETE Normandie-Centre)
- R. Terminaux Rossa (SCETAURROUTE Grenoble)

Sommaire

Préambule	5
Introduction	6
Matériaux concernés	8
Assises de chaussées	8
Couches de forme	9
Analyse de la démarche de valorisation	11
Identification du facteur de risque	12
Évaluation du risque	13
Mise en place de la dérogation	23
Glossaire des abréviations	24
Annexe 1 - Références normatives et réglementaires	25
Normes	25
Autres textes réglementaires	27
Annexe 2 - Contenu d'un guide technique régional et procédure de validation par le C_{FT}R	28
Annexe 3 - Exemples d'application d'une démarche méthodique pour la valorisation de matériaux locaux	38



Préambule

Ce guide fait partie d'une série de documents élaborés par le CFTR destinée à promouvoir l'utilisation en techniques routières de matériaux dont l'usage est aujourd'hui peu répandu pour diverses raisons techniques ou historiques.

Les moteurs de cette démarche sont :

- la volonté d'économiser certaines ressources naturelles ;
- la promotion de l'utilisation des matériaux locaux ;
- l'accroissement du recyclage, répondant à la nécessité de réduire les flux de déchets ultimes produits par le fonctionnement de notre société.

Le présent guide expose une méthode générale d'étude de ces matériaux (ces études relevant d'initiatives locales). Les autres documents s'inscrivant dans la même logique sont :

- un guide sur le traitement des sols aux liants hydrauliques pour assises de chaussées (*à paraître en 2005*);
- un guide sur le retraitement des chaussées et le recyclage des matériaux hydrocarbonés de chaussées (*Sétra - 2004 - réf. 0413 - prix : 11 €*).

Les usages possibles de ces matériaux dans le cadre de travaux routiers concernent la réalisation des remblais, des couches de forme, et des couches d'assises. Dans le cadre de ce guide, le choix a été fait de limiter l'approche aux usages les plus valorisants, à savoir les couches de forme et d'assises. Dans l'actuelle culture technique française, qui sépare résolument les domaines des terrassements et des chaussées, l'exercice prend déjà un aspect un peu innovant. Par contre, il a été jugé que les approches applicables aux remblais différaient trop sensiblement et ne seraient donc pas abordées. Elles pourront néanmoins faire l'objet d'un document séparé si le besoin s'en fait sentir.

Introduction

Depuis quelques années, la communauté technique (maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre, bureaux d'études, entreprises) a pris conscience de la nécessité d'une gestion rationnelle et économe des ressources en matériaux. Celle-ci conduit naturellement à s'interroger sur l'opportunité d'utiliser des sources de matériaux inhabituelles, parmi lesquelles des co-produits et sous-produits de l'industrie, des matériaux de recyclage, mais aussi certains matériaux naturels.

La substitution de granulats « normaux » (durs, propres et bien calibrés, ou encore bien connus et utilisés de longue date) par ces matériaux pour la réalisation des infrastructures routières est une possibilité souvent évoquée. Toutefois, un tel acte ne doit pas nuire à la qualité ou la pérennité de la route ainsi construite, doit s'effectuer à coût maîtrisé, et ne doit pas entraîner de pollution sur le site d'emploi.

Il nécessite donc des études préalables conséquentes qui, elles mêmes, doivent être effectuées selon une démarche méthodique.

L'objet de ce guide est de fournir un cadre indicatif pour guider le volet technique de cette démarche et permettre l'élaboration d'un programme d'étude et de constatations pour situer le comportement du matériau à valoriser par rapport aux matériaux normalisés ou codifiés les plus proches.

Le principal frein à l'utilisation des matériaux locaux en techniques routières est que, une ou plusieurs de leurs caractéristiques les situent en tout ou partie « hors champ » du référentiel technique définissant les possibilités et les conditions d'emploi. C'est donc autour de ce référentiel que sont bâtis les principes généraux du présent guide, comme l'indique le diagramme 1.

Celui-ci indique en partie haute les domaines d'emploi visés par le guide ainsi que le référentiel normatif qui s'y rapporte. La partie basse donne les principaux éléments permettant de cerner les matériaux concernés, ceux-ci étant ensuite définis plus précisément dans le § 2.

Les différentes étapes de l'étude elle-même sont ensuite développées dans le § 3.

L'aboutissement logique d'une telle démarche étant la rédaction d'un Guide Technique Régional concernant le matériau local visé, le plan type d'un tel document est présenté en annexe.

Enfin, l'attention du lecteur est attirée sur le fait que la démarche décrite dans ce guide ne traite ni des aspects environnementaux liés à d'éventuels risques de pollution par le matériau, ni de l'aspect économique de son utilisation.

L'assurance du caractère non polluant du matériau et de l'existence d'une réglementation en la matière constitue néanmoins un pré-requis avant l'engagement de toute démarche technique de valorisation. En l'absence de référence réglementaire, la présente démarche ne définit pas la méthode d'étude environnementale.

Concernant l'aspect économique, il faut être conscient que le coût global d'utilisation de tels matériaux peut être supérieur à celui de solutions traditionnelles, l'acceptation de surcoûts relevant alors de choix du maître d'ouvrage. L'évaluation du coût des solutions techniques représentera donc une étape indispensable entre les phases d'étude et d'utilisation opérationnelle.



Matériaux concernés

En France, dans le cadre d'une politique globale d'investissement et d'entretien, le dimensionnement des chaussées est effectué selon une méthode unitaire. Celle-ci prend en compte une conception de la structure, ainsi que des familles de matériaux constitutifs aux caractéristiques physiques et mécaniques spécifiées dans un référentiel technique.

Pour identifier les matériaux définis comme « hors champ en tout ou partie », il faut se rapporter au référentiel concernant les emplois visés par le guide, à savoir, l'utilisation de matériaux pour réaliser des assises de chaussées et des couches de forme supports de la structure.

Assises de chaussées

Ainsi qu'expliqué dans le guide « Conception et dimensionnement des structures de chaussées », les différentes techniques relatives aux matériaux

constitutifs des assises font l'objet d'une codification dans des textes normatifs et réglementaires (normes, documents d'application des normes : voir liste en annexe...).

Par référence à ces textes, certains matériaux peuvent être :

- hors normes ;
- hors guide d'application des normes.

Cas des matériaux « hors normes »

Selon le guide cité, il s'agit de « matériaux non codifiés par une norme ou dont l'une au moins des caractéristiques n'est pas en conformité avec les exigences de la norme ».

La plupart des normes relatives aux constituants et aux produits composites étant des normes de définitions et de classification en catégorie, plusieurs cas sont possibles, ainsi que décrits au tableau ci-après.

Norme	Situation des matériaux « hors norme »	Exemples
Granulats	<ul style="list-style-type: none"> - Cas 1 : non codifié selon la définition du §3.1. de la norme XPP 18540. - Cas 2 : non conforme au classement en catégorie du §7 • La granularité : si les § 7.2. et 7.3. de la norme prévoient des catégories « sans spécifications », le § 3.20. de la même norme impose toutefois une exigence sur l'étendue du fuseau de régularité granulométrique. • I.C. des matériaux alluvionnaires et marins (§ 7.4) • Teneur en sulfates solubles des matériaux recyclés (§ 7.6) <p>Pour les autres caractéristiques (intrinsèques, forme, propreté), la norme prévoit une catégorie « sans spécifications » qui permet la mise en conformité en faisant figurer dans la FTP les spécifications adaptées au matériau considéré (§ 7.1, 7.2, 7.3).</p>	<ul style="list-style-type: none"> ☐ MIOM : « non conformité selon l'origine et le mode d'élaboration » ☐ Granulats pour lesquels la valeur de « e » à 1 ou plusieurs des tamis imposés est supérieure à celle de la norme (cas fréquent des matériaux évolutifs ou de mélanges de granulats déclassés) ☐ Granulats dont $I_c < 30$ ☐ Granulats recyclés ayant une valeur de sulfates solubles $> 1,3 \%$
Produits	<ul style="list-style-type: none"> - Cas 3 : catégorie de matériau de la norme « granulats » non conforme à la classification retenue au § Constituants de la norme afférente au produit. 	<ul style="list-style-type: none"> ☐ Catégorie F du § 7.1 de la norme Granulat non retenue comme constituant possible de la norme NFP 98116 Graves Traitées aux Liants Hydrauliques (§ 5.1).

N.B. : les exemples cités dans ce tableau s'appuient sur la norme XP P 18-540 en application entre octobre 1997 et juin 2004. Ils ne seront plus forcément exacts au delà de cette dernière date.

De cette analyse, il ressort qu'un matériau peut-être « hors norme » parce qu'il se situe :

- hors définition (cas 1) ;
- hors classification (cas 2 et 3) ;

selon la norme **granulats** ou selon une norme **produits** relative à la technique envisagée pour réaliser le matériau composite.

L'appartenance d'un matériau au cas 1 pose la question de savoir s'il peut être caractérisé selon les paramètres de la norme « granulats », éventuellement complétés par d'autres critères relatifs à des paramètres spécifiques de comportement.

A priori, seule une réponse positive permet d'entrer dans la démarche de valorisation.

Les cas 2 et 3 dépendent de la norme considérée :

- normes « granulats » en vigueur : il s'agit de plusieurs caractéristiques pour lesquelles des valeurs minimales sont indispensables afin qu'une classification du matériau soit possible. Un matériau peut donc se situer hors classification (ou encore « hors spécifications définissant les catégories des normes ») ;
- norme « produits » : certaines catégories définies dans les normes « granulats » en vigueur ne sont pas retenues dans la classification des constituants possibles du matériau composite. Les granulats relevant de ces catégories sont donc « hors spécifications pour la technique considérée ».

Les matériaux correspondant à ces cas 2 et 3 sont concernés par la démarche faisant l'objet de ce guide.

Cas des matériaux « hors guide d'application de la norme »

Les spécifications d'usage des granulats sont basées sur leur catégorie d'appartenance (résultant de la classification), et des conditions de leur emploi (trafic, position de la couche dans la chaussée, technique d'emploi). Les normes relatives aux constituants et aux produits ne comportent pas ces spécifications d'usage.

Celles-ci figurent dans les guides d'application des normes pour le Réseau Routier National, et rien ne s'oppose a priori à ce que d'autres Maîtres d'Ouvrages que l'Etat s'inspirent des spécifications de ces guides (ainsi qu'il est indiqué au préambule de tels documents).

Lorsque la (les) catégorie(s) de classification d'un matériau donné ne convient(nent) pas pour l'usage considéré défini selon les paramètres décrits, le matériau est « hors spécification d'usage » conformément aux conditions d'emplois autorisées par les guides d'applications cités.

Ces matériaux sont concernés par la démarche exposée dans le présent guide.

Couches de forme

La couche de forme est la couche de transition entre le sol support et le corps de la chaussée. Elle a une double fonction :

- pendant la phase travaux, elle protège le sol support, elle établit une qualité de portance et de nivellement et permet la circulation des engins pour l'approvisionnement des matériaux et la construction des couches de chaussée ;
- vis à vis du fonctionnement mécanique de la chaussée, elle permet d'homogénéiser et éventuellement d'améliorer les caractéristiques de portance de la plate forme support de chaussée et d'assurer une protection vis à vis du gel.

Analyse de la situation des matériaux par rapport à la norme

Les matériaux naturels et les sous produits industriels font l'objet d'une classification définie dans la norme NF P 11-300 « Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières ».

La classification des matériaux d'origine naturelle est établie à partir des paramètres d'identification : nature, état et comportement. Ces matériaux, regroupant les sols et les matériaux rocheux, sont répartis en différentes classes et sous classes qui rassemblent des matériaux présentant un comportement similaire justifiant de leur appliquer les mêmes modalités de mise en œuvre.

Pour les sous-produits industriels, classés F dans la norme NF P 11-300, la classification est établie à partir des familles de matériaux recensées. Neuf familles sont dénombrées (sous-classes F1 à F9), chacune d'elles étant nommée selon l'origine du matériau. Des sous-familles sont ensuite définies et caractérisées par le ou les paramètres considérés comme significatifs vis à vis de leurs possibilités d'emploi.

Cette classification des matériaux F est insuffisante. Même si la détermination de leurs caractéristiques géotechniques peut s'effectuer de manière analogue à celle des matériaux d'origine naturelle, il convient de compléter leur identification par d'autres paramètres spécifiques (par exemple chimiques) pouvant avoir une incidence sur leur comportement, et actuellement non définis dans la norme NF P 11-300.

Ces matériaux entrent donc dans la démarche de valorisation.

Matériaux hors GTR - GTS et hors norme NF P 94-102-1

La norme de classification NF P 11-300 ne définit pas les spécifications d'emploi de ces matériaux pour un usage notamment en couche de forme. Il faut se reporter au Guide Technique pour la Réalisation des Remblais et des Couches de Forme (« GTR ») pour avoir la description des solutions relatives aux conditions d'utilisation propres à chaque classe de matériaux en fonction des caractéristiques du support et des objectifs de plate forme recherchés.

Pour un nombre limité de matériaux, le GTR ne définit pas de solution d'emploi mais indique les mentions reprises dans le tableau ci-dessous :

La situation des matériaux se trouvant dans le cas 1 est liée d'une part à des considérations économiques (les matériaux ne sont pas réutilisables dans des conditions économiques courantes) et d'autre part à des considérations techniques (certains matériaux, compte tenu de leur structure intrinsèque peuvent induire des risques de désordre sous l'action de contraintes extérieures - eau, gel).

La situation des matériaux se trouvant dans le cas 2 est liée aux risques possibles de gonflement du matériau traité provoqués par la présence de constituants chimiques dans les matériaux tels que des sulfates ou des sulfures qui peuvent entraîner, par

formation d'ettringite, espèce minérale très gonflante, la destruction de la prise hydraulique.

La norme NF P 94-102-1 « sol traité au liant hydraulique, éventuellement associé à la chaux, pour une utilisation en couche de forme » précise les constituants pouvant entrer dans la composition des mélanges et définit une classification des matériaux traités en fonction de leurs caractéristiques mécaniques. Cette norme est destinée, par référence à la norme NF P 11-300, au traitement des sols (matériaux correspondant aux classes A, B, C et D), des matériaux rocheux (matériaux correspondant aux classes R1, R2, R3, R4 et R6) et des cendres volantes classées F2. Elle ne s'applique a priori pas aux autres classes de matériaux.

Le guide technique pour le Traitement des Sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques (« GTS ») présente l'application de la technique du traitement à la conception et à la réalisation notamment des couches de forme. Ce document est destiné au traitement des sols (matériaux correspondant aux classes A, B, C et D définies dans la norme NF P 11-300), et ne s'applique a priori pas aux autres classes de matériaux (rocheux et sous-produits industriels).

Les matériaux se trouvant dans ces cas sont donc concernés par la démarche de valorisation exposée dans le présent guide.

Conditions d'emploi	Exemples de matériaux concernés
Cas 1 : matériaux normalement inutilisables en couche de forme	<ul style="list-style-type: none">- sols fins A3 s ; A4 (voir autre guide CFTR)- matériaux sensibles à l'eau à l'état th et ts- matériaux rocheux : R13s, R31, R32, R5- sous produits industriels :<ul style="list-style-type: none">. schistes des mines de potasse F4. phosphogypse F5. MIOM F62, F63. matériaux de démolition F72, F73
Cas 2 : en excluant les solutions impliquant un traitement avec des liants hydrauliques	<ul style="list-style-type: none">- sous produits industriels :<ul style="list-style-type: none">. schistes houillers F3. MIOM F61. laitiers des hauts fourneaux F8

Analyse de la démarche de valorisation

Étant établi que le respect de l'ensemble des exigences concernant les qualités requises permet d'obtenir, à partir d'un minimum d'études préalables, des matériaux garants de la qualité d'usage pour l'ouvrage considéré, la dérogation à une (ou plusieurs) spécification(s) selon les situations décrites au paragraphe précédent conduit à une incertitude sur le comportement et à un risque plus ou moins important d'endommagement prématuré de l'ouvrage.

La démarche méthodique est fondée sur l'identification du facteur de risque, puis sur l'évaluation de l'importance des conséquences de ce facteur sur les propriétés du matériau composite (par comparaison du matériau étudié avec les matériaux normalisés ou codifiés les plus proches) et sur celles de la structure dans laquelle il se trouve (voir diagramme 2).

Identification du facteur de risque

Matériau

- Caractérisation de la ressource ☐
- Recherche facteur de risque ☐



Évaluation du risque

Étude en laboratoire

- Consistance programme/facteur de risque ☐
- Evaluation risque - validation ☐



Expérimentation sur site

- Choix du site ☐
- Constat à l'exécution ☐
- Définition du suivi du comportement ☐
- Bilan initial – Point 0 ⑧
- Evaluation risque ☐



Codification d'emploi

Formalisation du référentiel d'emploi ⑩



Formalisation de la dérogation

But : la méthodologie décrite doit permettre de fournir les résultats nécessaires à la réalisation et à la validation d'un guide.

Développements

☐ Rappels des données utiles à la description de la ressource (contexte géologique pour les matériaux naturels, process pour les sous produits industriels ...), à la production des matériaux (modes d'extraction et d'élaboration...), et celles nécessaires à leur qualification (caractérisation en valeurs moyennes et en dispersion par rapport à un référentiel normatif ...).

☐ Recherche de la caractéristique « limitante » en fonction de la situation d'emploi et mise en évidence de la propriété physique concernée qui constitue le « facteur de risque ».

☐ Elaboration du programme d'étude pour mesurer la sensibilité au facteur de risque des propriétés du matériau composite avec des indications pour chaque technique.

☐ Interprétation des résultats par rapport au référentiel.

☐ Description des paramètres de définition du site expérimental (technique, position couche, trafic). Caractérisation du site (localisation, date de réalisation, environnement dont aspects hydrogéologiques, structure théorique et support).

☐ Vérification conformité du matériau approvisionné avec le matériau objet de la démarche (provenance, élaboration, caractéristiques). Contrôle de la conformité du matériau composite mis en place (contrôles de fabrication et de mise en œuvre). Observations sur les conditions de réalisation.

☐ Définition du programme de suivi du comportement intrinsèque du matériau et de son comportement dans la chaussée sur la zone expérimentale (déterminations des principaux paramètres, choix des outils, orientation concernant le suivi des paramètres dans le temps ...).

⑧ Cadre du contenu selon technique.

☐ Interprétation.

⑩ Définition des possibilités et conditions d'emploi par technique, résultant :

- de l'application du référentiel national
- des possibilités nouvelles issues de l'expérimentation avec, si nécessaire, mention de conditions particulières concernant l'exécution.

Diagramme 2 : démarche méthodique

Identification du facteur de risque

Étapes de l'identification et exemples de facteurs de risque.

Cette identification du facteur de risque résulte de la recherche :

- de la (des) propriété(s) du matériau composite concernée(s) par l'insuffisance de la caractéristique du matériau local objet de la démarche,
- de la déféctuosité résultante possible de cette propriété(s).

Pour illustrer cette recherche, quelques exemples sont cités dans le tableau ci-après.

La déféctuosité possible liée à la caractéristique limitante du granulat pour l'emploi considéré, constitue le **facteur de risque** dont l'influence sur l'ensemble des propriétés du mélange doit être étudiée.

Prise en compte de l'hétérogénéité du matériau

Le principal facteur limitant la valorisation d'un matériau est bien souvent son hétérogénéité. Les techniques routières peuvent s'accommoder d'insuffisances sur des caractéristiques géométriques, physiques ou chimiques des matériaux, mais ne peuvent pas en plus gérer une trop forte hétérogénéité. Les échecs survenus dans les tentatives passées de valorisation de matériaux locaux ont bien souvent été dus à ce paramètre plutôt qu'à la déféctuosité d'une caractéristique.

Toutefois, il est important de souligner que l'hétérogénéité du matériau n'est pas ici considérée comme facteur de risque en tant que tel.

L'application de la démarche de valorisation à un matériau local nécessitera donc de s'assurer au préalable d'une homogénéité suffisante de ce matériau par rapport aux emplois envisagés, ou d'une possibilité technique et financière de l'homogénéiser.

Caractéristique limitante du matériau	Risque	Propriétés du matériau composite concernées selon technique / déféctuosité possible	Exemple de matériaux
Résistance mécanique	Évolution granulométrique	Matériaux traités aux liants hydrauliques : <ul style="list-style-type: none"> • performances mécaniques des matériaux • comportement aux interfaces de la structure Matériaux non traités <ul style="list-style-type: none"> • sensibilité à l'eau, stabilité • gélivité 	Calcaires tendres
Forme Angularité Écoulement	Faiblesse du frottement interne	Grave bitume ou GNT <ul style="list-style-type: none"> • ornierage • performance ou module 	Certains alluvionnaires ou assimilés
Propreté	Sensibilité à l'eau	Matériaux non traités <ul style="list-style-type: none"> • stabilité 	Matériaux argileux
Contenu en éléments chimiques réactifs	Gonflements	Matériaux traités aux liants hydrauliques <ul style="list-style-type: none"> • performance mécanique du matériau • instabilité de la structure 	Certains sous-produits industriels
... etc ...			

Parmi ces possibilités, notons qu'une méthode classique d'homogénéisation est celle de dépôt – reprise, qui permet, en une ou plusieurs phases, un brassage des matériaux stockés. Plus en amont dans le cas d'un gisement de matériaux naturel, la gestion de l'exploitation peut en partie résoudre ce problème, soit par l'extraction ciblée de zones homogènes d'un gisement, soit au contraire par une extraction simultanée des zones de caractéristiques différentes, et un mélange se faisant dès les premiers stades de l'élaboration. Dans tous les cas, l'effet de l'homogénéisation par mélange reste difficile à cerner et nécessite de nombreuses identifications, voire des essais en semi-grandeur.

Enfin, dans le cas de matériaux hétérogènes, il sera nécessaire de tester les matériaux extrêmes, et la valeur de la caractéristique limitante qui sera retenue pour l'application de la démarche sera la plus défavorable enregistrée, et surtout pas la valeur moyenne.

Évaluation du risque

L'évaluation du risque nécessite :

- une bonne connaissance des caractéristiques du granulats ou du sous-produit ;
- une étude en laboratoire des propriétés caractérisant le matériau composite comprenant le granulats / sous-produit en question ;
- un chantier d'essai pour constater le comportement du matériau composite sur site (à la mise en œuvre et dans le temps).

Identification du gisement et du matériau.

Les familles de matériaux concernées par ce guide obéissent à des logiques de production très variées. C'est en fonction de ces dernières que doit être prévu le mode d'identification.

Dans tous les cas, le principe est de faire une description complète du gisement et/ou du processus de fabrication, d'identifier les paramètres susceptibles de faire varier les caractéristiques des matériaux en bout de chaîne d'élaboration, et de procéder à des essais sur les matériaux permettant de déterminer la position et la dispersion des caractéristiques.

Que le débouché maximal prévu pour le matériau soit les couches de forme, ou qu'une utilisation en couches d'assises soit aussi visée ne change pas la méthode générale d'identification. La différence portera seulement sur la valeur et la dispersion des caractéristiques, les exigences étant supérieures dans le second cas.

Cas des matériaux dont le gisement obéit à une logique géologique.

Dans cette catégorie se classe l'essentiel des matériaux issus des carrières. Le gisement est une formation géologique, dont est extrait un tout-venant naturel ou d'abattage. Ce tout-venant est ensuite traité dans une installation d'élaboration où est fabriqué le (ou les) produit (s) final (-aux) (concassage, criblage, lavage, ...).

Trois principaux cas sont rencontrés :

- la ressource à valoriser est une formation géologique, exploitée dans plusieurs carrières. L'identification passe alors par une description géologique et géotechnique de cette formation, ainsi que par celle des méthodes d'extraction et d'élaboration permettant d'obtenir les matériaux à valoriser. Elle présente d'une part les caractères communs aux carrières concernées, et d'autre part les différences, qui permettent de donner un aperçu des hétérogénéités rencontrées. Cette identification est complétée par des fourchettes de valeurs des caractéristiques des produits, établies à partir d'essais échelonnés dans le temps ;
- la ressource est une formation géologique exploitée dans une carrière unique. L'essentiel de l'identification peut alors se résumer à la description du gisement et des méthodes de fabrication et de contrôle, conforme à celle stipulée dans le §3A de l'annexe C du fascicule 23 du CCTG. Dans ce cas aussi, l'identification est complétée par des résultats d'essais échelonnés dans le temps et fixant la variabilité des caractéristiques des produits ;
- la ressource est une zone spécifique d'une carrière donnée (exemple : front supérieur partiellement altéré d'une carrière de granulats éruptifs). L'identification comprend alors une description sommaire du gisement ainsi qu'un dossier géologique et géotechnique précis sur la zone concernée incluant des plans de localisation clairs. Les modes d'extraction, d'élaboration, de contrôle, et de gestion des stocks propres aux matériaux issus de cette zone sont présentés. Des résultats d'essais échelonnés dans le temps complètent cette identification.

Dans tous les cas, si le produit est destiné à être utilisé comme granulats pour assises de chaussées, le producteur établit une FTP (selon définition normalisée) affichant les caractéristiques des produits, avec une attention particulière accordée à la (ou les) caractéristique(s) entraînant la non-conformité du matériau.

Un cas particulier doit aussi être évoqué : celui d'une formation géologique qu'il est classique de rencontrer dans les déblais routiers d'une région donnée, et dont on souhaite promouvoir la valorisation sur les sites mêmes d'extraction, en couche de forme, voire en assise. Ce cas s'apparente en fait à celui évoqué plus

haut de la formation géologique exploitée dans plusieurs carrières. Cependant, à la description des caractères généraux devra s'ajouter systématiquement une étude spécifique de chaque déblai, par sondages et constitution d'un dossier géologique et géotechnique détaillé sur la zone concernée en faisant apparaître l'organisation du gisement et la plage de variation des caractéristiques constatées du matériau.

Cas des matériaux dont le gisement obéit à une logique industrielle.

Dans cette catégorie peuvent être regroupés les co-produits ou sous-produits industriels, ainsi que les matériaux issus d'un processus de recyclage, pourvus qu'ils soient de production récente (par opposition aux matériaux stockés de longue date, qui font l'objet page 15 d'élaboration où est (sont) fabriqué(s) le (ou les) produit(s) final(aux)). Le gisement est alors déterminé par un processus industriel, et les principaux paramètres de ce « gisement » pouvant influencer sur les caractéristiques du matériau à valoriser sont les propriétés des matériaux introduits dans le processus industriel et les réglages de l'installation industrielle (voir exemples dans le tableau ci-dessous).

A la sortie de ce process, le matériau est traité dans une installation d'élaboration où est fabriqué le (ou les) produit (s) final (-aux) (concassage, criblage, lavage, ...) destiné à un usage en technique routière.

En fait, selon que le process industriel a pour objet la production d'un produit principal ou au contraire l'élimination de déchets, l'approche du problème est sensiblement différente.

Dans le premier cas, l'objectif de la chaîne de fabrication est de satisfaire aux exigences requises du produit principal.

Cela a pour conséquence que les écarts au niveau des entrées matières ou au niveau de la conduite du procédé de fabrication se répercuteront principalement en terme de variation sur les caractéristiques du sous-produit.

Dans le second cas, la raison d'être du process industriel est l'élimination de déchets. Seule la volonté d'accroître le taux de recyclage fait que les entrées matières ou la conduite du procédé peuvent être adaptées dans un objectif annexe d'obtenir des caractéristiques minimales du matériau permettant de ne pas l'orienter vers une décharge. Dans certains cas favorables, ces adaptations peuvent dépasser cet objectif et permettre la production de matériaux de meilleures propriétés.

Dans les deux cas, la maîtrise des caractéristiques (chimiques, minéralogiques, géotechniques, ...) du matériau à valoriser, en terme de valeur, de fluctuation, de dispersion, de valeur limite..., nécessite :

- que le matériau brut avant process industriel soit qualifié ;
- que le process industriel soit bien connu et clairement exposé (incluant les modalités de collecte dans le cas des déchets), de même que les traitements spécifiques que subit éventuellement le matériau en aval du process principal avant mise à disposition ;
- que les paramètres du procédé induisant les variations des caractéristiques du matériau (écarts liés aux matières, au process, aux gammes de fabrication...) soient bien identifiés et fassent l'objet d'un suivi ;
- que la gestion des lots de matériaux issus du process soit organisée et permette une traçabilité ;
- que les caractéristiques du matériau fassent l'objet d'un suivi rigoureux (FTP), et tout spécialement celle(s) entraînant sa non conformité.

Exemple de processus industriel	Exemple de matériau à valoriser	Exemples de paramètres influant sur les caractéristiques du matériau à valoriser.	
		Paramètres liés aux matières entrantes	Paramètres liés au type de process et son réglage
Fabrication de l'acier ou de la fonte	Laitiers	Qualités et proportions de minerai de fer, de coke, de chaux, et des autres substances	Réglages en fonction de la qualité de fonte ou d'acier visée.
Élimination des déchets du BTP	Produits de démolition recyclés	Nature et caractéristiques des ouvrages démolis	Processus de déconstruction Sélection ou non à la source. Type de gestion des gravats à l'arrivée sur l'installation de recyclage
Élimination des déchets ménagers ou assimilables	MIOM	Nature et homogénéité des déchets	Type de four Paramètres de combustion
...etc...			

Cas des matériaux dont le gisement obéit à une logique de stock.

Comme indiqué au paragraphe précédent, la vocation d'une industrie est de produire un produit principal. De ce fait, la valorisation des sous produits de cette industrie ne prend de l'intérêt que si les conditions économiques et techniques du moment le permettent. Dans le cas contraire, les sous-produits concernés font logiquement l'objet d'un stockage, généralement à proximité du site de production. A ce stade, les différentes qualités sont superposées ou juxtaposées sans organisation particulière.

Des stocks de « stériles » se sont ainsi constitués au fil du temps (et dans certains cas continuent à se constituer), qui renferment une part non négligeable des matériaux concernés par la présente démarche. A titre d'exemples peuvent être cités les terrils de schistes houillers, les crassiers de laitiers, les excédents de carrières, les MIOM de production ancienne, les stocks de sables de fonderies, ...

D'une façon générale, la prévision des caractéristiques du matériau en tout point du stock n'est pas possible. Des procédures de déstockage par lots, homogénéisation par mélanges et élaboration sont nécessaires. L'unité de base sur laquelle peut être faite l'identification devient alors le lot ainsi constitué. Seul un traitement « statistique » des résultats obtenus sur une durée significative d'exploitation du stock selon cette procédure peut permettre de dégager des valeurs représentatives des caractéristiques et leur dispersion pour l'ensemble du tas.

La maîtrise des caractéristiques (chimiques, minéralogiques, géotechniques, ...) du matériau déstocké, en terme de valeur, de fluctuation, de dispersion, de valeur limite..., nécessite donc :

- que le processus de déstockage, d'homogénéisation des lots, et de traitement des matériaux soit bien connu ;
- que les caractéristiques de chaque lot fassent l'objet de nombreuses mesures par un suivi rigoureux (FTP), et tout spécialement celle(s) induisant la non conformité ;
- que la gestion des lots de matériaux soit organisée et permette une traçabilité.

Étude en laboratoire

Il s'agit de vérifier l'incidence sur les propriétés du mélange, de la caractéristique conférant au matériau son caractère hors norme ou hors spécification. Cette vérification est effectuée selon les méthodes en vigueur ⁽¹⁾.

Les méthodes d'études en laboratoire diffèrent d'une technique à l'autre. Les grandes lignes de celles concernant les MTLH, les enrobés à chaud ou à froid, et les GNT sont indiquées ci-dessous.

L'objectif visé est que les propriétés du mélange ainsi réalisé soient conformes à celles spécifiées, d'une part dans les guides d'application des normes pour les assises de chaussées, et d'autre part dans le GTR ou le GTS pour les couches de forme.

Dans tous les cas, une attention toute particulière sera apportée au choix des échantillons sur lesquels seront réalisées les études, afin de s'assurer de leur représentativité par rapport à l'ensemble des matériaux du « gisement », ou mieux par rapport à la valeur la plus défavorable rencontrée sur le gisement (voir page 12 « prise en compte de l'hétérogénéité du matériau »). Ils feront l'objet d'une caractérisation complète à leur entrée au laboratoire.

Cas des matériaux non traités ou traités à la chaux seule, dont l'usage maximal visé est la couche de forme.

Un matériau non traité peut être utilisé en couche de forme si ses caractéristiques vis à vis de l'insensibilité à l'eau, du D_{max} , de la résistance au trafic de chantier et éventuellement de l'insensibilité au gel, pour les régions concernées par ce phénomène, sont satisfaites.

L'étude de laboratoire consiste à estimer le comportement du matériau lors de sa mise en œuvre et à déterminer les références de compactage W_{OPN} et ρ_{dOPN} . Il s'agit d'établir les courbes proctor normal et la courbe IPI à différentes teneurs en eau dans la plage des teneurs en eau naturelle mesurées lors de l'identification. Dans le cas de matériaux évolutifs, les coefficients de fragmentabilité (norme NF P 94-066) et dégradabilité (norme NF P 94-067) seront déterminés.

Dans les régions soumises aux effets du gel, les risques de dégradation du matériau soit par fragmentation ou microfissuration (gélifraction) soit par gonflement pendant la phase de gel et réduction de portance au moment du dégel (cryosuccion) sont à évaluer respectivement par les essais de « sensibilité au gel » (norme NF P 18-593) et « essai de gonflement au gel d'un matériau 0/20 » (norme NF P 98-234-2).

Une technique d'amélioration des matériaux couramment utilisée est celle du traitement à la chaux. L'incorporation de chaux dans un matériau provoque normalement deux actions :

- une action immédiate qui produit d'une part un abaissement de la teneur en eau initiale et d'autre part une modification des caractéristiques de la

⁽¹⁾ Il faut noter que certains matériaux dont les comportements sont aujourd'hui mal élucidés (comme par exemple la plupart des gonflements, spontanés ou en présence de liants) font l'objet d'études et recherches, visant notamment à la mise au point d'essais de qualification. Pour pouvoir être prise en compte dans la présente démarche, il est préférable qu'une méthode d'essai fasse l'objet d'une norme, ce qui atteste de sa reconnaissance par la communauté technique.

fraction argileuse (augmentation de la limite de plasticité et de l'IpI). Cette action, qui améliore et rend apte à l'emploi un matériau initialement non utilisable en l'état conduit en général à un matériau assimilable à du non traité ;

- une action à long terme qui produit avec les matériaux contenant des minéraux argileux (par exemple certains A, F3 ou F4) une élévation des performances mécaniques. Un effet pouzzolanique se développe selon une cinétique de prise lente et conduit à des niveaux de performances mécaniques qui restent faibles. Il est difficile d'évaluer au stade des études les performances escomptables en raison des délais de prise pouvant être importants.

Les études en laboratoire appliquées à la réalisation des couches de forme traitées à la chaux doivent permettre de vérifier que les propriétés du mélange matériau/liant sont conformes à celles spécifiées à l'article C1 - 3.6.1 du GTS.

Comme pour les matériaux traités à la chaux et/ou aux liants hydrauliques (voir § suivant), une étude de formulation de niveau 2 doit être conduite selon la méthodologie décrite dans la norme NF P 94-102-2.

Cas des matériaux non traités dont l'usage envisagé inclut les couches d'assises (GNT).

L'utilisation de matériaux locaux en tant que graves non traitées pour assises de chaussées passe par trois étapes :

- la caractérisation des granulats ;
- la caractérisation de la GNT ;
- la vérification du comportement par des chantiers expérimentaux.

Caractérisation des granulats

Les granulats doivent être caractérisés avec les paramètres définis dans les normes traitant des granulats pour assises de chaussées en vigueur.

Caractérisation de la GNT

Les caractéristiques des graves non traitées utilisées en assises de chaussées sont définies par la norme NF P 98-129.

L'étude en laboratoire des GNT doit être conduite suivant la norme NF P 98-125 « Graves Non Traitées - Méthodologie d'Etude en Laboratoire », en retenant l'option de l'étude complète. Celle-ci comprend :

- l'identification des granulats ;
- la vérification de la conformité de la granularité avec le fuseau de spécification ;
- la détermination des caractéristiques de compactage (Essai Proctor modifié, compacité à l'Optimum Proctor modifié) ;
- si nécessaire, la vérification de la tenue au gel par l'essai de gonflement au gel (NF P 98 234-2).

Des enseignements complémentaires sur le comportement au compactage peuvent aussi être obtenus par l'essai de Vibrocompression à paramètres contrôlés (VCPC, norme NF P 98-231-3)

Dans le cas des matériaux tendres ou évolutifs, l'étude pourra être doublée d'expérimentations réalisées avec une granulométrie similaire à celle qui est attendue sur chantier après compactage (où l'on peut avoir une production de fines importante, suivant la méthode de mise en oeuvre et de compactage utilisée)

Pour les matériaux dont une ou plusieurs caractéristiques ne sont pas conformes à la norme ou aux spécifications d'usage, un essai permet de véritables progrès dans la connaissance du comportement du matériau : il s'agit de l'essai Triaxial à Chargements Répétés (TCR, norme NF P 98-235-1). Il permet de déterminer le comportement réversible des GNT (comportement élastique) et également leur résistance aux déformations permanentes, sous des chargements cycliques représentatifs des chargements réels subis dans la chaussée.

Une annexe informative de la norme Graves Non Traitées - Méthodologie d'Etude en Laboratoire (NF P 98-125) définit une méthode d'étude des caractéristiques mécaniques des GNT au TCR. Cette caractérisation repose sur la détermination de deux paramètres mécaniques :

- un module d'élasticité caractéristique E_c
- une déformation permanente caractéristique A_{1c}

Deux modalités d'étude sont proposées :

- l'étude complète, où l'on détermine les valeurs de E_c et A_{1c} pour 3 valeurs de teneur en eau et 3 valeurs de masse volumique sèche, afin d'évaluer la sensibilité des paramètres mécaniques aux variations de teneur en eau et de compacité ;
- l'étude réduite, où l'on détermine E_c et A_{1c} en réalisant 2 essais à $w = w_{OPM} - 2\%$ et $\rho_d = 0,97\rho_{dOPM}$

Les résultats obtenus permettent de classer les matériaux, en 4 classes de performances mécaniques (C1 à C4), en fonction des valeurs de E_c et A_{1c} . Les performances à obtenir pour une utilisation de la GNT en assise de chaussées sont au minimum C2 en couche de base pour des trafics $\geq T3$, et C3 dans les autres cas (couche de fondation, ou couche de base avec un trafic $< T3$).

Suivant les paramètres qui sont hors norme ou hors spécifications, l'étude à réaliser au TCR est soit une étude complète, soit une étude réduite. Dans le cas de l'étude complète, les 3 valeurs de teneur en eau et les trois valeurs de masse volumique sèche à considérer doivent encadrer les valeurs de ces paramètres attendues sur chaussée. Dans le cas de l'étude réduite, on réalise 2 essais à $w = w_{OPM} - 2\%$ et $\rho_d = 0,97\rho_{dOPM}$. Les différents cas envisagés sont résumés dans le tableau ci-après.

Enfin, aux essais de référence sur les granulats et les GNT peuvent s'ajouter des essais spécifiques au facteur de risque présumé, par exemple teneur en sulfates solubles, teneur en chaux libre, stabilité dimensionnelle des granulats, ...

Caractéristiques intrinsèques ou de fabrication hors norme ou hors spécification d'usage	Contenu de l'étude au TCR
Caractéristiques mécaniques : Los Angeles (LA), Micro Deval Humide (MDE)	Etude complète au TCR, en regardant notamment la sensibilité des paramètres E_c et A_{1c} à la teneur en eau. (risque de sensibilité à l'eau du matériau).
Granularité	Etude complète au TCR, en regardant notamment la sensibilité des paramètres E_c et A_{1c} à la teneur en eau. (risque de sensibilité à l'eau du matériau).
Forme : aplatissement	Etude complète au TCR, en regardant notamment la sensibilité des paramètres E_c et A_{1c} à la masse volumique sèche.
Propreté des sables, Valeur de Bleu	Etude complète au TCR, en regardant notamment la sensibilité des paramètres E_c et A_{1c} à la teneur en eau. (risque de sensibilité à l'eau du matériau).
Angularité	Etude réduite au TCR.
Compacité	Etude complète au TCR, en regardant notamment la sensibilité des paramètres E_c et A_{1c} à la masse volumique sèche.

Cas des matériaux traités aux liants hydrauliques, dont l'usage maximal visé est la couche de forme.

Les performances du matériau brut ou amélioré à la chaux peuvent être considérablement augmentées par traitement aux liants hydrauliques.

Pour une utilisation envisagée en couche de forme par traitement aux liants hydrauliques, les performances mécaniques minimales qui doivent être atteintes lors de l'étude en laboratoire sont celles de la « zone 5 » du diagramme Rt/E (cf graphe article 7.4. de la norme NF P 94-102-1).

Si les recommandations du GTS et de la norme NF P 94-102-1 s'appliquent à certains types de matériaux, leur utilisation peut être étendue aux matériaux supplémentaires visés à l'article 2.2.2. présent guide, sous réserve que les paramètres qui les caractérisent soient compatibles avec ceux considérés comme représentatifs vis à vis du traitement.

Les études en laboratoire appliquées à la réalisation des couches de forme traitées aux liants hydrauliques doivent permettre de vérifier que les propriétés du mélange matériau / liant sont conformes à celles spécifiées à l'article C1 - 3.6.2 du GTS.

Les études de traitement passent nécessairement par deux étapes chronologiques :

- l'évaluation de son aptitude au traitement ;
- l'étude de formulation.

L'évaluation de l'aptitude du matériau au traitement

Pour certains matériaux, l'association avec un produit de traitement peut avoir une incidence néfaste sur le déroulement de la prise hydraulique. Pour apprécier le risque d'un comportement anormal d'un matériau traité et avant d'engager les études de formulation appliquées aux couches de forme, il convient de vérifier l'aptitude du matériau au traitement par « l'essai d'évaluation de l'aptitude d'un sol au traitement » dont le mode opératoire et l'interprétation des résultats sont définis dans la norme NF P 94-100.

Cet essai rapide a pour but de s'assurer que le matériau traité à la chaux et/ou au liant hydraulique, sur une formulation de base préétablie, présente, après compactage, une stabilité dimensionnelle et un comportement mécanique conformes aux spécifications attendues.

L'interprétation de l'essai s'effectue selon les critères suivants :

Aptitude du matériau	Gonflement volumique G_v (%)		Résistance R_{tb} (MPa)
Adaptée	$G_v \leq 5$	ou	$\geq 0,2$
Douteuse	$5 < G_v \leq 10$	ou	$0,1 \leq R_{tb} < 0,2$
Inadaptée	$G_v > 10$	ou	$R_{tb} < 0,1$

Dans le cas d'une aptitude « inadaptée », la technique du traitement est à abandonner.

Dans le cas d'une aptitude « douteuse », il convient de procéder à une analyse chimique approfondie pour trouver l'explication de l'incompatibilité du matériau avec le produit de traitement et rechercher les solutions adaptées (changement de liant ou pré traitement à la chaux par exemple).

L'étude de formulation

L'étude de formulation a pour but de déterminer les liants et les dosages en liants les mieux adaptés pour atteindre les objectifs de performances mécaniques visés pour les couches de forme. Pour évaluer les interactions du matériau avec le produit de traitement et les dispersions d'exécution sur le comportement du mélange, une étude de niveau 2 doit être réalisée. Elle est conduite selon la méthodologie décrite dans la norme NF P 94-102-2 en faisant varier la teneur en liant hydraulique dans une plage de dosage assez large afin de réduire les risques d'un mauvais choix de départ (en règle générale trois dosages est un minimum). L'étude est réalisée sur l'échantillon représentatif du matériau à traiter et sur les échantillons confectionnés avec les extrêmes de la plage de variation des caractéristiques constatées.

La norme NF P 94-102-2 préconise pour l'étude de formulation d'un matériau traité les cinq phases suivantes :

- *l'identification des composants du mélange* et le choix des produits de traitement. Dans le cas particulier des matériaux objet du présent guide, le liant hydraulique (ciment ou liant spécial routier) choisi pour l'étude devra avoir des caractéristiques identiques à ceux prévus pour le (les) chantier(s) ;
- *l'étude des caractéristiques de mise en œuvre* et du délai de maniabilité. Il s'agit de déterminer les modalités optimales d'exécution, (références de compactage W_{OPN} et $\rho_{d,OPN}$, IPI) pour garantir le niveau de performance visé ;
- *l'étude de l'évolution des performances mécaniques* en fonction du dosage.

Cette étude est réalisée sur des éprouvettes de matériau traité à différentes teneurs en liant choisies dans la plage de dosage fixée au départ. Les éprouvettes sont dimensionnées et confectionnées selon les

modalités définies dans l'article 6.2. de la norme NF P 94-102-2.

La résistance en traction R_{td} ou R_{tb} et le module élastique E sont mesurés à 28 et 90 jours voire 180 jours dans le cas de liant à prise lente. Les points représentatifs des couples de valeurs R_{td} et E sont portés sur le diagramme défini à l'article 7.4. de la norme NF P 94-102-1 qui permet de déterminer la classe mécanique du matériau traité.

Pour information, la classe mécanique 5 a été prise en compte pour le dimensionnement des couches de forme défini dans le GTR.

- *l'étude du comportement mécanique au jeune âge* du matériau traité. Les mesures de la R_c et R_{ci} réalisées à 7 jours ou 28 jours permettent d'évaluer le délai à partir duquel le matériau traité peut être remis à la circulation et sa résistance à l'immersion. Pour la mise en œuvre de couche de forme traitée à l'approche de période de gel, il convient également d'évaluer la résistance correspondant à l'âge probable d'apparition du gel.
- *l'étude de la sensibilité aux dispersions d'exécution* dans le contexte du chantier sur les performances mécaniques. Il s'agit de quantifier les effets des dispersions liées au dosage, en particulier dans le cas d'un traitement en place, au compactage fond de couche et à l'état hydrique prévisible au moment de la mise en œuvre et d'évaluer dans quelle mesure ils peuvent être compensés par un ajustement du dosage en liant.

Cas des matériaux traités aux liants hydrauliques dont l'emploi envisagé inclut les couches d'assises.

Le mode principal de dégradation d'une couche de chaussée en MTLH est la fatigue en flexion sous les chargements répétés du trafic des poids lourds. C'est ce comportement qui est pris en compte dans le dimensionnement des structures de chaussées.

Aujourd'hui, le guide technique pour la « conception et le dimensionnement des structures de chaussées » (LCPC, Sétra, 1994) précise que, pour les MTLH conformes aux normes et élaborés avec des granulats répondant aux spécifications d'usage, les caractéristiques en fatigue sont fixées conventionnellement ou estimées à partir des seuls module d'élasticité au premier chargement

et résistance en traction directe (voir normes NF P 98-113, 98-116 et 98-128).

Mais de façon générale, une étude classique au premier chargement sous-évalue l'incidence sur le comportement en fatigue d'un écart important des caractéristiques des granulats par rapport aux spécifications usuelles. Pour des granulats calcaires très tendres, on a ainsi pu constater un effet plus défavorable de leur faible dureté sur le comportement en fatigue que sur les essais de rupture au premier chargement. Pour des granulats dont une ou plusieurs caractéristiques s'écartent des limites spécifiées, on pourra admettre pour les trafics < T3 de n'étudier l'incidence des caractéristiques des granulats sur les performances mécaniques que par des essais de rupture au premier chargement, et d'utiliser pour le dimensionnement les caractéristiques conventionnelles en fatigue du MTLH se rapprochant le plus. Mais pour les trafics importants ($\geq T3$), des essais de fatigue (NF P 98-233-1) sont nécessaires pour mieux définir les paramètres de dimensionnement.

Pour ces matériaux qui ne répondent pas à la définition de mélanges largement éprouvés, les normes de méthodologie d'étude en laboratoire des MTLH (NFP 98-114-1 et -2) seront utilisées en retenant l'option de l'étude complète. On pourra ainsi connaître la sensibilité des performances mécaniques aux variations des paramètres constitutifs (masse volumique apparente, teneur en liant et teneur en eau) par rapport à celles de la formule de base. Ces données seront utiles pour fixer les tolérances à spécifier et pour pouvoir adapter la formule aux conditions réelles du chantier.

Lorsque cela est possible, on mettra en évidence les conséquences directes ou indirectes de la «défectuosité» du granulat sur les caractéristiques de compactage et les performances mécaniques du MTLH et sur la nécessité ou non de modalités de traitement adaptées, par exemple :

- *faible dureté* :
 - incidence de l'évolution granulaire qui sera rencontrée sur chantier, en reconstituant cette évolution en laboratoire, sur les caractéristiques de compactage et notamment la sensibilité à l'eau, et sur les résistances mécaniques ;
 - effet du gel avant durcissement, limitation d'utilisation avant une période de gel, (étude du comportement au gel : voir norme NF P 98-234-1) ;
- *pollution argileuse* : effet sur la stabilité immédiate et la sensibilité aux excès d'eau, effet de l'immersion sur les performances mécaniques, choix d'un liant adapté et /ou augmentation du dosage ;
- *présence de constituants chimiques réactifs* (sulfates, sulfures, matières organiques, ...) susceptibles d'avoir un effet sur la stabilité dimensionnelle du mélange

traité et / ou sur ses performances mécaniques : évaluation du risque et choix d'un liant adapté ;

- *granularité mal graduée d'un sable* : effet sur les caractéristiques de compactage et de stabilité immédiate et recherche d'une correction granulaire adaptée.

Cette évaluation du risque par des essais de laboratoire seuls n'est pas suffisante car d'autres modes de dégradations que celui lié aux performances mécaniques, difficiles à évaluer en laboratoire, peuvent être rencontrés : comportement des interfaces, notamment entre couche de roulement et couche de base en MTLH, engrènement des bords de fissure de retrait thermique. De plus, les opérations de fabrication et de mise en œuvre peuvent être rendues plus délicates et nécessiter des modalités particulières de réalisation. Des constatations sur chantier sont donc nécessaires pour compléter les études de laboratoire.

Cas des enrobés à chaud

Compte tenu des objectifs du présent guide, la seule technique bitumineuse à chaud considérée sera celle des graves bitume pour assises, à l'exclusion de toute autre.

La valorisation de matériaux locaux en assises de chaussées dans les techniques bitumineuses passe par trois étapes principales :

- la caractérisation des composants ;
- l'épreuve de formulation ;
- la réalisation de chantiers expérimentaux permettant de valider l'emploi de ces matériaux.

La caractérisation des composants

Les deux composants principaux des enrobés à chaud sont les granulats et le liant.

Les granulats doivent être caractérisés selon les normes en vigueur.

Le liant doit être caractérisé selon les normes NF T 65-000 et NF EN 12591. Pour les bitumes modifiés et les liants spéciaux, ils doivent être conformes à la fiche technique du fournisseur.

Épreuve de formulation

A partir des constituants (granulats, filler, liants hydrocarbonés, additifs minéraux ou organiques), identifiés et représentatifs des matériaux à utiliser, il est réalisé une séquence d'essais de laboratoire pour décrire le comportement du mélange hydrocarboné.

L'épreuve de formulation consiste à ajuster la composition de la GB (granularité, nature et teneur en fines, type et teneur en liant, dopes le cas échéant) pour qu'elle puisse répondre aux exigences de la norme produit (performances à obtenir sur les essais). Les modalités de réalisation des essais sont indiquées dans la norme NFP 98-150.

Les essais principaux utilisés comme outils de formulation sont :

- l'essai PCG (NFP 98-252), qui permet de définir une courbe granulométrique et d'approcher le pourcentage de vides qui sera obtenu sur chantier ;
- l'essai Duriez (NF P 98-251-1) qui apporte une connaissance sur la compatibilité liant-granulat et sur la tenue à l'eau de l'enrobé ;
- l'essai d'orniérage (NFP 98-253-1) qui caractérise la stabilité de l'enrobé sous le passage répété d'une charge.

Les normes distinguent quatre niveaux d'épreuve de formulation :

- le niveau 1 comprend l'essai PCG et l'essai Duriez ;
- le niveau 2 comprend les essais de niveau 1 complétés par un essai d'orniérage ;
- le niveau 3 introduit en plus un essai à caractère structurel, la détermination du module de rigidité dans des conditions fixées (NF P 98-260-1 et -2) ;

- le niveau 4 rajoute la détermination de la résistance à la fatigue (NF P 98-261-1). Cet essai permet une caractérisation complète du matériau en vue de son dimensionnement.

Le niveau 2 d'étude est le minimum exigé, dans le cadre d'une valorisation de matériaux locaux, pour caractériser correctement l'enrobé. Pour une mise en œuvre sous trafic $\geq T3$, un niveau supplémentaire d'épreuve de formulation est nécessaire (niveau 3 ou 4).

L'ordre et l'importance des essais dépendent des paramètres considérés comme hors norme ou hors spécification d'usage.

Quand une formule est validée avec l'essai déterminant, les autres essais définis dans l'épreuve de formulation de niveau 2 (au minimum) sont effectués. Les résultats doivent être conformes aux spécifications de la norme produit correspondante.

Caractéristiques intrinsèques ou de fabrication hors norme ou hors spécification d'usage	Incidence	Essai déterminant pour la continuité de l'étude
LA, LA + M _{DE}	La courbe granulométrique du matériau risque d'évoluer (compactage, circulation,...).Ceci peut favoriser la création de fines non enrobées qui peuvent influencer sur la tenue à l'eau de l'enrobé.	Essai Duriez Évolution de la courbe sur éprouvette Duriez
M _{DE}	Les granulats étant sensibles à l'attrition, même conséquence que pour le LA.	Essai Duriez
Granularité	L'essai PCG doit être réalisé pour voir si malgré une granularité hors norme ou hors spécification d'usage, il est possible d'atteindre les compacités voulues.	Essai PCG
A	Un très bon ou un très mauvais aplatissement peuvent conduire à des problèmes d'orniérage.	Essai d'orniérage
P, VB	La présence d'éléments fins nocifs (argileux) peut entraîner une mauvaise tenue à l'eau des enrobés.	Essai Duriez
Angularité	L'angularité des granulats conditionne la stabilité de l'enrobé et sa résistance à l'orniérage.	Essai d'orniérage
FS	Cet essai caractérise la résistance des sables à l'attrition. Une faible résistance peut entraîner la création de fines qui pourront avoir des conséquences sur la tenue à l'eau.	Essai Duriez
Sulfates solubles	Ils peuvent interférer dans l'affinité liant-granulat et provoquer des gonflements qui se détecteront par la baisse des résistances des éprouvettes.	Essai Duriez (pour la tenue à l'eau et pour caractériser le gonflement)

Vérification sur chantier

La formule retenue doit être validée par des chantiers expérimentaux durant lesquels la fabrication et la mise en œuvre seront suivies (vérification des différents constituants, vérification du respect de la formulation, des épaisseurs de mise en œuvre, des températures de réalisation,...). En effet, l'emploi de matériaux hors normes ou hors spécifications d'usage, peut, en dehors des caractéristiques liées aux performances mécaniques, entraîner des modifications dans les opérations de fabrication et de mise en œuvre.

Le comportement dans le temps de la chaussée et du matériau sera caractérisé par différents essais (voir chapitre « Chantier d'essai » ci-après), en privilégiant cependant le comportement à l'essai déterminant défini dans le tableau ci-avant.

Cas des enrobés à froid

Le niveau de connaissance actuel des techniques de graves-émulsion pour couches d'assises reste aujourd'hui limité : l'évolution dans le temps de leurs caractéristiques mécaniques est encore mal comprise. Ce constat, qui s'applique pour des granulats « conformes », incite à une prudence accrue pour des granulats « hors spécifications ».

Néanmoins, des études et des chantiers expérimentaux sont en cours au moment de la rédaction du présent guide, qui devraient notamment permettre de mieux définir les conditions et limites d'emploi de ces matériaux ainsi que les règles de dimensionnement des chaussées à réaliser avec ceux-ci.

Dans l'attente de ces résultats, pour toute démarche de valorisation d'un matériau local par des techniques d'enrobés à froid, la base minimale quant au contenu de l'étude de laboratoire et aux objectifs de performances à atteindre sont ceux édictés dans la norme NF P 98-121 « graves émulsion ». En fonction de l'usage de la GE (travaux de reprofilage, couches d'assises), les essais à réaliser sont détaillés. Pour un emploi en couches d'assises, il s'agit des essais PCG (NF P 98-252) et Duriez (NF P 98-251-4).

Il est à noter que le choix de l'émulsion est un paramètre très important pour la mise au point d'une grave émulsion de qualité.

Certains essais non stipulés dans la norme NF P 98-121 peuvent être réalisés à cet effet. Ils concernent :

- l'essai d'enrobage manuel : celui-ci permet d'évaluer la qualité de l'enrobage d'une grave par une émulsion de bitume pour plusieurs teneurs en eau totales et teneurs en bitume résiduel. La qualité de l'enrobage est évaluée visuellement par le pourcentage de surfaces couvertes par l'émulsion ;
- l'essai de maniabilité : il consiste à mesurer la force nécessaire pour déplacer un certain volume de matériaux enrobés à l'émulsion, ce qui permet de suivre l'évolution de la « maniabilité » du matériau

au cours du temps. La connaissance de ce paramètre est une des données essentielles pour éviter et prévenir la prise prématurée du produit au niveau de la centrale de fabrication ou au moment de la mise en œuvre.

En tout état de cause, une validation par chantiers expérimentaux est absolument indispensable (« Chantier d'essai » ci-après).

Chantier d'essai

Pour l'emploi envisagé (technique, couche, trafic), il s'agit de vérifier le comportement du matériau de la fabrication à la mise en œuvre puis dans la chaussée en service, ainsi que le comportement mécanique de la structure et son évolution dans le temps. Cela permet de caler les performances in situ par rapport à celles obtenues lors de l'étude.

Un tel constat nécessite le contrôle de la conformité des matériaux à ceux de l'étude puis, de manière plus générale, le suivi des conditions de mise en œuvre (incidents, météo, ...) pour aider à l'interprétation des résultats. Il nécessite ensuite un suivi dans le temps.

Le contenu du programme de l'étude doit donc être bâti en fonction :

- des principaux paramètres à évaluer (exemple : caractéristiques intrinsèques du matériau en place, caractéristiques mécaniques du matériau dans la structure, mode d'endommagement du matériau et de la structure ; résistance au trafic de chantier pour les couches de forme, ...) ;
- des outils disponibles pour l'évaluation de ces paramètres ;
- de la fréquence et de la durée nécessaire des mesures.

L'objectif général des constatations est d'évaluer le comportement du matériau à la mise en œuvre, puis dans la structure de la chaussée en place sous trafic, afin de le comparer à celui des matériaux codifiés les plus proches. Cette comparaison doit permettre du point de vue dimensionnement, soit d'assimiler le produit à une famille codifiée, soit de définir les paramètres spécifiques à prendre en compte dans le dimensionnement.

Les phases de l'expérimentation

De manière générale, l'expérimentation in situ d'une technique peut comporter plusieurs phases :

- une phase de test du process de fabrication et de mise en œuvre du produit. Il s'agit de vérifier que le produit fabriqué (mélange et compactage éventuel) en laboratoire peut l'être par des moyens industriels et d'en préciser les modalités ;
- une phase d'évaluation :
 - des caractéristiques mécaniques du produit fabriqué et mis en œuvre dans des conditions maîtrisées ;

- de la résistance au trafic de chantier (dans le cas des couches de forme) ;
- du fonctionnement de la structure (conditions d'interfaces, déformabilité ...) ;
- des conséquences présumées de la dérogation (à la mise en œuvre, à court terme ou à moyen terme) ;
- une phase d'évaluation du comportement en fatigue. Il s'agit, dans les cas spécifiques de matériaux au comportement particulier ou difficile à définir en laboratoire, de préciser le mode d'endommagement (fissuration, déformation permanente, pertes de cohésion ...). L'obtention de résultats dans des délais raisonnables conduit à tester une structure :
 - soit de faible épaisseur, (sans toutefois s'écarter du mode de fonctionnement normal de la structure visée), soumise à un trafic réel sur route ;
 - soit d'épaisseur plus proche de la normale, mais soumise à un trafic important ;
 - soit encore les deux.

Dans le cas le plus courant où cette expérimentation serait menée sur site réel, il faut toutefois être conscient qu'une telle configuration a toutes les chances d'aboutir à une dégradation prématurée du tronçon expérimental et entraînera de ce fait des coûts de rénovation de la chaussée qu'il faudra prendre en compte en amont.

Le programme de l'expérimentation

Avant d'être exécuté, le programme nécessite une préparation portant sur les points suivants :

- le choix du site en fonction de ses caractéristiques (statut, trafic, profil en long, hydrogéologie, ...)
- la consistance de l'expérimentation : nombre et longueur des planches, programme d'essais, durée, ...
- le dimensionnement des structures à tester. Celui-ci sera réalisé conformément au guide technique Conception et Dimensionnement des Structures de Chaussées. Le jeu d'hypothèses à retenir est celui du matériau normalisé le plus proche, ces valeurs pouvant éventuellement être modifiées pour tenir compte des résultats de laboratoire propres au matériau à tester et des objectifs visés (en particulier la durée).

Le programme expérimental en lui-même peut se décliner selon les deux grandes étapes que sont le chantier d'une part, et le suivi de la chaussée en service d'autre part :

Les investigations à réaliser lors du chantier d'essai portent sur :

- l'identification des matériaux (constituants) utilisés (dont, le cas échéant, celle des lots stockés du matériau local) ;
- la vérification des formules des produits utilisés ;
- la caractérisation du support (nature, état, conditions hydrauliques, portance, déformabilité) ;

- le suivi de la fabrication et de la mise en œuvre :
 - composition des produits ;
 - épaisseur des couches ;
 - densité en place des matériaux ;
- le constat de comportement sous trafic de chantier (dans le cas des couches de forme) ;
- la réalisation d'un point zéro :
 - déformabilité après la mise en œuvre du produit à tester ;
 - déformabilité de la structure terminée ;
 - caractéristiques de surface (profils en travers, uni, état de surface).

Après la mise en service, un suivi est mis en place. Il comporte :

- un calendrier : les dates d'intervention sont fixées en fonction de l'évolution prévisionnelle des matériaux (tenir compte de la cinétique de prise s'il y a lieu, de la sensibilité des matériaux à la température, à l'eau, ...). En général, les caractéristiques nominales des produits et de la structure sont déterminées après un an de service. Cette durée pourra toutefois être allongée en fonction du paramètre étudié, du climat local, etc. ;
- des investigations : les essais sont en général choisis dans la liste suivante :

mesure de la déformabilité du support :

- support à forte déformabilité : essai de plaque, dynaplaque ;
- support à moyenne déformabilité : deflectographe, poutre Benkelman, etc. ;
- inclinomètre ;

caractéristiques mécaniques des matériaux liés :

- carottage ;
- densité au banc gamma ;
- module élastique ;
- résistance à la rupture

fonctionnement de la structure :

- carottage ;
- examen des interfaces ;
- essai d'ovalisation ;
- déformabilité ;

caractéristiques de surface :

- relevé visuel ;
- profil en travers : transversoprofilographe, TUS, ... ;
- profil en long : APL, ... ;

comptage du trafic.

Il n'y a pas une procédure unique pour ce programme : le niveau de précision recherché (et donc les outils à mettre en œuvre) dépendra du produit (de l'état de sa connaissance, de sa spécificité ...), du risque encouru (niveau dans la structure, importance du trafic ...) et des enjeux économiques (importance des gisements et des quantités de produit envisagées).

Mise en place de la dérogation

La démarche suivie doit permettre d'examiner les conséquences de la défektivité d'une caractéristique du matériau sur les propriétés et le comportement du mélange et de la structure, et de vérifier qu'elle ne met en cause ni les règles de l'art de la construction de la chaussée, ni sa qualité d'usage, ni sa pérennité ...

Cette démarche est lourde et, si les réponses sont favorables, il convient d'en exploiter les résultats en formalisant la dérogation qui en découle et en faisant valider cette dernière par une instance nationale compétente.

Formulation de la dérogation

A l'issue de la démarche, il convient de formuler clairement :

- les conditions de production et la démarche qualité associée permettant d'assurer la conformité des matériaux à ceux qui ont fait l'objet de l'étude (en précisant le cas échéant les conditions de stockage, de gestion des lots et d'identification) ;
- la nature et l'étendue de la dérogation, toutes les autres caractéristiques du granulat restant conformes aux spécifications ;
- le domaine d'emploi possible dans la technique considérée : position de la couche dans la chaussée, classe de trafic, type de travaux (sous circulation ou non) ;
- d'éventuelles adaptations de composition du mélange, de la fabrication, du compactage... dans le cadre des spécifications requises ; des dispositions particulières de drainage, de renforcement de l'imperméabilité de la chaussée, d'accrochage de la couche de roulement... afin que les possibilités offertes par la dérogation soient bien définies et les conditions d'application adaptées en fonction du constat, respectées. D'une façon générale, des contrôles de chantier accrus seront recommandés.

Un point important à aborder est celui des démarches qualité à exiger du producteur des matériaux d'une part, et des entreprises routières d'autre part. En effet, si la tendance à relâcher ces exigences sur les petits chantiers est malheureusement souvent observée, elle est à proscrire dans le cas des matériaux locaux présentant un facteur de risque qui font l'objet du présent guide. La maîtrise des caractéristiques du produit et des conditions d'exécution du chantier doivent donc faire l'objet de démarches rigoureuses dont les éléments essentiels seront précisés dans la formulation de la dérogation.

L'aboutissement logique d'une telle démarche est la rédaction d'un « guide technique régional » concernant le matériau en question.

Validation de la dérogation

Une fois rédigé, un guide technique régional peut obtenir une reconnaissance nationale : il peut pour cela être soumis au CFTR pour validation.

Le guide a pour objet de diffuser une information claire sur l'identité du matériau local, sur ses conditions d'emploi en couche de forme ou en couches d'assises routières, et sur ses références, permettant ainsi sa promotion.

Validé par le CFTR (*), le guide apporte alors la garantie d'une démarche rigoureuse et fiable de nature à assurer la validité des dérogations proposées.

Les producteurs du matériau en question peuvent alors demander au CFTR une attestation d'emploi régionale dont l'objet est de garantir aux utilisateurs potentiels que le matériau respecte bien les conditions du guide technique régional.

(*) : les conditions d'obtention de cette validation peuvent être obtenues auprès du Secrétariat Permanent du CFTR.

Glossaire des abréviations

CCTG :	Cahier des Clauses Techniques Générales
CF :	Couche de Forme
Dmax :	Dimension du plus gros élément
e :	Étendue du fuseau de régularité
E :	Module d'élasticité
FTP :	Fiche Technique Produit
GB :	Grave-bitume
GE :	Grave-émulsion
GNT :	Grave Non Traitée
GTR :	Guide Technique « Réalisation des Remblais et Couches de Forme »
GTS :	Guide Technique « Traitement des Sols à la Chaux et / ou aux Liants Hydrauliques »
Ic :	Indice de concassage
IPI :	Indice Portant Immédiat
MIOM :	Mâchefer d'Incineration d'Ordures Ménagères
MTLH :	Matériaux Traités aux Liants Hydrauliques
RC :	Rapport de concassage
Rc :	Résistance en compression simple
Rci :	Résistance à la compression après immersion
RRN :	Réseau Routier National
Rt, (Rtd), (Rtb) :	Résistance à la traction (directe), (par l'essai brésilien)
TCR :	Triaxial à Chargements Répétés
T1, T3 :	Classes de trafic
w_{OPN} (w_{OPM}) :	Teneur en eau à l'optimum Proctor normal (modifié)
ρ_d_{OPN} (ρ_d_{OPM}) :	Densité sèche à l'optimum Proctor normal (modifié)

Annexe 1

Références normatives et réglementaires

Normes

AFNOR (1999) : NF EN 12591	Bitumes et liants bitumineux. Spécifications des bitumes routiers.
AFNOR (2003) : NF EN 13043	Granulats pour mélanges hydrocarbonés et pour enduits superficiels utilisés dans la construction des chaussées, aérodromes et d'autres zones de circulation.
AFNOR (2003) : NF EN 13242	Granulats pour matériaux traités aux liants hydrauliques et matériaux non traités utilisés pour les travaux de génie civil et pour la construction des chaussées.
AFNOR (2003) : XP P 18-545	Granulats. Éléments de définition, conformité et codification.
AFNOR (1992) : NF P 11-300	Exécution des terrassements. Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.
AFNOR (1990) : NF P 18-593	Granulats. Sensibilité au gel.
AFNOR (1992) : NF P 94-066	Coefficient de fragmentabilité des matériaux rocheux.
AFNOR (1992) : NF P 94-067	Coefficient de dégradabilité des matériaux rocheux.
AFNOR (1999) : NF P 94-100	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 (2001) : NF P 94-102-1	Sols : Reconnaissance et essais. Sol traité au liant hydraulique, éventuellement associé à la chaux, pour utilisation en couche de forme. Partie 1 : définition, composition, classification.
AFNOR (2001) : NF P 94-102-2	Sols : reconnaissance et essais. Sol traité au liant hydraulique, éventuellement associé à la chaux, pour utilisation en couche de forme. Partie 2 : méthodologie des études de formulation en laboratoire.
AFNOR (1999) : NF P 98-113	Assises de chaussées. Sables traités aux liants hydrauliques et pouzzolaniques. Définition, composition, classification.



AFNOR (1992) : NF P 98-114-1	Assises de chaussées. Méthodologie d'étude en laboratoire des matériaux traités aux liants hydrauliques. Graves traitées aux liants hydrauliques.
AFNOR (1994) : NF P 98-114-2	Assises de chaussées. Méthodologie d'étude en laboratoire des matériaux traités aux liants hydrauliques. Sables traités aux liants hydrauliques.
AFNOR (1992) : NF P 98-115	Assises de chaussées. Exécution des corps de chaussées. Constituants, composition des mélanges et formulation. Exécution et contrôles.
AFNOR (2000) : NF P 98-116	Assises de chaussées. Grave traitées aux liants hydrauliques. Définitions, composition, classification.
AFNOR (1993) : NF P 98-121	Assises de chaussées. Grave-émulsion. Définitions, classification, caractéristiques, mise en œuvre.
AFNOR (1994) : NF P 98-125	Assises de chaussées. Graves non traitées. Méthodologie d'étude en laboratoire.
AFNOR (1991) : NF P 98-128	Assises de chaussées. Bétons compactés routiers et graves traitées aux liants hydrauliques et pouzzolaniques à hautes performances. Définitions, composition, spécifications.
AFNOR (1994) : NF P 98-129	Assises de chaussées. Grave non traitées. Définitions, spécifications.
AFNOR (1999) : NF P 98-138	Enrobés hydrocarbonés. Grave-bitume. Définitions, classification, caractéristiques, mise en œuvre.
AFNOR (2000) : NF P 98-149	Enrobés Hydrocarbonés. Terminologie, composants et composition des mélanges. Mise en œuvre - produits - techniques et procédés.
AFNOR (1992) : NF P 98-231-3	Essais relatifs aux chaussées. Détermination du comportement au compactage des matériaux d'assises autres que traités aux liants hydrocarbonés. Détermination de la masse volumique maximale de référence et de la difficulté de compactage par essai de vibro-compression à paramètres contrôlés (VCPC).
AFNOR (1994) : NF P 98-233-1	Essais relatifs aux chaussées. Détermination du comportement en fatigue des matériaux traités aux liants hydrauliques. Essai par flexion à amplitude de contrainte constante.
AFNOR (1992) : NF P 98-234-1	Essais relatifs aux chaussées. Comportement au gel des matériaux traités aux liants hydrauliques. Essai de résistance au gel-dégel des graves et sables traités.

AFNOR (1996) : NF P 98-234-2	Essais relatifs aux chaussées. Comportement au gel des matériaux traités aux liants hydrauliques. Essai de gonflement au gel.
AFNOR (1995) : NF P 98-235-1	Essais relatifs aux chaussées. Matériaux de chaussées non traités. Essai triaxial à chargements répétés.
AFNOR (1991) : NF P 98-251-1	Essais relatifs aux chaussées. Essais statistiques sur mélanges hydrocarbonés. Essais Duriez à chaud.
AFNOR(1991) : NF P 98-252	Essais relatifs aux chaussées. Détermination du comportement au compactage des mélanges hydrocarbonés. Essais de compactage à la presse à cisaillement giratoire.
AFNOR (1991) : NF P 98-253-1	Essais relatifs aux chaussées. Déformation permanente des mélanges hydrocarbonés. Essai d'orniérage.
AFNOR (1979) : NF T 65-000	Liants hydrocarbonés. Définitions, classification.

Autres textes réglementaires

LCPC, Sétra (1992) :	Réalisation des remblais et des couches de forme - guide technique - réf. D9233 - prix : 60,98 €.
LCPC, Sétra (1994) :	Conception et dimensionnement des structures de chaussées - guide technique - réf. D9511 - prix : 76,23 €.
LCPC, Sétra (1994) :	Guide d'application des normes pour le réseau routier national. Enrobés hydrocarbonés à chaud - réf. D9457 - prix : 30,49 €.
LCPC, Sétra (1998) :	Guide d'application des normes pour le réseau routier national. Assises de chaussées - réf. D9839 - prix : 22,87 €.
LCPC, Sétra (2000) :	Traitement des sols à la chaux et / ou aux liants hydrauliques - guide technique - réf. D9924 - prix : 33,54 €.
Ministère de l'équipement (1997) :	Cahier des clauses techniques générales. Fascicule 23. Fourniture de granulats employés à la construction et à l'entretien des chaussées - Direction des JO.
SCETAURROUTE (1994) :	Manuel de conception des chaussées d'autoroute.

Annexe 2

Contenu d'un guide technique régional et procédure de validation par le CFTR

Document extrait du règlement intérieur du Groupe Spécialisé « Matériaux » du comité sectoriel « Avis » du CFTR

COMITÉ FRANÇAIS POUR LES TECHNIQUES ROUTIÈRES

COMITÉ SECTORIEL AVIS

GROUPE SPÉCIALISÉ MATÉRIAUX

RÈGLEMENT INTÉRIEUR POUR LA VALIDATION DES GUIDES TECHNIQUES RÉGIONAUX

Version du 23 avril 2003

Le comité français pour les techniques routières (CFTR) a mis au point une méthode permettant de promouvoir l'emploi, en technique routière, d'un matériau « régional » encore peu, voir mal connu (cf. guide du CFTR ... de 2003).

La dernière phase de cette méthode consiste à élaborer un guide technique « régional » (GTR) qui définit les possibilités et conditions d'utilisation d'un tel matériau en fonction de ses caractéristiques géotechniques et sur la base de résultats d'expérimentations in situ probants.

L'initiative de la démarche, la rédaction du GTR, son édition, sa diffusion et son suivi dans le temps, sont de la responsabilité des parties prenantes de l'échelon « régional » concerné. De même, la demande de validation du GTR auprès du CFTR est du ressort de l'instance « régionale » compétente.

La validation du GTR par le CFTR consiste à vérifier le contenu du GTR à l'exception des aspects environnementaux et économiques, ainsi que la logique de la méthodologie appliquée et la cohérence des préconisations techniques.

Le présent document a pour but de préciser la procédure mise en place par le CFTR pour valider 3 types de GTR :

1. GTR se rapportant à un matériau conforme aux normes de définitions en vigueur mais ne répondant pas aux spécifications d'usage du référentiel national ;
2. GTR se rapportant à un matériau non conforme aux normes de définitions en vigueur et ne répondant pas aux spécifications d'usage du référentiel national ;
3. GTR se rapportant à un matériau conforme aux normes de définitions en vigueur et répondant aux spécifications d'usage du référentiel national.

VALIDATION DES GUIDES TECHNIQUES RÉGIONAUX

CAS 1

**MATÉRIAUX CONFORMES AUX NORMES DE DÉFINITIONS EN VIGUEUR
MAIS NE RÉPONDANT PAS AUX SPÉCIFICATIONS D'USAGE DU RÉFÉRENTIEL NATIONAL**

Le demandeur établit un dossier conforme aux prescriptions du présent règlement intérieur et l'adresse au secrétariat permanent du CFTR :

46, Avenue Aristide Briand - BP 100 - 92225 - Bagneux cedex

Le secrétariat permanent du CFTR enregistre la demande, avise le secrétaire du comité sectoriel AVIS et transmet le dossier au secrétaire du groupe spécialisé MATÉRIAUX, qui désigne un rapporteur parmi les membres du dit groupe spécialisé puis remet le dossier au rapporteur ainsi désigné.

Le rapporteur est chargé de juger la recevabilité de la demande donc de vérifier le contenu du dossier puis, lorsque celui-ci est complet, d'instruire le dossier et de rédiger le projet de procès-verbal de validation en s'appuyant sur les grilles d'aide types correspondantes.

Le rapporteur contacte et interroge directement le demandeur en tant que de besoin pour mener à bien sa mission. Pour cela, il dispose d'un délai maximal de 8 semaines borné à la date de réception du dossier par ses soins et la date d'envoi du projet de procès-verbal de validation au secrétaire du groupe spécialisé MATÉRIAUX. Ce délai peut toutefois être allongé de une, voire plusieurs semaines par le rapporteur si le dossier du demandeur est incomplet et que les éléments manquants tardent trop à lui arriver (la durée de ce délai supplémentaire est négociée avec le secrétaire du groupe spécialisé MATÉRIAUX, lequel informe le demandeur de la « pénalité » appliquée).

Le secrétaire adresse aux membres du groupe spécialisé MATÉRIAUX, pour avis sous 8 jours, le projet de procès-verbal de validation accompagné des grilles d'aide ad-hoc renseignées

En cas de d'accord, le président du groupe spécialisé MATÉRIAUX signe, sur proposition du secrétaire, le projet de procès-verbal de validation.

Le secrétaire du groupe spécialisé MATÉRIAUX, transmet le projet de procès-verbal de validation au secrétaire du comité sectoriel AVIS, qui sollicite l'avis des membres du dit comité sectoriel.

Si, dans un délai de 2 semaines, aucun avis contraire n'a été émis, le projet de procès-verbal de validation est approuvé.

Le secrétaire du comité sectoriel AVIS, après accord du secrétaire du groupe spécialisé MATÉRIAUX, propose le procès-verbal définitif de validation à la signature du président du comité sectoriel AVIS.

Le secrétaire du comité sectoriel AVIS envoie le procès-verbal de validation signé au demandeur avec une copie au secrétariat permanent du CFTR et une autre copie au secrétaire du groupe spécialisé MATÉRIAUX. Ce procès-verbal de validation doit figurer en l'état dans le GTR correspondant.

Toute modification de ce GTR ainsi validé, de portée technique significative, doit faire l'objet d'une nouvelle instruction.

Etablissement du dossier par le demandeur

Le demandeur dépose un dossier devant comporter les documents suivants :

- la demande de validation ;
- le GTR en question ;
- la liste des documents utilisés pour l'établissement et la compréhension du GTR, par exemple :
 - pour les études de laboratoire :
 - la caractérisation du matériau testé ;
 - la formulation du produit routier ;
 - pour les expérimentations in-situ :
 - le contrôle d'exécution ;
 - le point zéro
 - les suivis dans le temps

Procédure d'instruction

Le rapporteur doit vérifier les points essentiels ci-après du dossier :

- le contenu du GTR ;
- la liste des rapports correspondants aux études de laboratoire et aux expérimentations in-situ ;
- la logique de la méthodologie suivie permettant d'aboutir à la dérogation proposée ainsi que la cohérence des préconisations par rapport au référentiel national.

Contenu du GTR

Le Gtr doit contenir, entre autres, les informations suivantes permettant d'identifier et d'évaluer le facteur risque lié à la caractéristique hors spécification d'usage du référentiel national :

- la caractérisation du gisement et celle du matériau ;
- l'étude en laboratoire de l'incidence du matériau sur les propriétés du produit routier ;
- l'expérimentation sur chantier et le suivi de comportement sous trafic.

Le GTR doit en outre décrire précisément la dérogation proposée :

- la nature de cette dérogation ;
- le domaine d'emploi possible du matériau ;

- les conditions particulières d'utilisation (le cas échéant) ;
- la démarche qualité conforme à celle du fascicule routier correspondant du CCTG.

Le GTR doit aussi indiquer les chantiers de référence ayant permis d'établir la dérogation.

Contenu des documents annexes

Les documents annexes fournis en tant que de besoin par le demandeur au rapporteur, doivent permettre :

- d'apprécier l'influence en laboratoire de la caractéristique étudiée sur les propriétés du produit routier telles qu'elles sont définies dans l'appareil normatif correspondant ;
- et de vérifier in-situ, dans un contexte de chantier, les propriétés recherchées du produit routier, tant à la réalisation qu'après la mise en service.

Le rapporteur doit en outre vérifier :

- que l'étude de laboratoire a bien été menée selon les règles normalisées ;
- que l'étude de laboratoire et les expérimentations in-situ ont été réalisées avec le matériau objet de la dérogation définie dans le GTR.

Méthodologie suivie

Le rapporteur doit enfin vérifier que la Méthodologie suivie par le demandeur est conforme à celle décrit dans le guide CFTR de ... 2003.

VALIDATION DES GUIDES TECHNIQUES RÉGIONAUX

CAS 2

**MATÉRIAUX NON CONFORMES AUX NORMES DE DÉFINITIONS EN VIGUEUR
ET NE RÉPONDANT PAS AUX SPÉCIFICATIONS D'USAGE DU RÉFÉRENTIEL NATIONAL**

Le demandeur établit un dossier conforme aux prescriptions du présent règlement intérieur et l'adresse au secrétariat permanent du CFTR :

46, Avenue Aristide Briand - BP 100 - 92225 - Bagneux cedex

Le secrétariat permanent du CFTR enregistre la demande, avise le secrétaire du comité sectoriel AVIS et transmet le dossier au secrétaire du groupe spécialisé MATÉRIAUX, qui désigne un rapporteur parmi les membres du dit groupe spécialisé puis remet le dossier au rapporteur ainsi désigné.

Le rapporteur est chargé de juger la recevabilité de la demande donc de vérifier le contenu du dossier puis, lorsque celui-ci est complet, d'instruire le dossier et de rédiger le projet de procès-verbal de validation en s'appuyant sur les grilles d'aide types correspondantes.

Le rapporteur contacte et interroge directement le demandeur en tant que de besoin pour mener à bien sa mission. Pour cela, il dispose d'un délai maximal de 8 semaines borné à la date de réception du dossier par ses soins et la date d'envoi du projet de procès-verbal de validation au secrétaire du groupe spécialisé MATÉRIAUX. Ce délai peut toutefois être allongé de une, voire plusieurs semaines par le rapporteur si le dossier du demandeur est incomplet et que les éléments manquants tardent trop à lui arriver (la durée de ce délai supplémentaire est négociée avec le secrétaire du groupe spécialisé MATÉRIAUX, lequel informe le demandeur de la « pénalité » appliquée).

Le secrétaire adresse aux membres du groupe spécialisé MATÉRIAUX, pour avis sous 8 jours, le projet de procès-verbal de validation accompagné des grilles d'aide ad-hoc renseignées

En cas de d'accord, le président du groupe spécialisé MATÉRIAUX signe, sur proposition du secrétaire, le projet de procès-verbal de validation.

Le secrétaire du groupe spécialisé MATÉRIAUX, transmet le projet de procès-verbal de validation au secrétaire du comité sectoriel AVIS, qui sollicite l'avis des membres du dit comité sectoriel.

Si, dans un délai de 2 semaines, aucun avis contraire n'a été émis, le projet de procès-verbal de validation est approuvé.

Le secrétaire du comité sectoriel AVIS, après accord du secrétaire du groupe spécialisé MATÉRIAUX, propose le procès-verbal définitif de validation à la signature du président du comité sectoriel AVIS.

Le secrétaire du comité sectoriel Avis envoie le procès-verbal de validation signé au demandeur avec une copie au secrétariat permanent du CFTR et une autre copie au secrétaire du groupe spécialisé MATÉRIAUX. Ce procès-verbal de validation doit figurer en l'état dans le GTR correspondant.

Toute modification de ce GTR ainsi validé, de portée technique significative, doit faire l'objet d'une nouvelle instruction.

Etablissement du dossier par le demandeur

Le demandeur dépose un dossier devant comporter les documents suivants :

- la demande de validation ;
- le GTR en question ;
- la liste des documents utilisés pour l'établissement et la compréhension du GTR, par exemple :
 - pour les études de laboratoire :
 - la caractérisation du matériau testé ;
 - la formulation du produit routier ;
 - pour les expérimentations in-situ :
 - le contrôle d'exécution ;
 - le point zéro ;
 - les suivis dans le temps.

Procédure d'instruction

Le rapporteur doit vérifier les points essentiels ci-après du dossier :

- le contenu du GTR ;
- la liste des rapports correspondants aux études de laboratoire et aux expérimentations in-situ ;
- la logique de la méthodologie suivie permettant d'aboutir à la dérogation proposée ainsi que la cohérence des préconisations par rapport au référentiel national.

Contenu du GTR

Le GTR doit contenir, entre autres, les informations suivantes permettant d'identifier et d'évaluer le facteur de risque lié à la spécificité du matériau et à la caractéristique hors spécification d'usage du référentiel national :

- la caractérisation du gisement et celle du matériau (avec production d'une fiche technique adaptée, pour le cas d'une utilisation en assise de chaussée) ;
- l'étude en laboratoire de l'incidence du matériau sur les propriétés du produit routier ;
- l'expérimentation sur chantier et le suivi de comportement sous trafic.

Le GTR doit en outre décrire précisément la dérogation proposée :

- la nature de cette dérogation ;

- le domaine d'emploi possible du matériau ;
- les conditions particulières d'utilisation (le cas échéant) ;
- la démarche qualité conforme à celle du fascicule routier correspondant du CCTG.

Le GTR doit aussi indiquer les chantiers de référence ayant permis d'établir la dérogation.

Contenu des documents annexes

Les documents annexes fournis en tant que de besoin par le demandeur au rapporteur, doivent permettre :

- d'apprécier l'influence en laboratoire de la caractéristique étudiée sur les propriétés du produit routier telles qu'elles sont définies dans l'appareil normatif correspondant ;
- et de vérifier in-situ, dans un contexte de chantier, les propriétés recherchées du produit routier, tant à la réalisation qu'après la mise en service.

Le rapporteur doit en outre vérifier :

- que l'étude de laboratoire a bien été menée selon les règles normalisées ;
- que l'étude de laboratoire et les expérimentations in-situ ont été réalisées avec le matériau objet de la dérogation définie dans le GTR.

Méthodologie suivie

Le rapporteur doit enfin vérifier que la Méthodologie suivie par le demandeur est conforme à celle décrit dans le guide CFTR de ... 2003.

Annexe 3

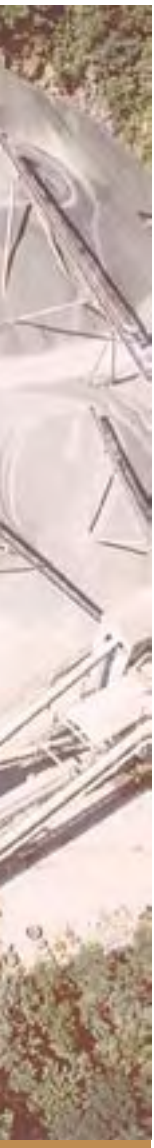
Exemples d'application d'une démarche méthodique pour la valorisation de matériaux locaux

Parmi les matériaux locaux ayant fait l'objet d'études selon une démarche méthodique conforme à celle exposée dans le présent guide, les calcaires d'Ile de France et les M.I.O.M. de la même région peuvent être cités en exemple. Les résultats de la démarche appliquée sont regroupés dans les guides techniques suivants :

- Guides techniques pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile de France :
 - les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères ;
 - les calcaires.



46 avenue
Aristide Briand
BP 100
92225 Bagneux Cedex
France
téléphone :
33 (0)1 46 11 31 31
télécopie :
33 (0)1 46 11 31 69
internet : www.setra.equipement.gouv.fr



Le but de ce guide est de promouvoir l'utilisation en techniques routières de matériaux locaux dont l'usage est aujourd'hui peu répandu pour diverses raisons techniques ou historiques, ceci dans l'objectif d'économiser certaines ressources naturelles et d'accroître le recyclage pour réduire les flux de déchets ultimes.

Dans le guide actuel, le choix a été fait de limiter l'approche aux usages les plus valorisants, à savoir les couches de forme et d'assises.

Document disponible au bureau de vente du Sétra
46 avenue Aristide Briand - BP 100 - 92225 Bagneux Cedex - France
téléphone : 33 (0)1 46 11 31 53 - télécopie : 33 (0)1 46 11 33 55
Référence : **0414** - Prix de vente : **13 €**

*Crédit photos : entreprises EUROVIA - LAFARGE (Pierre Dey) - MORILLON CORVOL (Beauvilliers, Julien Vallé)
Conception graphique - mise en page : Eric Rillardon (Sétra)
Impression : Caracière - 2, rue Monge - BP 224 - 15002 Aurillac Cedex
L'autorisation du Sétra est indispensable pour la reproduction, même partielle, de ce document
© 2004 Sétra - Dépôt légal : 4^{ème} trimestre 2004 - ISBN : 2-11-093429-8*

Le Sétra appartient
au Réseau Scientifique
et Technique
de l'Équipement

