

Compatibilité physico-chimique de graves de recyclage avec les autres matériaux utilisés en voirie – un réel enjeu ?

Agathe DENOT*
Jérôme CROSNIER

Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées
de Lyon, CETE de Lyon, France

■ RÉSUMÉ

Le travail présenté concerne l'étude de la **compatibilité** de graves de recyclage vis-à-vis des autres matériaux utilisés en génie civil (plastiques, béton, métaux...) dans le contexte de la pérennité de la structure ainsi que la maîtrise de l'impact induit sur le milieu naturel.

Une synthèse bibliographique a permis d'identifier un certain nombre de mécanismes susceptibles d'affecter les différentes composantes de la voirie en contact avec des matériaux recyclés. Cette analyse a ensuite été confrontée aux observations de terrain. Sur la région Rhône-Alpes, trois cas nous ont été communiqués par les acteurs consultés (maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre, entreprises...). Parmi eux, seule une aire de stationnement (couche de forme en laitier d'aciérie électrique sous un enduit superficiel) correspond à une incompatibilité chimique qui pouvait être facilement anticipée (incompatibilité de pH). Les autres cas sont liés soit à une mauvaise mise en œuvre en phase chantier, soit à l'utilisation de matériaux dont l'élaboration n'a pas été contrôlée. En conclusion, les pathologies sont rares, les risques maîtrisés et quelques associations de matériaux peuvent être proscrites facilement.

Il ressort de l'enquête que le problème de compatibilité des graves de recyclage avec les autres matériaux utilisés en voirie ne constitue donc pas un réel enjeu dans l'état actuel des connaissances sur des dysfonctionnements observés. Pour préciser cette tendance, la capitalisation d'expériences, positives ou négatives, doit s'étendre à d'autres matériaux et zones géographiques. Une méthodologie est proposée pour analyser le comportement en voiries des matériaux recyclés.

Physicochemical compatibility of recycled gravel with other materials used in road works: A key challenge?

■ ABSTRACT

*The research described in this article entails studying both the **compatibility** of recycled gravel with respect to other materials used in civil engineering applications (plastics, concrete, metals, etc.) from a structural durability perspective and the mitigation of impacts induced on the natural environment. A bibliographical review has enabled identifying a number of mechanisms capable of affecting the various components of road works that come into contact with recycled materials. This analysis has then been compared with field observations. In France's Rhone-Alps region, three cases were submitted for our examination by the local actors consulted (project owners, architects, contractors, etc.). Among the elements furnished, just one parking lot (subgrade made of slag from an electric steel mill underneath a surface dressing) corresponds to a chemical incompatibility that could have easily been foreseen (pH incompatibility). The other cases pertain to poor implementation during the construction phase and the use of materials whose production process was not well controlled. The conclusion drawn is that structural pathologies are indeed rare, risks are well contained, and a limited number of material associations can easily be prohibited. This survey reveals that the problem of recycled gravel compatibility with other materials used in road works does not in reality constitute a critical parameter in the current state of knowledge derived from observed failures. To better define this trend, feedback (both positive and negative) must extend to other materials and geographic areas. A methodology is proposed herein to analyze the behavior of recycled materials in road work applications.*

* AUTEUR À CONTACTER :

Agathe DENOT
agathe.denot@developpement-durable.gouv.fr

INTRODUCTION

L'utilisation de graves de recyclage en voirie fait l'objet de nombreuses évaluations environnementales. La méthodologie de caractérisation, ainsi que les conditions et scénarios d'utilisation de ces matériaux sont de plus en plus développés. Pour cela, il existe de nouveaux outils.

■ Guides régionaux

Le **tableau 1** présente les principaux guides de réutilisation de produits régionaux diffusés localement [1-9].

tableau 1
Différentes publications concernant les graves de recyclage.

Région	Guide publié	Références
Centre	Guide technique des matériaux BTP – juin 2007	[1]
Haute-Normandie	Utilisation des matériaux de Haute-Normandie – Sous-produits industriels et matériaux divers – mars 2000	[2]
Île-de-France	Guide technique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Île-de-France : • Les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères – novembre 1998 • Valorisation des excédents de déblais de travaux publics – décembre 2003 • Bétons et produits de démolition recyclés – première révision de décembre 2003	[3-5]
Rhône-Alpes	Guide d'utilisation en travaux publics Graves de recyclage Graves recyclées de démolition et de mâchefer – Version 2 – 2005	[6]
Midi-Pyrénées	Guide informatique à l'attention des maîtres d'ouvrage, d'œuvre et des entrepreneurs locaux sur le mâchefer – Version 1 – juin 2004	[7]
Bourgogne	Catalogue des matériaux de substitution en Bourgogne – octobre 2004	[8]
Nord-Picardie	Guides techniques régionaux relatifs à la valorisation des déchets et co-produits – PREDIS 2002	[9]

Au niveau national, le site OFRIR (Observatoire français du recyclage dans les infrastructures routières), créé par le LCPC, est un vecteur d'échanges sur les matériaux recyclés, qui vise à synthétiser les connaissances aussi bien nationales (réglementation, données techniques, emplois répertoriés...) que les expériences locales [10].

■ Cahier des charges techniques particulières (CCTP) « Acceptabilité de déchets et de matériaux en techniques routières » [11]

Depuis début 2005, un groupe de travail¹ réuni autour de la Direction générale des Routes du ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables (Medad) et de l'Ademe a conçu un document « destiné aux maîtres d'ouvrages et maîtres d'œuvre afin de promouvoir l'utilisation de matériaux naturels, ou artificiels hors spécifications et de déchets comme matériaux alternatifs en techniques routières et d'encourager l'économie des ressources naturelles, tout en s'assurant du respect de l'environnement. » L'objet de ce texte est de s'intégrer au document de consultation des entreprises dans le cadre d'appels d'offres pour les marchés publics.

Le document comprend un CCTP type, permettant au maître d'ouvrage de posséder toutes les informations nécessaires à l'analyse de l'offre, et une notice explicative de la démarche. L'entreprise répondant à l'appel d'offres devra suivre une procédure spécifique comprenant l'élaboration de fiches produits « environnement » avec la définition des essais et les valeurs de référence auxquelles se reporter (il n'existe pas de valeurs seuils réglementaires). Elle devra fournir des informations sur les performances géotechniques et environnementales du déchet ou du matériau routier intégrant le déchet, pour lequel une validation à l'échelle pilote devra avoir

¹ aux côtés du Medad et de l'Ademe, le groupe de travail comprend le Setra, le LCPC, l'Inéris, le BRGM, le CETE Lyon et l'Insa de Lyon

été réalisée. Ce document a été diffusé au cours de l'année 2007 auprès de tous les acteurs de la profession (FNTP, FFB, Unicem, Usirf, associations de protection de la nature...) et est destiné à être amélioré par des expériences d'application avant une publication définitive, probablement sous forme de guide.

■ Recherche en cours

Si des outils et des données existent (études de caractérisation géotechniques et environnementales en vue d'une utilisation en génie civil), certains maîtres d'ouvrages restent réticents à l'utilisation des graves de recyclage, suite aux quelques dysfonctionnements observés.

Les principales dégradations observées sur les graves non conventionnelles sont :

- graves de recyclage de démolition : gonflement (présence de sulfates susceptibles de générer des composés expansifs de type ettringite...);
- mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (MIOM) : risques de gonflement (sulfates, alcalino-terreux...);
- laitiers d'aciérie : gonflement lié à l'hydratation des nodules de chaux libre.

Les différentes études réalisées sur l'utilisation de graves de recyclage (MIOM, graves de recyclage de démolition, laitier, etc.) n'intègrent pas ou peu le comportement à long terme et les interactions entre ces matériaux et certaines des composantes de la voirie (PVC ou PEHD, métal, béton, géotextiles, gaines de câbles, collecteurs, drains, bitume, etc.).

Dans le cadre de son opération 11D022 « Recyclage et matériaux alternatifs », le Laboratoire central des Ponts et Chaussées a lancé un travail de recherche concernant dans un premier temps la détermination de situations-type de structures de chaussées constituées avec des matériaux représentatifs et l'analyse des mécanismes identifiés. Dans un second temps, les dysfonctionnements observés sur des voiries existantes constituées avec des graves de recyclage sont comparés aux mécanismes identifiés dans la partie bibliographique.

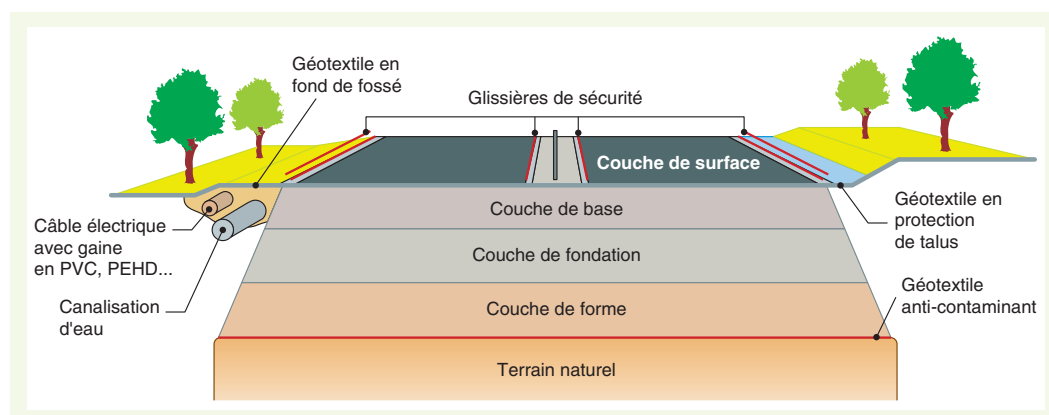
Cette analyse a pour objectif de mettre en évidence d'éventuels problèmes de compatibilité entre les graves de recyclage et les autres constituants de la voirie (plastiques, béton, métaux...) et concerne également la maîtrise de l'impact induit sur le milieu naturel (scénario de risque).

L'analyse de dysfonctionnements permettra de comprendre le comportement des graves de recyclage avec les composants de la route et d'apporter des solutions techniques d'utilisation de ces graves.

■ Problématique

La voirie est une structure complexe qui induit la mise en contact de matériaux de nature différente susceptible d'interagir avec leur environnement (figure 1).

figure 1
Schéma de principe
d'une voirie.



Les rejets routiers peuvent engendrer des réactions physico-chimiques au sein de la voirie :

- les rejets routiers et urbains par temps de pluie véhiculent une pollution fixée en grande partie, sur les particules solides [12] ;
- l'utilisation de sels de déneigement induit une augmentation des concentrations en Na^+ et Cl^- dans l'eau et le sol. Les conséquences peuvent être notamment une augmentation de la corrosion des équipements et véhicules, un dommage à la végétation, l'augmentation de certaines réactions d'échanges ioniques, la facilitation du transport des métaux lourds dans le sol.

Pour comprendre les différentes interactions susceptibles d'intervenir au sein de la voirie il faut connaître :

- les principales propriétés physico-chimiques des différentes familles de matériaux utilisées ;
- les différents mécanismes de transfert au sein d'une voirie ;
- les réactions chimiques susceptibles de se produire entre les graves de recyclage et les différents matériaux.

LES PRODUITS UTILISÉS EN VOIRIES

■ Les utilisations

Les principales familles de matériaux utilisés en voirie sont le béton, les métaux et les plastiques.

Le béton et l'acier sont largement utilisés comme matériaux de base des structures en génie civil :

- béton de fondation, sols traités aux liants hydrauliques, ouvrages d'assainissement routier ;
- glissières de sécurité métalliques, armatures en terre armée.

Par précaution, une grave non conventionnelle n'est généralement pas en contact direct avec le béton (mise en place d'une interface avec un géotextile, géodrain, treillis ou autre système).

Plus que le béton, le contact direct entre des matériaux non conventionnels et les métaux est à priori exclu. Néanmoins, certaines utilisations indirectes, comme les glissières de sécurité en acier, peuvent être observées.

Les produits plastiques sont utilisés pour :

- l'assainissement routier (collecteurs, drains, réservations) : en thermoplastiques (PVC : polychlorure de vinyle ; PEHD : polyéthylène haute densité) ou plastiques thermodurcissables (les thermoplastiques sont plus réactifs chimiquement en particulier vis-à-vis des solvants) ;
- les câblages électriques ou téléphoniques (PVC ou PEHD) ;
- les composants de grilles ou blocs ;
- le texsol (sable armé avec du polyéthylène) ;
- les remblais légers en polystyrène expansé.

Les géotextiles, composés en général de polypropylène (PP), ont de nombreuses fonctions en techniques routières (drainage, filtration, séparation, isolement, amortissement).

■ Les dégradations

› Les bétons et les métaux

Le béton et les métaux peuvent se dégrader sous l'influence de causes liées à leur qualité originale, à des sollicitations d'exploitations (chocs, chaleur, agression chimique, etc.) ou d'environnement (humidité, pollution, sels, etc.).

› Les plastiques

Les plastiques sont de plus en plus utilisés en génie civil (facilité de mise en œuvre et faible réactivité avec leur environnement).

En raison de leur structure chimique non polaire, les hydrocarbures se solubilisent partiellement dans les plastiques. Les équilibres étant relativement rapides, on observe souvent une perte de concentration de la substance recherchée.

Le PVC (polychlorure de vinyle) est perméable aux composés gazeux et à certains solvants (cétones, esters, hydrocarbures, pesticides, etc.). Il peut « relarguer » des chlorures et des additifs de fabrication (colorant, lubrifiant de démoulage, anti-oxydant, anti-UV, stabilisant thermique, etc.). Le PVC souple contient des BTEX (benzène/toluène/éthylbenzène/xylène) comme plastifiants qui peuvent contaminer l'eau.

Le PVC et le PE souple (polyéthylène) peuvent absorber des substances organiques puis les « relarguer ».

INTERACTIONS POTENTIELLES DES PRODUITS UTILISÉS AVEC LEUR ENVIRONNEMENT

L'eau pluviale qui se dépose sur la chaussée est susceptible de provoquer la dissolution de composés solubles. L'écoulement de l'eau au travers de la structure de la chaussée dépend de nombreux paramètres tels que la composition granulométrique, la perméabilité du sol et le type d'obstacle rencontré. Les structures physiques de la voirie ont des incidences sur le transfert chimique des éléments. Dans chacune d'entre elles, le ratio eau libre/eau interstitielle est très différent. Ces mécanismes induisent des temps de contact très variés susceptibles de permettre ou non à certaines réactions chimiques de se développer.

Pour les matériaux utilisés en génie civil, les mécanismes susceptibles d'affecter les différentes composantes de la voirie sont synthétisés dans le **tableau 2**.

tableau 2

Synthèse des réactions chimiques susceptibles de se développer dans une voirie comportant des matériaux non conventionnels.

Matériau	Mécanisme	Paramètres	Conséquences	Références
Béton	Carbonatation	Teneur en éléments agressifs (chlorures, sulfates, etc.)	Synthèse de la calcite (CaCO ₃)	Norme P18-011 Bétons. Classification des environnements agressifs.
	Dissolution	DTS (distribution du temps de séjour)	Déplacement de l'équilibre par ajout ou retrait du milieu réactionnel considéré, d'une espèce intervenant directement ou indirectement dans le produit de solubilité	
	Hydrolyse	pH Micro-organismes	Échange de base entre la phase minérale et l'eau. Création de phyllosilicates de type kaolinite	
	Oxydation	Oxygène dissous Micro-organismes	Augmentation de la solubilité de certaines espèces	
Géotextile	Action chimique	Oxygène dissous Chlorure	Précipitation ou dissolution au droit du géotextile Adsorption de molécules organiques Rétention plus importante des métaux à proximité du géotextile	[13] [14]
	Action physique (hétérogénéité de l'écoulement)	Propriétés mécaniques	Colmatage	[15]
Métaux	Oxydation	Oxygène dissous Micro-organismes	Augmentation de la solubilité de certaines espèces	[16]
	Corrosion	pH Concentration en oxygène Minéralisation de l'eau (présence de sels) Température Vitesse de l'eau	Effritement de surface	
	Dissolution	DTS (distribution du temps de séjour)	Déplacement de l'équilibre par ajout ou retrait du milieu réactionnel considéré, d'une espèce intervenant directement ou indirectement dans le produit de solubilité	
	Oxydoréduction	pH Chlorures	Augmentation de la solubilité de certaines espèces	

Les matériaux utilisés en génie civil associés à des graves non conventionnelles dans un environnement agressif lié à la pollution d'origine routière (présence d'hydrocarbure, de métaux, de sels, etc.) réunissent donc des conditions favorables au déclenchement de certains de ces mécanismes. Il convient de savoir s'ils ont pu être observés dans des ouvrages existants.

IDENTIFICATION DE SITUATIONS TYPE DE DYSFONCTIONNEMENTS

La démarche a consisté à rechercher des sites, où des déformations ont été observées et à examiner si les dysfonctionnements peuvent être attribuables à une incompatibilité entre les matériaux recyclés et les autres matériaux :

- consultation d'études existantes (RST, ministère de l'Équipement, Grand Lyon) et collecte de données ;
- contacts avec les acteurs de la construction (maîtres d'œuvre, maîtres d'ouvrage, entreprises d'élaboration de grave de recyclage) ;
- synthèse des informations disponibles où des dysfonctionnements sont apparus et visites de ces sites d'utilisation ;
- hypothèses sur les mécanismes de dysfonctionnement.

Suite aux rencontres avec différents interlocuteurs, il s'avère qu'il n'existe que peu de retours sur les dysfonctionnements [17]. Trois sites ont néanmoins été recensés :

- 2 cas concernent l'utilisation de laitiers d'aciérie électrique (mélange de laitiers four qui cristallisent et de laitiers AOD (argon-oxygène-décarburation) pulvérulents) ;
- 1 cas se rapporte aux mâchefers d'incinération d'ordures ménagères.

■ Site n° 1 : Décollement du bicouche sur une aire de stationnement avec une couche de forme en laitiers d'aciérie

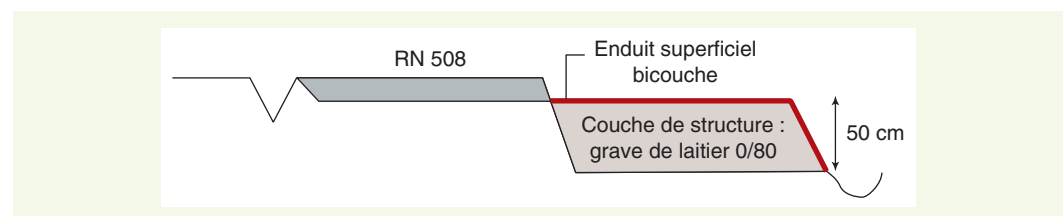
› Structure de la chaussée et description du dysfonctionnement

Le laitier est utilisé sur une aire de stationnement composée de bas en haut :

- grave de laitiers (0/80) en couche de structure sur 50 cm environ ;
- enduit superficiel (bicouche).

La **figure 2** indique les différents matériaux utilisés dans la structure de chaussée :

figure 2
Structure de l'aire de stationnement (site n° 1).



Mise en place du laitier et description des déformations

Le laitier a été mis en place, par temps de pluie, en automne 1998, sur environ 600 m².

Trois ans après la réalisation de cette aire d'arrêt, les observations suivantes ont été faites :

- décollement du bicouche ;
- dégradation jusqu'à disparition de l'enduit superficiel ;
- la grave de laitier, lors du dégel, formait un matériau meuble semblable à une boue grasse et collante ;
- après la période hivernale, durcissement et apparition d'une croûte dure sur toute la surface du laitier.

Lors d'un carottage, réalisé en 2001, il est apparu que les graves de laitier se désagrégeaient complètement.

› Caractéristiques physico-chimiques des matériaux mis en œuvre

Les caractéristiques physico-chimiques du laitier utilisé ne sont pas connues mais d'une manière générale, le laitier d'aciérie a les propriétés suivantes :

- pH basique ;
- le matériau est très peu perméable ;
- le matériau est relativement insensible à l'eau ;
- la teneur en chaux libre peut être non négligeable.

Pour l'enduit superficiel, les caractéristiques générales sont les suivantes :

- composition : émulsion à base de produit bitumineux, d'eau acidifiée (pH = 4) et de gravier ;
- épaisseur : quelques centimètres ;
- matériau perméable.

› Hypothèses de mécanismes

- *Gonflement par hydratation de la chaux libre*

La mise en œuvre du laitier par temps de pluie ainsi que la perméabilité du bicouche a entraîné une teneur en eau importante.

La présence de chaux libre dans le laitier peut engendrer une réaction chimique avec l'eau.

L'hydratation de la chaux libre se traduit par la réaction exothermique qui provoque une évolution granulométrique du laitier par éclatement des grains. Cette instabilité volumique peut se traduire par un soulèvement plus ou moins important de l'enduit directement en contact avec le laitier avec apparition de fissuration et d'ondulation.

Cependant, aucune déformation sous forme de gonflement localisé n'a été observée sur le terrain. Cette hypothèse liée au comportement propre du laitier ne permet donc pas d'expliquer la déformation constatée.

- *Décollement dû à l'action combiné du phénomène gel/dégel et du trafic*

Avant le gel, la teneur en eau dans la couche de laitier est importante, de par :

- les caractéristiques intrinsèques du laitier ;
- l'infiltration de l'eau de précipitation à travers l'enduit superficiel de faible étanchéité ;
- la mise en œuvre du laitier en période de pluie.

En période de gel :

- l'eau contenue dans la structure gèle depuis la surface vers les zones les plus profondes ;
- ce passage à l'état solide provoque une augmentation volumique qui est plus importante en surface ;
- l'augmentation volumique engendre une pression qui provoque l'éclatement des grains de laitier et le changement granulométrique visible surtout dans les premiers centimètres.

En période de dégel :

- l'eau de surface du laitier dégèle en premier ;
- cette eau ne pouvant s'évacuer provoque une instabilité de la couche superficielle du laitier ;
- sous l'effet du trafic, l'enduit reposant sur une couche meuble se dégrade et disparaît ;
- au contact de l'air, une cimentation superficielle du laitier se forme par carbonatation de la chaux.

- *Défaut d'accrochage de l'enduit superficiel lié au pH*

Cette hypothèse est basée sur les caractéristiques des matériaux utilisées : le laitier est très basique alors que l'enduit est très acide.

Or, le processus de prise de la grave de laitier en surface s'effectue en milieu basique.

La mise en place de l'enduit provoque une modification chimique en surface du laitier. En effet, le laitier, à la suite de son refroidissement brutal, se cristallise ce qui conduit à la formation

d'une phase vitreuse semblable à un ciment qui va avoir un potentiel de réactivité. La présence d'eau lors de la mise en œuvre du matériau va conduire à sa prise hydraulique. L'émulsion de la couche d'accrochage va conduire à la solubilisation de la cimentation formée lors de la prise hydraulique et provoque le décollement du bicouche et la désagrégation des premiers centimètres de laitier.

► Conclusions

Suite aux désordres observés, l'aire de stationnement a été décapée, le laitier a été remplacé par une couche de fraisats d'enrobés. Aucune analyse sur le terrain n'est donc possible. Les causes du dysfonctionnement sont probablement imputables à la fois à l'incompatibilité de pH, l'action du gel/dégel ainsi qu'au trafic. Le problème d'accrochage d'un enduit superficiel sur un support à pH très basique est connu. Mais il est difficile de prévoir le phénomène prépondérant. Une interaction des trois phénomènes est vraisemblable.

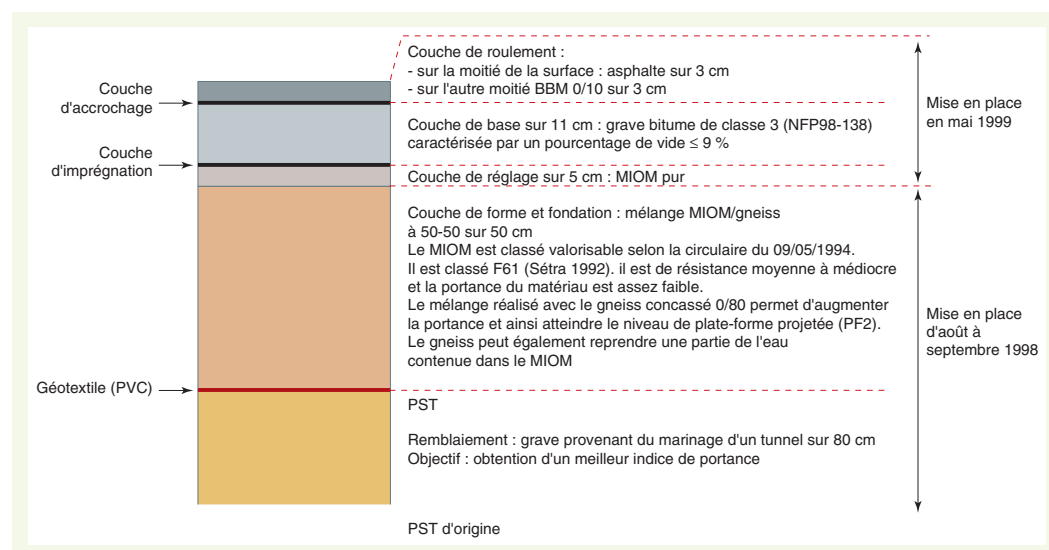
Une meilleure connaissance de la mise en place et du compactage des matériaux, et la caractérisation du caractère gélif ou non du laitier permettraient de comprendre les mécanismes survenus sur le parking.

■ Site n° 2 : Apparition d'anneaux répartis uniformément sur une chaussée constituée d'un mélange MIOM/gneiss

► Structure de la chaussée et description du dysfonctionnement

Les différents matériaux utilisés dans la structure de chaussée sont indiqués dans la **figure 3**.

figure 3
Structure de la chaussée
(site n° 2).



Ces matériaux ont été mis en œuvre en deux phases :

- en septembre 1998 pour le remblaiement, les couches de forme et de fondation ;
- en mai 1999 pour les couches de réglage, de base et de roulement.

Des déformations en forme d'anneaux, répartis régulièrement sur la chaussée recouverte d'asphalte, sont apparues lors de l'été 2002. La **figure 4** présente le profil des températures correspondantes [18] : la température maximale a été observée le 18 juin 2002 (34,2 °C).

Les carottages effectués sur le site ont montré un décollement entre l'asphalte et la grave bitume (**figure 5**). Aucune détérioration n'est visible entre le géotextile en PVC et le MIOM.

Le MIOM utilisé est classé « V » (valorisable selon la circulaire du 9 mai 1994), cela signifie que le MIOM a une faible fraction lixiviable.

figure 4
Températures relevées à
Lyon-Bron de juin à août
2002.

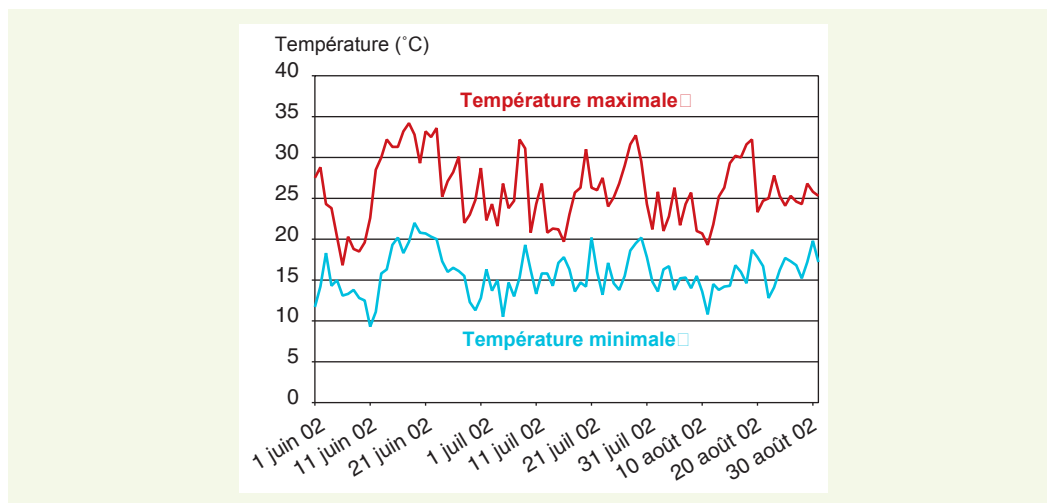


figure 5
Aperçu des déformations
(site n° 2).



Conclusion

La formation de gonflement est observée sur la couche d'asphalte et non sur la couche de BBM. De plus, le carottage indique un décollement entre l'asphalte et la grave bitume.

Les déformations observées ne sont pas issues d'un problème de compatibilité entre les matériaux recyclés et les autres matériaux mais plutôt à un problème de mise en œuvre en phase chantier.

■ Site n° 3 : Gonflement et soulèvement de la dalle de fondation sur une voie privée constituée de laitier d'aciérie

› Structure de la chaussée et description du dysfonctionnement

La **figure 6** indique les différents matériaux utilisés dans la structure de chaussée (la géométrie exacte n'est pas connue).

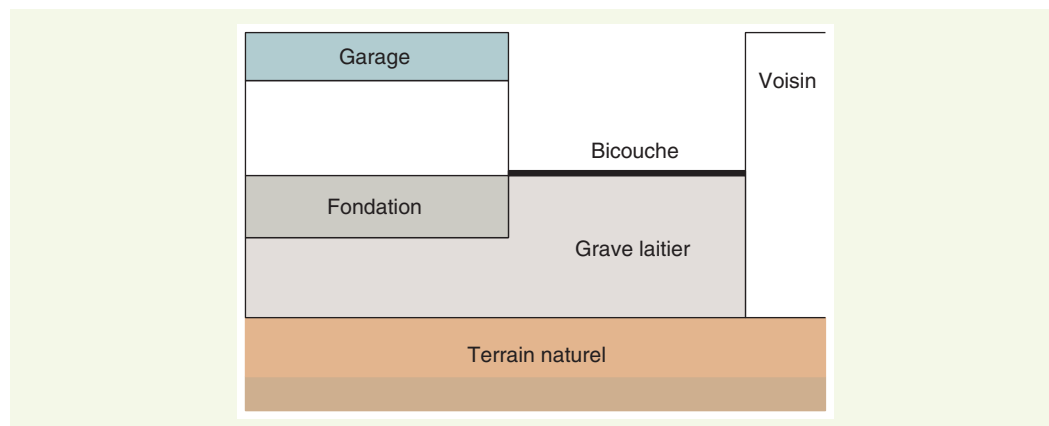
Il n'existe pas de données concernant la grave de laitier utilisée (conditions d'élaboration et granulométrie mise en place). Le revêtement est un enrobé bitumineux, constitué de plusieurs types de graves (cailloux, gravillons et sable) liées par le bitume.

La réalisation du garage date de 1991. Deux ans après la mise en œuvre, le propriétaire a constaté l'apparition de gonflements (qui perdurent) et le soulèvement de la dalle de fondation du garage.

› Conclusions

Il existe de nombreuses inconnues concernant le laitier (composition physico-chimique, origine, élaboration, granulométrie employée) ainsi que la mise en œuvre des matériaux.

figure 6
Structure de l'ouvrage
(site n° 3).



Au vu des informations recueillies et de la visite sur le site, un phénomène de gonflement est la (ou une des) cause des dysfonctionnements observés. Du fait que, au dire du propriétaire, les gonflements persistent sur tant d'années, il est difficile d'identifier les composés responsables (hydratation de la chaux libre, hydratation de l'oxyde de magnésium, formation d'hydrate d'aluminium).

Le phénomène observé n'est pas dû à un problème de compatibilité mais plutôt à l'utilisation de matériaux dont l'élaboration est mal contrôlée.

ANALYSE DU COMPORTEMENT DE MATÉRIAUX ISSUS DE DÉCHETS UTILISÉS EN VOIRIE : DÉVELOPPEMENT D'UNE MÉTHODOLOGIE

L'apparition de désordre dans une voirie constituée de matériaux de recyclage est un phénomène complexe qui peut être dû à :

- des réactions physico-chimiques dans les matériaux mis en œuvre ou des interactions entre matériaux ;
- des conditions d'élaboration et de mise en œuvre en phase chantier.

Une analyse de ces phénomènes nécessite de collecter l'ensemble des informations liées au chantier :

- la technique d'élaboration des matériaux ;
- les caractéristiques géotechniques et environnementales des matériaux élaborés ;
- la structure de la chaussée pour appréhender les éventuelles interactions ;
- les données sur la mise en œuvre en phase chantier (épaisseurs, portance, perméabilité, conditions climatiques, etc.).

Une première approche de l'étude de dysfonctionnement est présentée dans le **tableau 3**. Il s'agit de hiérarchiser les incompatibilités du point de vue physico-chimiques entre les matériaux (interaction entre matériaux et propriétés intrinsèques du matériau).

Cette méthodologie ne concerne que les graves de mâchefers et les graves de laitiers d'aciérie.

CONCLUSIONS

Une première étape a permis de mettre en évidence de façon théorique des mécanismes d'interactions susceptibles de se développer dans de telles structures.

Une deuxième étape a consisté à rechercher des désordres sur des chaussées existantes utilisant ces matériaux non conventionnels auprès de différents acteurs de la construction. Trois cas nous ont été communiqués en région Rhône-Alpes. Les deux familles de graves considérées sont les graves de mâchefers et les graves de laitiers d'aciérie électrique.

tableau 3

Hierarchisation des risques – Interactions entre matériaux.

Risque	Interactions entre matériaux	Dysfonctionnement	Causes	Solutions
Risque faible	MIOM + géosynthétiques ou Laitier d'aciérie + géosynthétique	Fissuration et/ou poinçonnement du géosynthétique	Sensibilité de certains géotextiles aux pH basiques	Utiliser les polymères polyoléfinés (PP et PE)
			Présence de grains à bords vifs	Utiliser des géotextiles anti-poinçonnement
Risque moyen	MIOM + asphalte	déformation à la surface du revêtement	Revêtement étanche + matériau à forte teneur en eau	Intégrer un matériau suffisamment poreux en couche intermédiaire
	MIOM + béton	dégradation des bétons (dysfonctionnement très rarement observé)	Réaction chimique entre les sulfates du MIOM et les bétons	Intercaler un géotextile entre les 2 matériaux
Risque fort	MIOM ou graves de laitier d'aciérie + métaux	Corrosion des métaux (dysfonctionnement très rarement observé car les parties métalliques sont protégées)	Corrosion favorisée par une teneur en chlorure élevée	Guide Rhône-Alpes d'utilisation en TP – graves de recyclage. Contacts à prohiber *
	MIOM ou graves de laitiers d'aciérie + matériaux acides (émulsion acide)	Problèmes de portance du matériau	Déplacement d'équilibres chimiques (acidification, disparition du phénomène de prise, modification granulométrique)	Utilisation d'une couche tampon de granulats, intermédiaire entre les 2 matériaux
	Graves de laitiers d'aciérie + revêtement perméable	Gonflement du laitier + dégradation de la couche de roulement	Phénomène de gel/dégel + sensibilité des laitiers au gel	Attention particulière aux conditions climatiques pendant la phase chantier (précipitations) + pentes pour limiter l'infiltration

* Pour se prémunir contre les risques de corrosion par contact :

- l'emploi de mâchefer ne doit pas servir pour le remblayage de tranchées comportant des éléments métalliques ;
- l'emploi de mâchefer en remblai contigu aux ouvrages métalliques ou en béton armé nécessitera l'interposition de dispositifs ou matériaux pour assurer la protection des ouvrages ;
- l'emploi de mâchefer pour réaliser des sols renforcés à armatures métalliques est déconseillé.

Seule une aire de stationnement (couche de forme en laitier d'aciérie sous un enduit superficiel) correspond vraisemblablement à une incompatibilité. Les autres cas sont soit liés à la mise en œuvre en phase chantier, soit à la l'utilisation de matériaux dont l'élaboration n'a pas été contrôlée.

L'enquête menée dans la région rhône-alpine auprès d'acteurs de la construction (maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre et entreprises) a montré que les dysfonctionnements liés aux interactions entre les graves de recyclage et les autres matériaux utilisés en voiries sont rares voire inexistants... L'absence de ces pathologies – hors celles liées aux caractéristiques intrinsèques des matériaux étudiés et qui sont connues par ailleurs – est simplement liée à une bonne prise en compte des risques au cours de la mise en œuvre des matériaux.

Il ressort néanmoins de ces investigations que les outils développés ces dernières années ont permis de maîtriser l'utilisation des matériaux recyclés tels que les graves de mâchefer d'incinération d'ordures ménagères et les graves de recyclage de démolition.

Le problème de compatibilité des graves de recyclage avec les autres matériaux utilisés en voirie ne constitue donc pas un réel enjeu dans l'état actuel des retours d'expériences.

De façon à lever les réticences qui existent encore chez de nombreux maîtres d'ouvrage, la capitalisation d'expériences, positives ou négatives, doit s'étendre à d'autres matériaux et à d'autres zones géographiques afin de préciser les préconisations à appliquer à ces matériaux lors de leur élaboration puis de leur mise en œuvre.

RÉFÉRENCES

- 1 Guide technique des matériaux BTP, *DRE Centre, UNICEM centre, Les Travaux Publics – Fédération Centre, CETE Normandie Centre, CER BTP Centre, juin 2007*, 29 pages.
- 2 Utilisation des matériaux de Haute-Normandie : Sous-produits industriels et matériaux divers, **mars 2000**, 78 pages.
- 3 Guide technique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France – Les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères, Préfecture d'Ile-de-France, Conseil Régional d'Ile-de-France, UNICEM, SPIR Ile-de-France, Contrat de plan interrégional du bassin parisien, SYCTOM, SVDU, **novembre 1998**, 44 pages.
- 4 Guides techniques pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France – Valorisation des excédents de déblais de travaux publics, Préfecture de la région d'Ile-de-France, UNICEM Ile-de-France, SPRIR Ile-de-France, Conseil Régional Ile-de-France, **décembre 2003**, 28 pages.
- 5 Guides techniques pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France – Les bétons et produits de démolition recyclés, Préfecture de la région d'Ile-de-France, UNICEM Ile-de-France, SPRIR Ile-de-France, Conseil Régional Ile-de-France, **décembre 2003**, 32 pages.
- 6 Guide d'utilisation en travaux publics de graves de recyclage – Graves recyclés de démolition et mâchefer, version 2, Région Rhône-Alpes, DDE du Rhône, Conseil Général du Rhône, Grand Lyon communauté urbaine, Les Travaux Publics – Fédération Rhône-Alpes, UNICEM Rhône-Alpes, SPIR Rhône-Alpes, **2005**, 35 pages.
- 7 Guide informatique à l'attention des maîtres d'ouvrage, d'œuvre et des entrepreneurs locaux – Mâchefer, CETE du Sud-Ouest, Mairie de Toulouse, **juin 2004**, 6 pages.
- 8 Catalogue des matériaux de substitution en Bourgogne, DRE Bourgogne, **octobre 2004**, 30 pages.
- 9 PREDIS – Guides techniques régionaux relatifs à la valorisation des déchets et co-produits industriels, **2002**
- 10 Site Internet OFRIR.
- 11 Cahier des charges techniques particulières (CCTP) « Acceptabilité de déchets et de matériaux en techniques routières » (*Document provisoire, DGR, janvier 2007*)
- 12 **BACHOC A., CHEBBO G., MOUCHEL J.M.**, La pollution des rejets pluviaux urbains : son importance, ses caractéristiques, quelques éléments sur ses origines et son interception. *Rejets urbains par temps de pluie : pollution et nuisances. Actes des 3es journées du DEA Sciences et Techniques de l'Environnement, mai 1992*, Paris, 9-21.
- 13 **FARKOUH B.**, Le filtre géosynthétique dans les ouvrages de drainage : essais de laboratoire et observations in situ. *Thèse de mécanique : Université Joseph Fourier – Grenoble I, 1994*, 368 pages.
- 14 **MATHUR A., NETRAVALI A.N., O'ROURKE T.D.**, Chemical aging effects on the physio-mechanical properties of polyester and polypropylene geotextiles. *Geotextiles and Geomembranes, 1994*, 13.
- 15 **LASSABATÈRE L.**, Modification du transfert de trois métaux lourds (Zn, Pb et Cd) dans un sol issu d'un dépôt fluvio-glaciaire carbonaté par l'introduction d'un géotextile. *Thèse, INSA de Lyon, 2002*, 224 pages.
- 16 **ODIE L.**, Risque d'évolution physico-chimique à long terme d'un déchet utilisé en travaux publics (approche bibliographique). *FAER 2-03-43-7., 2000*, 53 pages.
- 17 **PERRIGOUARD F.**, Étude de la compatibilité physico-chimique de graves de recyclage avec les matériaux utilisés en voirie – MIOM, laitiers d'aciérie et graves de démolition : application au contexte rhône-alpin. *Travail de fin d'études. École nationale des travaux publics de l'État, 2005*, 89 pages.
- 18 Site internet <http://www.meteociel.fr/>