

CONSEILS POUR LA CONDUITE DES ETUDES :

Ce texte est issu du retour d'expérience sur le comportement de matériaux alternatifs en construction routière qui a donnée lieu à l'élaboration d'une méthode d'analyse fondée sur des fiches descriptives qui sont fournies ci-après pour renseigner le suivi d'ouvrages.

1	Objectifs et démarche.....	1
2	Méthode d'analyse des cas	2
3	Conclusion.....	13
4	Références bibliographiques	13
5	Auteurs et relecteurs	16

1 Objectifs et démarche

Les ouvrages routiers correspondent à des scénarios d'utilisation dans lesquels les matériaux sont soumis à des sollicitations extérieures, d'ordre mécanique, thermique et environnemental. Les matériaux alternatifs, réactifs à ces sollicitations, vont y répondre spécifiquement, en fonction des conditions locales et des caractéristiques propres de l'ouvrage. Pour comprendre le comportement des matériaux alternatifs et des ouvrages en contenant, il est donc nécessaire de décrire les sollicitations auxquelles ils sont soumis dans leur contexte d'utilisation. Le retour d'expérience doit donc être analysé en intégrant l'aspect *sollicitations-réponses* du système *ouvrage routier*.

Dans le cadre d'un tel retour d'expérience, l'analyse d'un ensemble de cas complémentaires doit permettre d'identifier des scénarios types d'emploi des matériaux alternatifs en tenant compte de leurs caractéristiques (réactivité) et des facteurs influents (conditions locales). L'analyse de chaque cas sera plus ou moins poussée en fonction de la quantité et de la qualité des données fournies. Le retour d'expérience sera quant à lui plus ou moins riche en fonction du nombre et de la variété de cas recensés.

Ainsi, dans la première partie de l'étude, une enquête a été conduite à l'échelle nationale afin de répertorier les études ayant consisté en un suivi mécanique et/ou environnemental de structures routières. Tout type de structure routière était *a priori* considéré, du plot (structure définie comme située hors trafic et dédiée exclusivement à l'étude) à différents types d'ouvrages fonctionnels soumis à un trafic routier (routes, parkings). Par ailleurs, des fiches signalétiques ont été conçues spécifiquement pour cette étude afin de recueillir l'information et de l'analyser de façon complète et uniforme à partir des divers types de documents disponibles (articles, thèses, rapports publics ou internes).

Les fiches signalétiques sont destinées à décrire i) les caractéristiques générales de l'étude (feuille « Informations générales ») ; ii) la structure de l'ouvrage (feuille

« Description de l'ouvrage »); iii) les caractéristiques du matériau alternatif (feuille « Description du matériau »); iv) les sollicitations par les facteurs extérieurs (feuille « Description des facteurs extérieurs »); v) les comportements mécaniques et environnementaux du matériau et de la structure routière observés (feuille « Description des réponses »).

2 Méthode d'analyse des cas

Les fiches signalétiques sont destinées à décrire i) les caractéristiques générales de l'étude (feuille « Informations générales ») ; ii) la structure de l'ouvrage (feuille « Description de l'ouvrage »); iii) les caractéristiques du matériau alternatif (feuille « Description du matériau »); iv) les sollicitations par les facteurs extérieurs (feuille « Description des facteurs extérieurs »); v) les comportements mécaniques et environnementaux du matériau et de la structure routière observés (feuille « Description des réponses »). Elles sont décrites ci-dessous.

2.1 Feuille « Informations générales »

L'objectif de chaque étude est tout d'abord indiqué tel qu'il est décrit dans les documents du cas d'étude. Les partenaires de l'étude sont indiqués, ainsi que le type de structure routière, la nature du matériau alternatif utilisé et sa couche d'emploi. L'ouvrage étudié peut être de type section autoroutière, section de route nationale (RN), de chemin départemental (CD), de chaussée urbaine (rue), de voie privée, parking, remblai. Le modèle de la feuille « Informations générales » est présenté en Figure 1.

Figure 1 : Modèle de la feuille « Informations générales »

F1 - INFORMATIONS GÉNÉRALES														
Titre de l'étude :														
Objectif de l'étude														
Références documentaires :														
Type d'ouvrage :	<table border="1"> <tr> <td>Urbain</td> <td>Interurbain</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Autoroute</td> <td>RN</td> <td>CD</td> </tr> <tr> <td>Rue</td> <td>Voie privée</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Parking</td> <td>Remblai</td> <td></td> </tr> </table>	Urbain	Interurbain		Autoroute	RN	CD	Rue	Voie privée		Parking	Remblai		
Urbain	Interurbain													
Autoroute	RN	CD												
Rue	Voie privée													
Parking	Remblai													
Trafic automobile :	<table border="1"> <tr> <td>Oui (Route, Parking)</td> <td>Non (Plot)</td> </tr> </table>	Oui (Route, Parking)	Non (Plot)											
Oui (Route, Parking)	Non (Plot)													
Partenaires de l'étude :														
Déchet :														

Matériau alternatif :	
Matériau routier :	
Couche d'emploi dans la structure :	

2.2 Feuille « Description de l'ouvrage »

La description de la structure routière comprend : i) sa localisation ; ii) les dates principales de son historique ; iii) sa géométrie ; iv) sa documentation à travers des plans et des prises de vues. Le modèle de la feuille « Description de l'ouvrage » est présenté en Figure 2.

La localisation de la structure routière est décrite par le département et le nom de la commune. L'altitude du site est renseignée. Peut être fournie également toute précision concernant la situation et/ou la fonction du tronçon routier (par exemple les caractéristiques de trafic routier et l'urbanisation dans le secteur, la distance à la principale ville, les voies connectées à ce tronçon, le gestionnaire du tronçon routier, le propriétaire...).

Les dates importantes à connaître quant à l'historique du matériau et de l'ouvrage (ainsi que la durée des différentes périodes) sont celles de production des matériaux et de préparation en tant que matériau routier (élaboration, vieillissement et traitement éventuels ...), les dates de début et de fin de mise en œuvre des matériaux dans les ouvrages et celles de suivi des ouvrages. Lorsque des études ponctuelles sont réalisées sur un ouvrage, l'âge de l'ouvrage à ce moment doit être indiqué.

La géométrie des ouvrages doit être spécifiée à travers leur structure verticale (épaisseur et nature des différentes couches), la pente longitudinale et transversale de la couche de surface, la largeur et la longueur de la section étudiée, ainsi qu'à travers la description des dispositifs de suivi (capteurs implantés dans la structure et dispositifs de prélèvement).

Qu'ils soient fournis par les documents ou reconstitués à partir des informations rassemblées, les plans, comme les photographies de l'ouvrage en construction et/ou en service, sont importants pour compléter la description.

Figure 2 : Modèle de la feuille « Description de l'ouvrage »

F2 - DESCRIPTION DE L'OUVRAGE				
2.1 LOCALISATION :	Département :	Commune :	Détails éventuels :	Cote NGF:
2.2 DATES DE...	de	à	Durée	
	► Production du déchet			
	► Préparation du matériau alternatif			
	► Préparation du matériau routier			
	► Mise en œuvre			
	► Suivi de l'ouvrage			
	► Réalisation d'une étude ponctuelle			Age (ouvrage) :
►► Diagramme historique :				
2.3 GEOMETRIE DE L'OUVRAGE :				
► Structure verticale :	Schéma	Couches	Matériaux	
► Pentes de la couche de surface :	Longitudinale :	Transversale :		
► Dimensions de l'ouvrage:	Longueur :	Largeur :	Surface :	
► Dispositif de suivi :				
►► Collecte de percolats :	Oui : ↓			Non
►► Volume de matériau étudié :	Epaisseur :	Longueur :	Largeur :	
►► Mesure de la teneur en eau :	Oui			Non
►► Mesure de la température :	Oui			Non
2.4 PLANS :				
2.5 PHOTOS :				

2.3 Feuille « Description du matériau »

La description du matériau alternatif comprend : i) la description de son origine et de sa préparation avant mise en œuvre ; ii) la description de sa composition et l'estimation de son potentiel lixiviable ; iii) la description de sa granularité ; iv) la description de ses caractéristiques géotechniques ; v) de sa perméabilité ; vi) de son comportement au gel.

La composition chimique du matériau alternatif peut évoluer, spontanément (réactions de vieillissement) ou sous l'action des procédés de préparation avant utilisation (retrait de composants). Sous l'effet des facteurs extérieurs, la minéralogie du matériau, ses composés organiques, sa composition élémentaire, peuvent aussi continuer à évoluer après qu'il ait été mis en œuvre dans la structure routière. Ceci peut avoir des répercussions sur le comportement à la lixiviation du matériau. L'évolution éventuelle de la granulométrie des matériaux une fois mis en œuvre peut aussi être un facteur important quant à leur comportement en lixiviation [van der Sloot & Dijkstra, 2004]. L'évolution granulométrique éventuelle des matériaux durant leur processus de préparation ainsi que leur évolution minéralogique et chimique peuvent aussi induire une évolution de leurs caractéristiques géotechniques [MELT, 2000]. Ces facteurs peuvent aussi induire des variations de la perméabilité du matériau mis en œuvre [Hillel, 1988] et de son comportement au gel. C'est pourquoi, pour toute donnée relative à la composition, à la lixiviation, à la granularité, à la perméabilité et à la sensibilité au gel, il est important de connaître la période de la vie du matériau ou de l'ouvrage à laquelle elle se rapporte.

Ainsi, la feuille de description du matériau demande-t-elle de préciser à quel stade, production (matière première), préparation (matériau élaboré) ou mise en œuvre (matériau routier), les caractérisations ont été effectuées. Le modèle de la feuille « Description du matériau » est présenté en Figure 3.

2.3.1 Origine et préparation du matériau

L'origine du matériau alternatif est décrite à travers son site de production (matière première), ainsi qu'à travers ses lieux d'entreposage et de préparation éventuels. En cas de préparation, des précisions complémentaires relatives aux opérations réalisées, simple vieillissement (réactions chimiques spontanées) ou élaboration plus poussée impliquant des procédés mécaniques (retrait de métaux ferreux et/ou non ferreux, broyage...), thermiques (calcination par exemple) et/ou chimiques (phosphatation par exemple) sont demandées. En cas de préparation comprenant un traitement au liant, la nature de ce dernier doit être fournies

2.3.2 Composition du matériau et potentiel lixiviable

Le matériau est décrit à travers sa composition chimique élémentaire, à travers l'identification de ses composés organiques et sa minéralogie. L'appréciation du comportement à la lixiviation d'un matériau est une manière d'évaluer son potentiel polluant vis-à-vis de différentes cibles de l'environnement (sol, eaux souterraines et de surface...) [Ademe, 2002]. De nombreux protocoles de lixiviation existent aujourd'hui basés sur différentes conditions opératoires : réduction granulométrique du matériau, nature et pH de l'éluant, rapport liquide/solide (L/S), temps de contact... [van der Sloot & Dijkstra, 2004]. Ainsi, différents cas d'études peuvent-ils avoir recours à différents protocoles de lixiviation et le potentiel lixiviable d'un matériau peut-il être abordé de façon différente d'une étude à l'autre. La feuille

« Description du matériau » tient compte de différents modes d'essais : percolation, batch, pH statique...

2.3.3 Granularité

Le graphe de la distribution granulométrique du matériau est présenté. Il peut être comparé à des courbes enveloppes standard (norme NF EN 13285). Les fractions, fine (< 80 microns), et sableuse (< 2 mm) ainsi que la taille maximale (Dmax) sont précisées et serviront au positionnement par rapport aux référentiels existants pour la classification des matériaux. Les caractéristiques granulométriques sont aussi utiles à l'interprétation du comportement en lixiviation du matériau.

2.3.4 Caractéristiques géotechniques

Les caractéristiques géotechniques du matériau sont exprimées à travers: i) sa propreté ; ii) sa résistance mécanique ; iii) ses références de compactage. Les propriétés sont décrites comme suit :

- La propreté est exprimée à travers l'équivalent de sable (ES) déterminé à partir de la norme EN 933-8, et grâce à la valeur de bleu de méthylène (VBS) déterminée selon la norme EN 933-9.
- La résistance mécanique des matériaux est déterminée à partir : i) du coefficient Los Angeles (LA) déterminé à partir de la norme EN 1097-2 ; ii) du coefficient micro-Deval (MD) déterminé avec la norme EN 1097-1 ; et iii) du coefficient de friabilité des sables (FS) déterminé à partir de la norme P 18-576. Ces éléments permettent de positionner le matériau dans le système de référence pour les granulats selon la norme XP P 18-545 (Granulats - Éléments de définition, conformité et codification).

Ces caractéristiques ainsi que celles de granulométrie permettent de classer le matériau dans le système de référence des matériaux de remblais et de couches de forme selon la norme NF P 11-300 (Exécution des terrassements - Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières). Il est alors possible de comparer le matériau alternatif aux matériaux naturels classiquement utilisés sur la base des propriétés fondamentales utilisées en terrassement [MELT, 2000].

Les références de compactage du matériau sont fournies tant par rapport à l'essai Proctor normal que par rapport à l'essai Proctor modifié, suivant le protocole EN 13286-2. La teneur en eau à la densité Proctor optimum doit être fournie avec la masse volumique apparente sèche (ρ_d exprimée en tonne/m³) à l'optimum Proctor. La portance est ensuite exprimée à l'optimum Proctor à travers l'indice CBR, l'indice portant immédiat (IPI), et éventuellement l'indice CBR après immersion (CBRi). Les deux premiers indices sont déterminés en suivant la norme EN 13286-47. Le premier indice exprime la capacité du matériau à servir de plate-forme pour la structure routière, le second exprime sa capacité à supporter le trafic des engins de chantier pendant la phase de chantier. Le troisième indice est déterminé suivant la norme NF P 94-093. Le traçage de ρ_d en fonction de la teneur en eau (W exprimé en % de la masse) permet de comparer les performances et la sensibilité à l'eau de différents matériaux.

2.3.5 Perméabilité

L'eau de pluie s'infiltrant pour partie dans les structures routières [Ramier et al, 2004], le flux hydrique lié à la porosité et à la perméabilité du matériau, peut être déterminant quant au relargage d'espèces chimiques et aux propriétés mécaniques du matériau. La perméabilité du matériau doit être évaluée après qu'il ait été compacté au même taux que celui de sa mise en œuvre, et les références de compactage du matériau étudié doivent être fournies avec les résultats. Aujourd'hui il n'existe pas de méthode normalisée pour ce cas spécifique de mesure de perméabilité. Pour les matériaux alternatifs une méthode de laboratoire a été proposée pour la mesure de la perméabilité d'éprouvettes compactées [François et al., 2003a].

2.3.6 Estimation de la sensibilité au gel

La nécessité d'évaluer la sensibilité au gel d'un matériau dépend de son contexte climatique d'utilisation. En fonction des régions, cette information peut donc logiquement être absente de certaines études. Dans les contextes où cette évaluation est justifiée, la fissuration susceptible d'être engendrée dans les matériaux sensibles peut affecter non seulement leurs performances mécaniques mais aussi leur comportement à la lixiviation [François et al, 2003b].

L'évaluation de la résistance au gel peut être déterminée en suivant la norme EN 1367-1. Ce protocole s'applique préférentiellement à des granulats de taille 8/16 mm, mais aussi 4/8 mm, 16/32 mm ou 32/63 mm. Un autre moyen est de tester le matériau compacté. Il n'existe pas de norme européenne en la matière mais une norme française s'appliquant aux sols et graves ($D \leq 20$ mm) existe (NF P 98-234-2).

Figure 3 : Modèle de la feuille « Description du matériau »

F3 - DESCRIPTION DU MATERIAU			
3.1 DECHET :			
► Nature :			Code Européen des Déchets:
►► Lieu de Production :			
►► Dépôt ou stock sur site :	Oui		Non
3.2 MATERIAU ALTERNATIF :			
► Préparation :	Oui : →	Lieu :	Non
►► Simple vieillissement :	Oui : →	Détails :	Non
►► Elaboration :	Oui : →	Détails :	Non
3.3 MATERIAU ROUTIER :			
► Traitement :	Oui : ↓	Non : →	Type de matériau
►► Liant :	L. Hydraulique	L. Hydrocarboné	
3.4 COMPOSITION DU MATERIAU :			
► Analyse chimique élémentaire :	Oui (Stade : ↓)		Non
	1.1.1.1 Production	Préparation	Mise en Suivi ou EP

▶ Composés organiques :			<i>œuvre</i>	→ F4
	<i>Production</i>	<i>Préparation</i>	<i>Mise en œuvre</i>	<i>Suivi ou EP</i> → F4
▶ Minéralogie :			<i>œuvre</i>	→ F4
	<i>Production</i>	<i>Préparation</i>	<i>Mise en œuvre</i>	<i>Suivi ou EP</i> → F4
3.5 COMPORTEMENT EN LIXIVIATION :	Oui (Stade : ↓)			Non
	<i>1.1.1.1.1 Production</i>	<i>Préparation</i>	<i>Mise en œuvre</i>	<i>Suivi ou EP</i> → F4
3.6 GRANULOMETRIE :	Oui (Stade : ↓)			Non
	<i>1.2 Production</i>	<i>Préparation</i>	<i>Mise en œuvre</i>	<i>Suivi ou EP</i> → F4
▶ Courbe granulométrique :	Traçage: →	% < 80 \square m :	% < 2 mm :	Dmax :
3.7 CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES :	Oui (Stade : ↓)			Non
	<i>Production</i>	<i>Préparation</i>	<i>Mise en œuvre</i>	<i>Suivi ou EP</i> → F4
▶ Propreté :	ES :	VBS :		
▶ Classement XP P 18-545 :	Classe :	LA :	MDE :	FS :
▶ Classement NF P 11-300 (GTR) :	Classe :			
▶ Compactage Proctor :	1.2.1 P. Normal	1.2.2 P. Modifié	Teneur en eau	MV sèche
	IPI	CBR	CBRi	
▶ Courbes Proctor et de portance :				
3.8 PERMEABILITE :	Oui (Stade : ↓)			Non
	<i>Production</i>	<i>Préparation</i>	<i>Mise en œuvre</i>	<i>Suivi ou EP</i> → F4
3.9 COMPORTEMENT AU GEL :	Oui (Stade : ↓)			Non
	<i>Production</i>	<i>Préparation</i>	<i>Mise en œuvre</i>	<i>Suivi ou EP</i> → F4

2.4 Feuille « Description des facteurs extérieurs »

L'identification des facteurs extérieurs susceptibles d'agir sur le matériau et la structure routière conduit à : i) décrire le contexte climatique ; ii) décrire l'hydrogéologie locale ; iii) rassembler les données relatives au trafic et à l'entretien routiers ainsi qu'aux éventuels déversements accidentels de produits réactifs et/ou dangereux pendant la période d'étude. Le modèle de la feuille « Description des facteurs extérieurs » est présenté en Figure 4.

2.4.1 Contexte climatique

Le contexte climatique est décrit à travers les précipitations et les températures. Idéalement, ces informations sont fournies grâce à un dispositif d'enregistrement local (pluviomètre et thermomètre). A défaut, elles peuvent être recherchées auprès de la station météorologique la plus proche, à la condition que la distance au site d'étude reste raisonnable et que la topographie locale ne soit pas trop accidentée. L'origine des données doit être précisée, de même que les dates de début et de fin de suivi (pluies et températures). La pluie totale sur la période d'étude est précisée, ainsi que les températures extrêmes. Les éventuelles périodes de gel sont identifiées. Dans le cas où aucun enregistrement météorologique n'est disponible ou exploitable, une estimation est réalisée à partir des données statistiques (base cartographique de Météo France).

2.4.2 Hydrogéologie

L'existence de toute nappe d'eau sous-jacente à l'ouvrage est indiquée, ainsi que sa profondeur courante par rapport à la base de l'ouvrage. Les éventuelles remontées de nappe dans la couche de matériau alternatif sont ensuite mentionnées, en fournissant si possible une estimation de la durée probable de saturation de la couche. Enfin, la présence de piézomètres aux abords de l'ouvrage ainsi que la nature des éventuelles analyses d'eau de nappe, sont précisées.

2.4.3 Trafic, entretien routier et déversements accidentels

L'existence ou l'absence de trafic automobile sur l'ouvrage doit être explicite. Pour les ouvrages routiers et les parkings, l'importance du trafic doit être décrite, et autant que possible rapportée aux classes de trafic [MELT, 1994]. Les principales interactions possibles entre la maintenance de la route et le matériau alternatif résident dans les opérations de salage et de désherbage des remblais et accotements. Si de telles opérations ont été effectuées pendant la durée de l'étude, alors la nature, les quantités et concentrations des produits utilisés doivent être connues. En cas de déversement accidentel connu sur l'ouvrage, la nature du produit, les quantités déversées et la date de l'évènement doivent être connues.

Figure 4 : Modèle de la feuille « Description des facteurs extérieurs »

F4 - DESCRIPTION DES FACTEURS EXTERIEURS			
4.1 CONTEXTE CLIMATIQUE :			
► Mesure des précipitations :	Sur site	Station météo	Statistiques météo
	Durée :	mm (période) :	
► Mesure des températures :	Sur site	Station météo	Statistiques
			Absence

			météo	
	Durée :	Tmini :	Tmaxi :	
▶▶ Périodes de gel :	1.2.3 Oui			1.2.4 Non
4.2 HYDROGEOLOGIE :				
▶ Existence d'une nappe :	Oui : →	Profondeur :		1.2.5 Absence
▶ Saturation du matériau alternatif:	Oui : →	Durée connue:	Durée inconnue	Non
▶ Présence de piézomètres :	1.2.6 Oui			Absence
▶▶ Analyse des eaux de nappe:	1.2.7 Oui			Non
4.3 TRAFIC ROUTIER :				
	Oui : →	Description :	Classement :	Non (Plot)
4.4 DONNEES D'ENTRETIEN ROUTIER :				
	Oui : ↓			1.2.8 Non
▶ Salage :	Produits :	Quantités :	Doses :	
▶ Désherbage :	Produits :	Quantités :	Doses :	
4.5 CONNAISSANCE DE DEVERSEMENTS :				
	Oui : ↓			1.2.9 Non
	Produits :	Quantités :	Doses :	

2.5 Feuille « Description des réponses »

Sur site, les effets des facteurs extérieurs agissant sur la structure routière, peuvent être identifiés à l'échelle de l'ouvrage dans son ensemble, ou à l'échelle du matériau lui-même, ce qui implique dans ce cas un carottage dans la structure. La feuille « Description des réponses » envisage les deux possibilités.

La structure routière, comme le matériau, étant susceptibles d'évoluer dans le temps (Cf. Feuille « Description du matériau »), il est important de préciser ici aussi à quel moment de la vie de l'ouvrage l'observation est réalisée : i) au stade de la mise en œuvre ; ii) durant la période de suivi ; ou iii) au moment d'une étude ponctuelle (EP). Dans tous ces cas, les dates d'opération et l'âge de l'ouvrage sont requis. Le modèle de la feuille « Description des réponses » est présenté en Figure 5.

2.5.1 Réponse à l'échelle de l'ouvrage

De la même façon que pour les routes construites avec des matériaux naturels classiques, pour les matériaux alternatifs, l'observation visuelle de l'état

général de l'ouvrage routier fourni des informations sur l'existence ou l'absence de désordres internes majeurs. Par conséquent, la description du comportement en place de la structure routière commence par une évaluation visuelle de l'ouvrage.

L'état général de la structure est décrit à travers l'absence ou la présence d'affaissement, de fissuration, d'orniérage, de faiénçage, de gonflement localisé ou étendu... La description de l'état fonctionnel de l'ouvrage consiste à mesurer différents paramètres macroscopiques et microscopiques, tels que la portance (essais à la plaque ou à la dynaplaque), la compacité (pénétrromètre dynamique), la densité, la déflection.

La description du comportement environnemental de la structure routière nécessite un recensement de toutes les données relatives aux différentes cibles susceptibles d'être atteintes par la migration des polluants émis. De telles données concernent la qualité des eaux de percolation, la qualité des eaux de surface avoisinantes, la qualité des eaux souterraines, la qualité des sols sous-jacents et des sols avoisinants l'ouvrage (qui peuvent fournir un état de référence du contexte local [Jullien & François, 2006]) et enfin l'état des biocénoses avoisinantes.

2.5.2 Réponse à l'échelle du matériau

L'état du matériau au moment de sa mise en œuvre a été décrit dans la feuille « Description du matériau ». Il s'agit ici d'observations relatives à son éventuel suivi ou à une éventuelle étude ponctuelle (EP). Ici aussi les précisions relatives aux dates, durées et âges, sont requises. L'analyse de la réponse du matériau consiste à rassembler les données relatives à : i) sa granularité ; ii) ses caractéristiques géotechniques ; iii) sa perméabilité ; iv) sa sensibilité au gel ; v) sa composition chimique élémentaire ; vi) ses composés organiques ; vii) sa minéralogie ; viii) son comportement en lixiviation.

L'analyse granulométrique du matériau, réalisée sur des échantillons carottés, est exploitée de façon analogue à celle décrite dans la feuille « Description du matériau » : courbe granulométrique, fraction fine, fraction sableuse, Dmax.

Les caractéristiques géotechniques du matériau sont ici aussi (voir feuille « Description du matériau) exprimées à travers i) sa propreté ; ii) sa résistance mécanique ; iii) son classement consécutif selon la norme XP P 18-545); iv) son classement dans le système de référence des matériaux de remblais et de couches de forme selon la norme NF P 11-300 ; et enfin v) ses références de compactage (densité sèche et portance).

Les autres caractéristiques du matériau prélevé dans la structure routière (perméabilité, sensibilité au gel, composition chimique, composés organiques, minéralogie, comportement en lixiviation) sont décrites de façon analogue à celles de l'état initial (voir Feuille « Description du matériau »).

Figure 5 : Modèle de la feuille « Description des réponses »

F5 - DESCRIPTION DES REPONSES

5.1 REPONSE DE L'OUVRAGE :				
5.1.1 Appréciation visuelle générale :	Affaissement	Fissuration	Orniérage	Faiénçage
	Gonflement	Plumage	Pelage	Autres :
5.1.2 Mécanique :	Oui (Stade : ↓)			1.2.10 Non
▶ Portance :	1.3 Mise en œuvre	Suivi (Dates :)	EP (Age :)	
▶ Compacité :	Plaques	Dynaplaques		
▶ Densité :	1.4 Mise en œuvre	Suivi	EP	
▶ Déflexion :	1.5 Mise en œuvre	Suivi	EP	
	1.6 Mise en œuvre	Suivi	EP	
5.1.3 Environnement :	Oui (Stade : ↓)			1.6.1 Non
▶ Qualité des eaux de percolation:	1.7 Mise en œuvre	Suivi (Dates :)	EP (Age :)	
▶ Qualité des eaux superficielles:	1.8 Mise en œuvre	Suivi	EP	
▶ Qualité des eaux souterraines:	1.9 Mise en œuvre	Suivi	EP	
▶ Qualité des sols sous-jacents:	1.10 Mise en œuvre	Suivi	EP	
▶ Qualité des sols avoisinants:	1.11 Mise en œuvre	Suivi	EP	
▶ Qualité des biocénoses avoisinantes:	1.12 Mise en œuvre	Suivi	EP	
	1.13 Mise en œuvre	Suivi	EP	
5.2 REPONSE DU MATERIAU :	Oui (Stade : ↓)			1.13.1 Non
	1.14 Mise en œuvre	Suivi (Dates :)	EP (Age :)	
5.2.1 Granulométrie :	1.14.1 Oui : ↓			Non
▶ Courbes granulométriques :	Traçage : →	% < 80 <input type="checkbox"/> m :	% < 2 mm :	Dmax :
5.2.2 Caractéristiques géotechniques :	Oui : ↓			Non
▶ Propreté :	ES :	VBS :		
▶ Classement XP P 18-545 :	Classe :	LA :	MDE :	FS :

▶ Classement NF P 11-300 (GTR) :	Classe :	1.14.2		
▶ Compactage Proctor :	1.14.3 P. Normatif	1.14.4 P. Modifié	Teneur en eau	MV sèche
	IPI	CBR	CBRi	
▶ Courbes Proctor et de portance				
5.2.3 Perméabilité :	<input type="text" value="Oui"/>			<input type="text" value="Non"/>
5.2.4 Comportement au gel :	<input type="text" value="Oui"/>			<input type="text" value="Non"/>
5.2.5 Composition : :				
▶ Analyse chimique élémentaire :	<input type="text" value="Oui"/>			<input type="text" value="Non"/>
▶ Composés organiques :	<input type="text" value="Oui"/>			<input type="text" value="Non"/>
▶ Minéralogie :	<input type="text" value="Oui"/>			<input type="text" value="Non"/>
5.2.6 Comportement en lixiviation :	<input type="text" value="Oui"/>			<input type="text" value="Non"/>

3 Conclusion

Cette méthode d'étude ouvre des perspectives en matière d'amélioration de la conduite de futures études d'évaluation des matériaux alternatifs en construction routière, afin de renforcer leur bénéfice scientifique et leur réalisme.

Remerciements. Cette étude a été réalisée à la demande de l'Ademe (Etude CAREX). Elle a été menée en lien avec la division Polden d'Insavalor.

4 Références bibliographiques

4.1 Références normatives

NF EN 13285, 2010. « Graves non traitées – Spécifications ». 31 p.

NF EN 933-8, 2012. « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 8 : évaluation des fines - Équivalent de sable ». 01 mars 2012.

- NF EN 933-9+ A1, 2013. « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 9 : qualification des fines - Essai au bleu de méthylène ». juin 2013.
- NF EN 1097-2, 2010. « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques de granulats - Partie 2 : méthodes pour la détermination de la résistance à la fragmentation ». 01 juin 2010, 34 p.
- NF EN 1097-1, 2011. « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 1 : détermination de la résistance à l'usure (micro-Deval) ». 01 août 2011, 16 p.
- NF P 18-576, 2013. « Granulats - Détermination du coefficient de friabilité du sable - Tirage 2 (2013-10-01) ». 09 février 2013, 10 p.
- XP P 18-545, 2004. « Béton - Réactivité d'une formule de béton vis-à-vis de l'alcali-réaction - Essai de performance ». 01 décembre 2004, 19 p.
- NF P 11-300, 1992. « Exécution des terrassements - Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières ». 01 septembre 1992, 21 p.
- NF EN 13286-2, 2010. « Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques - Partie 2 : méthodes d'essai de détermination en laboratoire de la masse volumique de référence et de la teneur en eau - Compactage Proctor ». 01 décembre 2010, 32 p.
- NF EN 13286-47, 2012. « Mélanges traités et mélanges non traités aux liants hydrauliques - Partie 47 : méthode d'essai pour la détermination de l'indice portant Californien (CBR), de l'indice de portance immédiate (IPI) et du gonflement linéaire » 01 juillet 2012, 13 p.
- NF P 94-093, 1999. « Sols : reconnaissance et essais - Détermination des références de compactage d'un matériau - Essai Proctor normal. Essai Proctor modifié. » 01 octobre 1999, 18 p.
- NF EN 1367-1, 2007. « Essais de détermination des propriétés thermiques et de l'altérabilité des granulats - Partie 1 : détermination de la résistance au gel-dégel » 01 août 2007, 13 p.

NF P 98-234-2, 1996. « Essais relatifs aux chaussées - Comportement au gel - Partie 2 : essai de gonflement au gel des sols et matériaux granulaires traités ou non de D inférieur ou égal 20 mm. ». 01 février 1996, 13 p.

XP P 18-545, 2004. « Béton - Réactivité d'une formule de béton vis-à-vis de l'alcali-réaction - Essai de performance ». 01 décembre 2004, 19 p.

4.1 Publications et documents techniques

ADEME, 2002. (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie). « Evaluation de l'écocompatibilité de scénarios de stockage et de valorisation des déchets ». Ademe, 2002, 148 pages.

FRANÇOIS D., AUZIZEAU J., RAIMBAULT G., 2003a. « Caractérisation hydrodynamique de mâchefers d'incinération d'ordures ménagères ». Revue Française de Géotechnique, 103, 2003, pp. 25-32.

FRANÇOIS D., GAGGL W., HOLNSTEINER R., 2003b. « Essais en chambre climatique sur des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères – Appréciation du gonflement au gel et du relargage ». Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 244-245, 2003, pp. 113-129.

HILLEL D., 1988. « L'eau et le sol, principes et processus physiques ». Academia, collection Pédasup, 266 pages.

JULLIEN A., FRANÇOIS D., 2006. « Soil indicators used in road environmental impact assessment ». Resources Conservation and Recycling, 48, 2006, pp. 101-124.

MELT, 1994. (Ministère de l'Équipement et du Logement et des Transport), « Guide technique Conception et dimensionnement des structures de chaussée ». SETRA & LCPC, 1994, 214 pages.

MELT, 2000. (Ministère de l'Équipement du Logement et des Transport). « Guide technique Réalisation des remblais et des couches de forme, Fascicules I et II ». SETRA & LCPC, 2000, 200 pages.

RAMIER D., BERTHIER E., ANDRIEU H., 2004. "Urban lysimeter to assess runoff losses on asphalt concrete plates". Physics and Chemistry of the Earth, 29, 2004, pp. 839-847.

van der SLOOT H.A., DIJKSTRA J.J., 2004. «Development of horizontally standardized leaching tests for construction materials: a materials based or a release based approach? ». Report ECN-C-04-060, ECN, 55 pages.

5 Auteurs et relecteurs

Auteurs OFRIR2	Denis François (IFSTTAR), Agnès Jullien (IFSTTAR), Jean-Pierre Kerzrého (IFSTTAR), Michel Legret (IFSTTAR)
Relecture d'experts OFRIR2	
Relecture bureau	Rabia Badreddine (INERIS), Agnès Jullien (IFSTTAR)
Date de mise en ligne	Janvier 2014