

## **Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière**

*Aide à la mise en œuvre du niveau 3 de caractérisation environnementale - Volet N°1 : les essais lysimétriques et plots expérimentaux*

Le guide méthodologique « Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière – Évaluation environnementale » (Sétra, mars 2011) fournit une démarche d'évaluation de l'acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs élaborés à partir de déchets et destinés à être utilisés en technique routière.

La caractérisation environnementale repose sur trois niveaux d'investigations. Ils permettent de graduer l'effort de démonstration en fonction du risque que présentent les matériaux concernés, vis-à-vis de l'environnement.

La présente note d'information fournit une aide à la définition puis à la conduite d'une étude spécifique lorsque les investigations associées reposent sur la réalisation d'essais lysimétriques et/ou la réalisation et le suivi de plots expérimentaux et sont menées dans le cadre prévu par la démarche d'évaluation proposée par le guide méthodologique susvisé.

Afin de poursuivre l'aide à la mise en œuvre du niveau 3 de caractérisation environnementale, il est prévu de publier ultérieurement un second volet relatif à la définition et à la conduite d'une étude spécifique lorsque les investigations associées reposent sur la réalisation d'essais sur monolithes.

## 1. Contexte

Le guide méthodologique « Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière – Évaluation environnementale » [1], désigné ci-après « guide méthodologique », fournit une démarche d'évaluation de l'acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs élaborés à partir de déchets et destinés à être utilisés en technique routière, à l'exception de ceux élaborés à partir de déchets dangereux<sup>1</sup> ou contenant une substance radioactive<sup>2</sup>.

La démarche d'évaluation environnementale repose sur une connaissance précise :

- du déchet à partir duquel est élaboré le matériau alternatif (étape 1) ;
- du mode d'élaboration du matériau alternatif et du matériau routier associé ainsi que de l'usage routier envisagé (étape 2) ;
- de la caractérisation environnementale des matériaux alternatif et routier (étape 3).

L'objectif global de l'étape de caractérisation environnementale est de démontrer, pour l'usage routier envisagé, que les émissions des matériaux alternatif et routier sont compatibles avec le respect des objectifs de qualité des eaux retenus dans le guide méthodologique.

Cette étape envisage trois niveaux d'investigation permettant, au final, de graduer l'effort de démonstration en fonction du risque que présentent les matériaux concernés vis-à-vis de l'environnement :

- le niveau 1 repose sur la réalisation d'essais de lixiviation et d'analyses en contenu total ;
- le niveau 2 repose sur la réalisation d'essais de percolation ;
- le niveau 3 repose sur la production d'une étude spécifique.

La production de l'étude spécifique, associée au niveau 3 de caractérisation environnementale, est à envisager lorsque les niveaux 1 et 2 de caractérisation environnementale ne permettent pas de justifier l'acceptabilité en technique routière d'un matériau alternatif et/ou routier, ou que les procédures ou les essais associés ne semblent pas adaptés à la nature ou au comportement de ces matériaux.

Cette étude spécifique est élaborée à l'initiative des principales fédérations professionnelles concernées, ou à défaut par l'exploitant d'une installation classée. Elle est complétée par les éléments d'information réunis lors des étapes 1 et 2 du guide méthodologique (cf. section 2.1 et section 2.2 du guide méthodologique) et validée par le ministère en charge du développement durable, avec l'appui éventuel des organismes publics de son réseau scientifique et technique ou placés sous sa tutelle, en concertation avec des représentants de la maîtrise d'ouvrage et des associations de protection de l'environnement.

Dans les conditions fixées par le guide méthodologique, les investigations à entreprendre peuvent reposer sur :

- la réalisation de modélisations complémentaires ;
- la réalisation d'essais en laboratoire complémentaires ;
- la réalisation d'essais lysimétriques ;
- la réalisation et le suivi de plots expérimentaux (échelle 1).

---

1 Est considéré comme dangereux, tout déchet présentant au moins une des propriétés de danger définies à l'annexe I de l'article R.541-8 du code de l'environnement. La liste des déchets, établie à l'annexe II de ce même article, identifie les déchets dangereux à l'aide d'un astérisque.

2 Au sens de la directive 96/26/Euratom du conseil du 13/05/96 est une substance radioactive toute substance qui contient un ou plusieurs radionucléides dont l'activité ou la concentration ne peut être négligée du point de vue de la radioprotection.

La présente note d'information a pour objet de fournir une aide à la définition puis à la conduite d'une étude spécifique lorsque les investigations associées reposent sur la réalisation d'essais lysimétriques et/ou la réalisation et le suivi de plots expérimentaux et son menées dans le cadre prévu par la démarche d'acceptabilité environnementale proposée par le guide méthodologique.

Ainsi, cette note révisé le « Guide de conception et de suivi des plots expérimentaux et d'essais lysimétriques » mentionné au chapitre 2.3.7 du guide méthodologique.

# 1. Les essais lysimétriques

## 1.1. Objectifs

L'objectif d'un essai lysimétrique (schéma type en illustration 1) est de simuler le relargage d'un matériau routier dans des conditions se rapprochant du scénario d'utilisation envisagé. En termes de représentativité, ces conditions sont intermédiaires entre celles des essais de laboratoire usuels (essais de lixiviation, essais de percolation) et celles d'un plot expérimental (cf. chapitre 2 ci-après).

Les essais lysimétriques sont des essais de simulation au titre de la norme NF EN 12920/A1 [2]. Une fois les facteurs d'influence identifiés et leur caractère déterminant évalué, les essais lysimétriques présentent généralement l'avantage :

- d'une part de pouvoir approcher plus fidèlement que ne le font les essais en laboratoire certains facteurs d'influence (ex : granulométrie, épaisseurs des couches, compacité) ;
- d'autre part de pouvoir en contrôler d'autres (ex : régime hydrique, taux d'infiltration) sans être dépendant d'une exposition imposée comme cela est généralement le cas pour un plot expérimental.

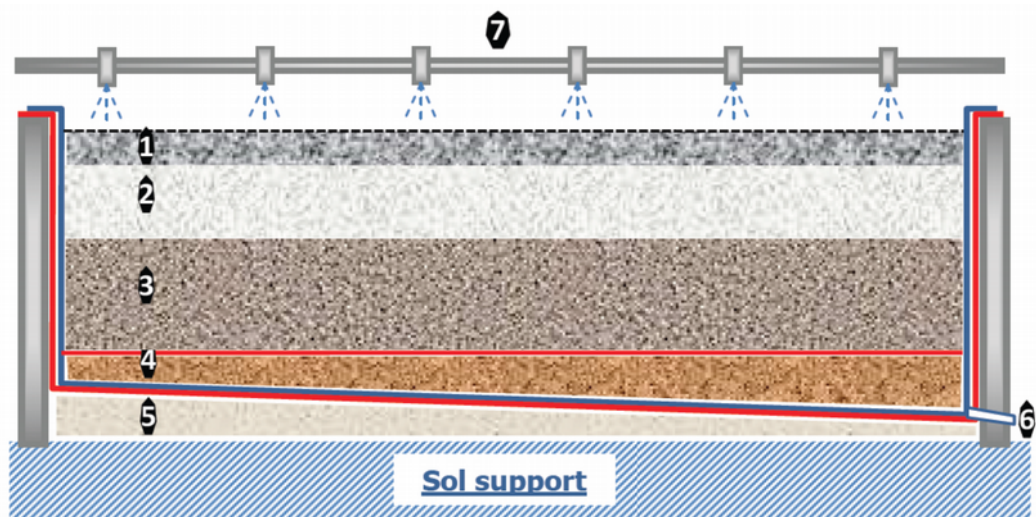
Dans le cas où le matériau routier étudié n'est pas composé exclusivement d'un seul matériau alternatif, l'essai lysimétrique mené sur le matériau routier ne permet pas de valider l'acceptabilité environnementale du ou des matériaux alternatifs entrant dans sa composition.

## 1.2. Principes généraux

Une planche d'essai lysimétrique est un ouvrage de taille réduite (4 à 10 m<sup>2</sup>) au sein duquel le matériau routier est mis en œuvre dans des conditions représentatives de l'usage routier étudié (épaisseurs et nature des couches supérieures y compris couche de roulement, compacité, etc.) et soumis à des conditions d'exposition contrôlées permettant de reproduire des conditions extérieures prédéfinies (ex : météorologie, aléas) ou des qualités de pluie spécifiques à certains scénarios (ex : pluies acides). Elle est équipée afin de collecter les eaux qui ont percolé à travers la structure ainsi que les eaux de ruissellement, de manière séparée.

Une planche d'essai lysimétrique témoin est également mise en œuvre. Elle reproduit la même structure mais utilise, en lieu et place du matériau routier testé, un matériau naturel pris comme référence, de préférence siliceux (relargage faible). Elle permet de valider le fonctionnement de la planche d'essai lysimétrique intégrant le matériau routier testé et, éventuellement, de relativiser certains résultats (ex : pic de relargage imputable à un aléa climatique).

La mise en place de sondes spécifiques peut également être réalisée pour le suivi de paramètres particuliers (ex : humidité, teneur en eau) ou pour échantillonner l'intérieur de l'ouvrage (ex : à des fins de caractérisation de l'eau interstitielle ou de validation de certaines hypothèses de la modélisation prédictive éventuellement réalisée).





	Membrane étanche		membrane anti-poinçonnement
①	Couche de roulement	⑤	Renformis donnant la pente
②	Couche de base	⑥	Eaux de percolation
③	Couche de fondation ( <u>matériau testé</u> )	⑦	Système d'arrosage
④	Couche drainante		

Illustration 1: Planche lysimétrique ( source INSAVALOR/PROVADEMSE)

### 1.3. Conception

La conception et la réalisation d'une planche d'essai lysimétrique doit suivre impérativement les recommandations minimales suivantes :

a. La surface du lysimètre doit être suffisante pour obtenir un volume d'eau analysable compte tenu des périodicités de collecte conseillées au paragraphe 1.4.3.b. Dans tous les cas, la surface minimale d'un lysimètre ne peut être inférieure à 4 m<sup>2</sup>.

b. Le lysimètre, s'il est situé à l'extérieur, doit être positionné hors-sol afin d'éviter tout apport d'eau latéral. Les conditions d'exposition doivent être conformes aux conditions d'exposition visées pour les ouvrages routiers concernés (pluviométrie, température, etc.). Dans tous les cas, le lysimètre doit être réalisé de manière à ce que la sortie des eaux de percolation au niveau du point bas soit accessible pour, d'une part pouvoir constater l'étanchéité globale du système, et pour d'autre part pouvoir mettre en place les dispositifs de collecte des percolats.

c. Le lysimètre doit reposer sur un sol support dont la portance mesurée à l'essai de plaque est supérieure à 50 MPa.

d. Le lysimètre doit être étanché en fond sur l'ensemble de sa surface à l'aide d'une géomembrane d'une épaisseur minimale de 1 mm, associée à une protection anti-poinçonnement (au-dessus et en dessous de la géomembrane), dont les caractéristiques physico-chimiques ne sont pas de nature à introduire un biais dans les résultats ou des difficultés d'interprétation. Le dispositif d'étanchéité doit être vérifié préalablement à la mise en œuvre des matériaux.

e. La surface étanchée doit présenter en tout point une pente minimale de 2 %.

f. Une couche drainante est mise en œuvre sur l'ensemble de la surface du lysimètre à l'aide d'un granulat de préférence siliceux roulé et lavé. Le matériau drainant ne doit pas présenter de caractéristique (composition, minéralogie) pouvant introduire un biais dans les résultats ou des

difficultés d'interprétation. Il doit donc être sélectionné avec soin en évitant les zones d'anomalie géologique et la présence de composés de type chaux, magnésie, dolomie et sulfures doit être évitée.

g. Le dispositif de collecte des eaux doit permettre de recueillir les eaux de percolation distinctement des eaux de ruissellement et de comptabiliser les volumes associés. Il doit être réalisé de manière à permettre d'effectuer des prélèvements sur les eaux de percolation avant leur arrivée dans le dispositif de stockage.

h. Le dispositif de stockage des eaux de percolation est dimensionné afin de prévenir tout risque de débordement compte tenu des périodicités de collecte conseillées au paragraphe 1.4.3.b. Il doit être réalisé de manière à permettre d'effectuer des prélèvements sur les eaux de percolation stockées depuis la dernière vidange puis d'être vidangé intégralement.

i. Les matériaux constitutifs du dispositif de collecte et de stockage des eaux ou, le cas échéant, leurs revêtements doivent être compatibles avec les analyses pratiquées sur les percolats (cf. prescriptions de la norme NF EN ISO 5667-3 [3]).

j. Le matériau routier testé ainsi que les autres matériaux constitutifs de l'ouvrage sont mis en œuvre au sein du lysimètre dans des conditions représentatives de celles relatives au type d'ouvrage routier envisagé (positions, épaisseurs, objectifs de compactage). Les matériaux mis en œuvre pour compléter la structure routière ne doivent pas présenter de caractéristique (composition, minéralogie) pouvant introduire un biais dans les résultats ou des difficultés d'interprétation. Ils doivent donc être sélectionnés avec soin en évitant les zones d'anomalie géologique et la présence de composés de type chaux, magnésie, dolomie et sulfures doit être évitée.

Les différentes couches de chaussée ne sont en général pas pentées afin de limiter les accumulations d'eau contre les parois du lysimètre et les effets de bords que cela induit.

Les épaisseurs et perméabilités des différentes couches de matériaux doivent être choisies de manière à reproduire la structure d'ouvrage la plus défavorable pour l'étude du comportement à la lixiviation du matériau routier testé.

En particulier, pour ce qui concerne le matériau routier testé, l'épaisseur à mettre en œuvre doit être l'épaisseur maximale prévue pour l'usage routier envisagé, les épaisseurs des couches des autres matériaux constituant la structure étant choisies en conséquence. Toutefois, si cette épaisseur maximale est supérieure à 1 mètre, il est toléré de limiter la mise en œuvre à une épaisseur de 1 mètre, toutes les autres caractéristiques de mise en œuvre étant égales par ailleurs, sous réserve de justifier une règle d'extrapolation des résultats.

k. Dans le cas d'un usage en sous-couche de chaussée ou d'accotement revêtu, le revêtement est réalisé à l'aide d'un enrobé hydrocarboné à chaud dont le pourcentage de vides moyen est supérieur à 90 % de la valeur haute de la fourchette spécifiée par la norme NF P 98-150-1[4]. Le pourcentage de vides est validé par une épreuve de convenance et contrôlé en trois points après mise en œuvre.

l. Le matériau de la couche drainante, le matériau routier testé ainsi que les autres matériaux constitutifs de l'ouvrage doivent *a minima* faire l'objet d'une caractérisation environnementale de niveau 2 (cf. paragraphe 2.3.6 du guide méthodologique), sachant que la réalisation des essais en triplicat n'est toutefois exigée que pour le matériau routier testé. Les échantillons caractéristiques sont constitués lors de la mise en œuvre des matériaux.

m. Tous les matériaux constitutifs de l'ouvrage doivent être au préalable pesés et leur teneur en eau mesurées.

n. Dans le cas d'un lysimètre extérieur soumis aux aléas climatiques, un dispositif de suivi de la pluviométrie doit être installé à proximité immédiate.

Une planche d'essai lysimétrique témoin est réalisée en suivant les mêmes recommandations que pour la planche d'essai lysimétrique expérimentale, le matériau routier testé étant simplement remplacé par un matériau naturel usuel de caractéristiques mécaniques et géotechniques similaires. Dans la mesure du possible, ce matériau naturel ne doit pas présenter de caractéris-

tique (composition, minéralogie) pouvant introduire un biais dans les résultats ou des difficultés d'interprétation. Il doit donc être sélectionné avec soin en évitant les zones d'anomalie géologique et la présence de composés de type chaux, magnésie, dolomie et sulfures doit être évitée. Ce matériau fera l'objet, comme le matériau routier testé, d'une caractérisation environnementale de niveau 2 (cf. paragraphe 2.3.6 du guide méthodologique) menée sur un échantillon caractéristique constitué lors de sa mise en œuvre.

## 1.4. Suivi environnemental

Dans le cas d'un lysimètre extérieur soumis aux aléas climatiques, le suivi environnemental est similaire à celui d'un plot expérimental (cf. section 2.4).

### 1.4.1 Conditions d'exposition

Le suivi d'une planche d'essai lysimétrique laisse généralement la possibilité de contrôler certaines conditions d'exposition, en particulier l'exposition à l'eau, que ce soit la pluviométrie ou l'immersion (temporaire ou permanente) de l'ouvrage.

Pour ce qui concerne la simulation des pluies, il est préconisé d'opter pour une pluie continue de douze heures par semaine, dont l'intensité est réglée de manière à obtenir une pluie efficace sensiblement égale à :

- 100 mm/an dans le cas d'un usage revêtu ;
- 300 mm/an dans le cas d'un usage recouvert.

Même si elles peuvent être dans certains cas contrôlées, les conditions d'exposition, normales et exceptionnelles, susceptibles d'influencer le comportement environnemental de la planche d'essai lysimétrique expérimentale et de celle témoin doivent être suivies de manière régulière. En particulier, il convient de suivre :

- la pluviométrie imposée ;
- les taux d'infiltration dans l'ouvrage ;
- les niveaux d'eau dans les dispositifs de stockage afin de prévenir tout débordement ;
- les éventuelles zones de gonflements, d'affaissement ou de fissuration.

Sous réserve de justifier l'absence de biais dans les résultats obtenus, il est possible de doubler l'intensité de la pluviométrie afin de permettre la simulation d'une pluie annuelle en six mois.

### 1.4.2 Paramètre à suivre

Les paramètres à suivre sont *a minima* ceux listés dans le tableau 6 de l'annexe 4 du guide méthodologique.

À ces paramètres génériques sont ajoutés les paramètres spécifiques au matériau routier étudié et dont la prise en compte est nécessaire à l'évaluation de son acceptabilité en technique routière. Pour chacun des paramètres spécifiques ajoutés, choisi sur la base d'une caractérisation exhaustive et précise du ou des matériau(x) alternatif(s) composant le matériau routier, notamment en éléments traces métalliques, il convient de proposer les valeurs limites associées afin de compléter le tableau du paragraphe 3.2.1. Le choix des paramètres et des valeurs limites doit obtenir la validation du ministère en charge du développement durable.

### 1.4.3 Prélèvements et échantillonnage

Le suivi de toute planche d'essai lysimétrique, expérimentale ou témoin, doit tenir compte des recommandations minimales suivantes :

a. Afin d'établir le bilan hydrique, le volume d'eau ayant percolé doit être récupéré à la base des lysimètres et quantifié à chaque prélèvement. Il est impératif de s'assurer que le dispositif de stockage des eaux ne déborde pas et donc de venir s'en assurer fréquemment.

b. Les prélèvements d'eau de percolation doivent être effectués fréquemment, de préférence après la simulation d'un événement pluvieux. Il est conseillé d'observer une fréquence minimale de prélèvement hebdomadaire pendant les trois premiers mois qui suivent l'apparition des premiers percolats, bimensuelle durant les trois mois suivants, puis mensuelle jusqu'à la fin du

suivi. Cette fréquence doit être doublée dans le cas de la simulation accélérée d'une pluviométrie annuelle en six mois.

c. Des prélèvements ponctuels peuvent être effectués pour connaître à un instant donné, la qualité des eaux « en équilibre » avec la structure.

d. La quantité de percolat de la cuve de stockage doit être mesurée (en volume ou en masse) lors de chaque prélèvement et le rapport « fraction de percolat prélevée pour analyse / fraction totale de percolat » doit être calculé et reporté. Les dates des prélèvements doivent être soigneusement renseignées. Le rejet direct des percolats dans le milieu naturel est interdit.

e. Lors de chaque prélèvement, le pH, la température, la conductivité et le potentiel d'oxydo-réduction sont mesurés immédiatement en s'affranchissant le mieux possible de l'oxygénation et de la carbonatation du percolat. La mesure de ces paramètres doit respecter les normes NF T90-008 [5] et NF EN 27888 [6].

f. L'échantillon de percolat prélevé peut utilement être divisé en trois sous-échantillons. Deux sous-échantillons sont alors filtrés avec des filtres de cellulose pour l'analyse des éléments inorganiques :

- le sous-échantillon destiné à l'analyse des cations est acidifié à pH=2 ;
- le sous-échantillon destiné à la mesure des anions ne l'est pas ;
- le troisième sous-échantillon n'est pas filtré et peut être congelé pour la réalisation d'essais complémentaires ultérieurs ou la constitution d'une banque d'échantillons.

Le volume des échantillons de percolat collectés doit être suffisant pour la réalisation des analyses chimiques envisagées. La collecte et la préservation des échantillons doivent être effectuées en conformité avec la norme NF EN ISO 5667-3 [3].

g. Les modes d'échantillonnage, de conservation, de préparation et de transport des percolats aux fins d'analyse doivent être renseignés.

h. Une analyse de l'eau servant à simuler la pluie est réalisée au début du suivi. Le pH, la température, la conductivité et le potentiel d'oxydo-réduction sont mesurés immédiatement. Pour les analyses chimiques, trois sous-échantillons peuvent être réalisés selon le même protocole que pour l'analyse des percolats.

i. La réalisation de carottage des matériaux de la structure en fin, voire en cours de suivi de la planche d'essai lysimétrique, est conseillée pour mieux comprendre et valider les hypothèses, de comportement et de relargage émises à partir des données de suivi des émissions (suivi de la porosité et/ou de la perméabilité de la structure, de l'évolution minéralogique du matériau, etc.). Cette opération de prélèvement doit être prévue dès la conception de la planche d'essai lysimétrique. La périodicité du carottage doit être déterminée en fonction des évolutions attendues du matériau. Les zones de carottage doivent être comblées par un matériau chimiquement inerte vis-à-vis des composés recherchés. À défaut de carottage en cours de suivi, des prélèvements peuvent être faits au terme de l'expérimentation.

#### 1.4.4 Durée minimale de suivi

Le suivi d'une planche d'essai lysimétrique, expérimentale ou témoin, ne peut être arrêté avant un an à compter de l'apparition des premiers percolats et avant d'atteindre un ratio L/S=0,1 l/kg, où L est le volume d'eau ayant percolé à travers l'ouvrage et S la masse sèche de matériau routier.

Dans le cas de la simulation accélérée d'une pluviométrie annuelle en six mois, la durée de suivi peut être réduite à un semestre sous réserve d'atteindre un ratio L/S = 0,1 l/kg.



## 2. Les plots expérimentaux

### 2.1. Objectifs

L'objectif d'un plot expérimental (coupe transversale type en illustration 2) est de simuler le relargage d'un matériau routier tout en s'affranchissant de l'effet d'échelle qui peut être occasionné lors de la réalisation d'essais à des échelles plus petites (essai de lixiviation, de percolation ou lysimétrique).

Un plot expérimental permet, en outre, d'assurer un suivi mécanique et géotechnique de la structure de l'ouvrage et ainsi de valider les études de laboratoire correspondantes. La description du suivi mécanique et géotechnique (nature, essais, fréquence) sera réalisée conformément aux spécifications et normes en vigueur. Elle n'est pas traitée dans cette note d'information qui aborde uniquement la description du suivi environnemental.

Dans le cas où le matériau routier étudié n'est pas composé exclusivement d'un seul matériau alternatif, l'étude de son relargage au sein du plot expérimental ne permet pas de valider l'acceptabilité environnementale du ou des matériaux alternatifs entrant dans sa composition.

### 2.2. Principes généraux

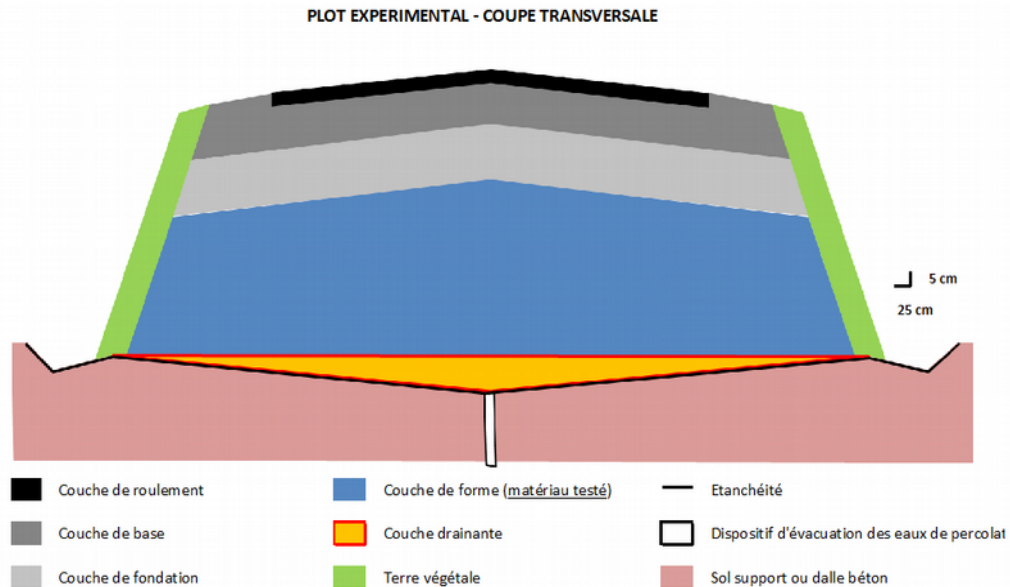
Un plot expérimental est un ouvrage à l'échelle 1/1 au sein duquel le matériau routier est mis en œuvre dans des conditions représentatives de l'usage routier étudié (épaisseurs et nature des couches y compris couche de roulement, compacité, pentes, etc.). Il est équipé afin de collecter les eaux qui ont percolé à travers la structure ainsi que les eaux de ruissellement, de manière séparée.

Un plot expérimental est soumis aux conditions d'exposition réelles locales (météorologie, aléas, trafic, etc.). Ces conditions doivent faire l'objet d'un suivi.

Un plot témoin est également mis en œuvre. Il reproduit la même structure mais utilise, en lieu et place du matériau routier testé, un matériau naturel pris comme référence, de préférence siliceux (relargage faible). Il permet de valider le fonctionnement du plot expérimental et, éventuellement, de relativiser certains résultats (ex : pic de relargage imputable à un aléa climatique ou à une émission imputable au trafic).

La mise en place de sondes spécifiques peut également être réalisée pour le suivi de paramètres particuliers (ex : humidité, teneur en eau).

Une coupe transversale type d'un plot expérimental est fournie en annexe 2.



*Illustration 2: Plot expérimental (source : Cerema)*

### 2.3. Conception

La conception et la réalisation de tout plot expérimental doit suivre impérativement les recommandations minimales suivantes :

a. La surface du plot expérimental doit être suffisante pour obtenir un volume d'eau analysable compte tenu des périodicités de collecte conseillées au paragraphe 2.4.3.b. Dans tous les cas, la surface minimale d'un plot expérimental ne peut être inférieure à :

- 100 m<sup>2</sup> dans le cas où l'usage routier envisagé est un usage en sous-couche de chaussée ou d'accotement, revêtus<sup>1</sup> : remblai sous ouvrage, couche de forme, couche de fondation, couche de base, et couche de liaison ;
- 40 m<sup>2</sup> dans le cas où l'usage routier envisagé est un usage en remblai technique connexe à l'infrastructure routière (ex : protection phonique) ou en accotement, dès lors qu'il s'agit d'un usage recouvert<sup>2</sup>.

b. Le plot expérimental est positionné dans les zones de point haut du profil en long de l'ouvrage routier afin d'éviter tout apport d'eau longitudinal, et réalisé en surélévation ou bordé de fossés latéraux afin de prévenir tout apport d'eau latéral. Dans tous les cas, le plot expérimental doit être réalisé de manière à ce que la côte altimétrique de la surface étanchée soit supérieure de plus de 50 cm à celle des plus hautes eaux cinquantennales ou, à défaut, des plus hautes eaux connues.

c. Le plot expérimental doit reposer sur un sol support dont la portance respecte une des conditions suivantes :

- le module à l'essai de plaque est supérieur à 50 MPa ;
- la déflexion à l'essieu de 13t est inférieure à 200 centièmes de millimètre.

d. Le plot expérimental doit être étanché en fond sur l'ensemble de sa surface à l'aide, soit d'une géomembrane en PEHD d'une épaisseur minimale de 2 mm associée à une protection anti-poinçonnement (au-dessus et en dessous de la géomembrane), soit de tout autre dispositif d'étanchéité équivalent dont les caractéristiques physico-chimiques ne sont pas de nature à

1 Revêtus d'une couche de surface réputée imperméable (asphalte, enrobés bitumineux, enduits superficiels d'usure, béton de ciment, pavés jointoyés à l'aide d'un matériau lié) et présentant une pente minimum de 1%.

2 Recouverts par au moins 30 cm de matériaux naturels (dont terre végétale), avec une pente minimum de 5% sur le dessus de cette couverture, afin de limiter l'infiltration de l'eau.

introduire un biais dans les résultats ou des difficultés d'interprétation. Le dispositif d'étanchéité doit être vérifié préalablement à la mise en œuvre des matériaux.

e. La surface étanchée doit présenter en tout point une pente minimale de 4 %. Cette pente peut être réduite à 2 % si le support est une dalle en béton.

f. Une couche drainante est mise en œuvre sur l'ensemble de la surface du plot à l'aide d'un granulats de préférence siliceux roulé et lavé. Le matériau drainant ne doit pas présenter de caractéristique (composition, minéralogie) pouvant introduire un biais dans les résultats ou des difficultés d'interprétation. Il doit donc être sélectionné avec soin en évitant les zones d'anomalie géologique et la présence de composés de type chaux, magnésie, dolomie et sulfures doit être évitée.

g. Le dispositif de collecte des eaux doit permettre de recueillir les eaux de percolation distinctement des eaux de ruissellement et de comptabiliser les volumes associés. Il doit être réalisé de manière à permettre d'effectuer des prélèvements sur les eaux de percolation avant leur arrivée dans le dispositif de stockage.

h. Le dispositif de stockage des eaux de percolation est dimensionné afin de prévenir tout risque de débordement compte tenu des périodicités de collecte conseillées au paragraphe 2.4.3.b. Il doit être réalisé de manière à permettre d'effectuer des prélèvements sur les eaux de percolation stockées depuis la dernière vidange puis d'être vidangé intégralement.

i. Les matériaux constitutifs du dispositif de collecte et de stockage des eaux ou, le cas échéant, leurs revêtements doivent être compatibles avec les analyses pratiquées sur les percolats (cf. prescriptions de la norme NF EN ISO 5667-3 [3]).

j. Le matériau routier testé ainsi que les autres matériaux constitutifs de l'ouvrage sont mis en œuvre au sein du plot expérimental dans des conditions représentatives de celles relatives au type d'ouvrage routier envisagé (positions, pentes, épaisseurs, objectifs de compactage). Les matériaux mis en œuvre pour compléter la structure routière ne doivent pas présenter de caractéristique (composition, minéralogie) pouvant introduire un biais dans les résultats ou des difficultés d'interprétation. Ils doivent donc être sélectionnés avec soin en évitant les zones d'anomalie géologique et la présence de composés de type chaux, magnésie, dolomie et sulfures doit être évitée.

Les épaisseurs et perméabilités des différentes couches de matériaux doivent être choisies de manière à reproduire la structure d'ouvrage la plus défavorable pour l'étude du comportement à la lixiviation du matériau routier testé.

En particulier, pour ce qui concerne le matériau routier testé, l'épaisseur à mettre en œuvre doit être l'épaisseur maximale prévue pour l'usage routier envisagé, les épaisseurs des couches des autres matériaux constituant la structure étant choisies en conséquence. Toutefois, si cette épaisseur maximale est supérieure à 2 mètres, il est toléré de limiter la mise en œuvre à une épaisseur de 2 mètres, toutes les autres caractéristiques de mise en œuvre étant égales par ailleurs, sous réserve de justifier une règle d'extrapolation des résultats.

k. Dans le cas d'un usage en sous-couche de chaussée ou d'accotement revêtu, le revêtement est réalisé à l'aide d'un enrobé hydrocarboné à chaud dont le pourcentage de vides moyen est supérieur à 90 % de la valeur haute de la fourchette spécifiée par la norme NF P 98-150-1 [4]. Le pourcentage de vides est validé par une épreuve de convenance et contrôlé en trois points après mise en œuvre.

l. Le matériau de la couche drainante, le matériau routier testé ainsi que les autres matériaux constitutifs de l'ouvrage doivent *a minima* faire l'objet d'une caractérisation environnementale de niveau 2 (cf. paragraphe 2.3.6 du guide méthodologique), sachant que la réalisation des essais en triplicat n'est toutefois exigée que pour le matériau routier testé. Les échantillons caractéristiques sont constitués lors de la mise en œuvre des matériaux.

m. Tous les matériaux constitutifs de l'ouvrage doivent être au préalable pesés et leur teneur en eau mesurées.

n. Un dispositif de suivi de la pluviométrie doit être installé à proximité immédiate de l'ouvrage.

Un plot témoin est réalisé en suivant les mêmes recommandations que pour le plot expérimental, le matériau routier testé étant simplement remplacé par un matériau naturel usuel de caractéristiques mécaniques et géotechniques similaires. Dans la mesure du possible, ce matériau naturel ne doit pas présenter de caractéristique (composition, minéralogie) pouvant introduire un biais dans les résultats ou des difficultés d'interprétation. Il doit donc être sélectionné avec soin en évitant les zones d'anomalie géologique et la présence de composés de type chaux, magnésie, dolomie et sulfures doit être évitée. Ce matériau fera l'objet, comme le matériau routier testé, d'une caractérisation environnementale de niveau 2 (cf. paragraphe 2.3.6 du guide méthodologique) menée sur un échantillon caractéristique constitué lors de sa mise en œuvre.

## 2.4. Suivi environnemental

### 2.4.1 Conditions d'exposition

Les conditions d'exposition, normales et exceptionnelles, susceptibles d'influencer le comportement environnemental du plot expérimental et du plot témoin doivent être suivies de manière régulière. En particulier, il convient de suivre :

- la pluviométrie, dans le but de déterminer les taux d'infiltration dans l'ouvrage ;
- les niveaux d'eau dans les dispositifs de stockage afin de prévenir tout débordement ;
- les périodes de gel/dégel ;
- la qualité chimique des eaux de pluie ;
- les niveaux de trafic ;
- les événements d'entretien saisonnier (salage, etc.) ;
- les éventuelles zones de gonflements, d'affaissement ou de fissuration.

### 2.4.2 Paramètres à suivre

Les paramètres à suivre sont *a minima* ceux listés dans le tableau 6 de l'annexe 4 du guide méthodologique.

À ces paramètres génériques sont ajoutés les paramètres spécifiques au matériau routier étudié et dont la prise en compte est nécessaire à l'évaluation de son acceptabilité en technique routière. Pour chacun des paramètres spécifiques ajoutés, choisi sur la base d'une caractérisation exhaustive et précise du ou des matériau(x) alternatif(s) composant le matériau routier, notamment en éléments traces métalliques, il convient de proposer les valeurs limites associées afin de compléter le tableau du paragraphe 3.2.1. Le choix des paramètres et des valeurs limites doit obtenir la validation du ministère en charge du développement durable.

### 2.4.3 Prélèvements et échantillonnage

Le suivi de tout plot, expérimental ou témoin, doit tenir compte des recommandations minimales suivantes :

- a. Afin d'établir le bilan hydrique, le volume d'eau ayant percolé doit être récupéré à la base des plots et quantifié à chaque prélèvement. Il est impératif de s'assurer que le dispositif de stockage des eaux ne déborde pas et donc de venir s'en assurer fréquemment.
- b. Les prélèvements d'eau de percolation doivent être effectués fréquemment, de préférence après un événement pluvieux. Il est conseillé d'observer une fréquence minimale de prélèvement hebdomadaire pendant les trois premiers mois qui suivent l'apparition des premiers percolats, bimensuelle durant les trois mois suivants, puis mensuelle jusqu'à la fin du suivi.
- c. Des prélèvements ponctuels peuvent être effectués en particulier pendant un épisode pluvieux pour connaître à un instant donné, la qualité des eaux « en équilibre » avec la structure.
- d. La quantité de percolat de la cuve de stockage doit être mesurée (en volume ou en masse) lors de chaque prélèvement et le rapport « fraction de percolat prélevée pour analyse / fraction totale de percolat » doit être calculé et reporté. Les dates des prélèvements doivent être soigneusement renseignées. Le rejet direct des percolats dans le milieu naturel est interdit.

e. Lors de chaque prélèvement, le pH, la température, la conductivité et le potentiel d'oxydo-réduction sont mesurés directement sur site en s'affranchissant le mieux possible de l'oxygénation et de la carbonatation du percolat. La mesure de ces paramètres doit respecter les normes NF T90-008 [5] et NF EN 27888 [6].

f. L'échantillon de percolat prélevé peut utilement être divisé en trois sous-échantillons. Deux sous-échantillons sont alors filtrés avec des filtres de cellulose pour l'analyse des éléments inorganiques.

- le sous-échantillon destiné à l'analyse des cations est acidifié à pH=2 ;
- le sous-échantillon destiné à la mesure des anions ne l'est pas ;
- le troisième sous-échantillon n'est pas filtré et peut être congelé pour la réalisation d'essais complémentaires ultérieurs ou la constitution d'une banque d'échantillons.

Le volume des échantillons de percolat collectés doit être suffisant pour la réalisation des analyses chimiques envisagées. La collecte et la préservation des échantillons doivent être effectuées en conformité avec la norme NF EN ISO 5667-3 [3].

g. Les modes d'échantillonnage, de conservation, de préparation et de transport des percolats aux fins d'analyse doivent être renseignés.

h. Un échantillon de pluie de volume suffisant est récupéré à chaque saison, soit quatre échantillons par an. Le pH, la température, la conductivité et le potentiel d'oxydo-réduction sont mesurés directement sur le site. Pour les analyses chimiques, trois sous-échantillons peuvent être réalisés selon le même protocole que pour l'analyse des percolats.

i. La réalisation de carottage des matériaux de la structure en fin, voire en cours de suivi du plot expérimental est conseillée pour mieux comprendre et valider les hypothèses, de comportement et de relargage, émises à partir des données de suivi des émissions (suivi de la porosité et/ou de la perméabilité de la structure, évolution minéralogique du matériau, etc.). Cette opération de prélèvement doit être prévue dès la conception du plot expérimental. La périodicité du carottage doit être déterminée en fonction des évolutions attendues du matériau. À défaut de carottage en cours de suivi, des prélèvements peuvent être faits au terme de l'expérimentation. Les zones de carottage doivent être comblées par un matériau chimiquement inerte vis-à-vis des composés recherchés et sans dommage pour le suivi mécanique et géotechnique.

#### **2.4.4 Durée minimale de suivi**

Le suivi des plots, expérimental et témoin, ne peut être arrêté avant un an à compter de l'apparition des premiers percolats et avant d'atteindre un ratio  $L/S=0,1$  l/kg, où L est le volume d'eau ayant percolé à travers l'ouvrage et S la masse sèche de matériau routier.

### 3. Présentation et exploitation des résultats

La présentation et l'exploitation des résultats, qu'ils soient issus du suivi d'une planche d'essai lysimétrique ou d'un plot expérimental, doivent suivre impérativement les recommandations minimales énoncées ci-après.

Les résultats issus de la planche d'essai lysimétrique témoin ou du plot témoin sont présentés et exploités de la même manière que ceux de la planche d'essai lysimétrique ou du plot expérimental.

#### 3.1. Présentation des résultats

##### 3.1.1 Description du dispositif expérimental

La description du dispositif expérimental repose sur la fourniture des informations suivantes :

a. Une vue en plan, une coupe longitudinale, ainsi qu'une coupe transversale du lysimètre ou du plot expérimental, à une échelle adaptée, précisant la nature et la localisation :

- des différentes couches de matériaux, avec la précision des pentes ;
- du système d'étanchéité avec la précision des pentes ;
- de la couche drainante ;
- du dispositif de collecte des eaux de ruissellement et de percolation ;
- du dispositif de stockage des eaux de percolation ;
- du dispositif de suivi de la pluviométrie pour les plots et lysimètres extérieurs.

b. La fiche de contrôle de la portance du sol support.

c. La fiche de contrôle de l'étanchéité.

d. La fiche technique produit (FTP) des matériaux de la couche drainante, y compris les résultats de la caractérisation environnementale de niveau 2.

e. La fiche technique produit (FTP) du matériau routier testé, sa masse et sa teneur en eau ainsi que les résultats de la caractérisation environnementale de niveau 2 incluant le positionnement du lot utilisé par rapport à la variabilité du gisement.

f. Les fiches techniques produit (FTP) des autres matériaux constitutifs de l'ouvrage, leurs masses et leurs teneurs en eau respectives ainsi que les résultats de la caractérisation environnementale de niveau 2.

g. Le cas échéant, les résultats de l'épreuve de convenance et la fiche de contrôle du pourcentage de vides de l'enrobé hydrocarboné à chaud utilisé comme revêtement.

h. Les caractéristiques de mise en œuvre du matériau routier et des autres matériaux constitutifs de l'ouvrage (date de début et de fin de mise en œuvre, conditions météorologiques, énergie de compactage appliquée, éventuelles difficultés rencontrées et solutions apportées, etc.) ainsi que les résultats des contrôles d'exécution menés.

i. Le cas échéant, la note justifiant la règle d'extrapolation utilisée au paragraphe 1.3.j ou au paragraphe 2.3.j.

Dans le cas d'un plot expérimental, ces informations sont complétées par un mémoire précisant en particulier :

- l'année de sa réalisation ;
- sa localisation (département, commune, voie, PR, altitude, etc.) ;
- les caractéristiques géométriques de la voie au droit du plot (vue en plan, profil en long et profil en travers) ;
- la classe de trafic au droit du plot ;
- les coordonnées du gestionnaire de la voie, des entreprises ayant réalisé les travaux et des laboratoires ayant effectué les contrôles.

### 3.1.2 Description du suivi environnemental

La description du suivi est effectuée en tenant comptes des exigences mentionnées aux sections I.4 et II.4 de la présente note d'information.

### 3.1.3 Résultats du suivi environnemental

Les résultats du suivi environnemental à fournir sont les suivants :

a. Les conditions d'exposition observées durant la période de suivi : la pluviométrie, les dates des périodes de gel, les dates des événements d'entretien saisonnier (salage, etc.), le cas échéant les niveaux de trafic mesurés, etc. ;

b. le bilan hydrique qui comprend la détermination de :

- La quantité surfacique d'eau cumulée ( $l/m^2$ ) ayant percolée à travers les lysimètres ou les plots en fonction du temps, ainsi qu'en fonction du ratio L/S. Le ratio L/S ( $l/kg$ ) correspond au rapport entre la quantité totale L de percolats recueillie sur la surface de collecte à un instant t et la masse sèche S de matériau routier testé mis en œuvre sur la surface de collecte des percolats.
- La quantité surfacique d'eau cumulée ( $l/m^2$ ) ayant ruisselée sur les planches d'essai lysimétrique ou les plots en fonction du temps, ainsi qu'en fonction du ratio L/S.

c. Les caractéristiques mesurées au cours du suivi environnemental qui comprennent :

- les concentrations ( $mg/l$ ) des éléments chimiques, dosés à l'issue de chaque prélèvement, en fonction du temps, ainsi qu'en fonction du ratio L/S ;
- les quantités surfaciques relarguées cumulées ( $mg/m^2$ ) des éléments chimiques, dosés à l'issue de chaque prélèvement, en fonction du temps, ainsi qu'en fonction du ratio L/S.

Lorsqu'une concentration est inférieure à la limite de quantification, il convient, d'une part de reporter la valeur de cette limite de quantification dans le tableau des concentrations précédée du symbole « < », et d'autre part de prendre pour ce paramètre une concentration égale à la moitié de la limite de quantification pour le calcul de la quantité surfacique relarguée cumulée.

Les valeurs des paramètres pH, température, conductivité et potentiel redox, mesurées à l'issue de chaque prélèvement, sont reportées dans les mêmes tableaux.

## 3.2. Exploitation des résultats

L'acceptabilité environnementale du matériau routier testé est évaluée suivant deux critères complémentaires :

1. Le premier critère s'attache à vérifier l'acceptabilité des émissions globales vis-à-vis des objectifs de qualité des eaux retenus dans le guide méthodologique.
2. Le second critère s'attache à vérifier l'acceptabilité de la concentration des émissions en lien avec les limites fixées par le tableau 5 de l'annexe 3 du guide méthodologique.

### 3.2.1 Acceptabilité des émissions globales

Pour ce qui concerne le premier critère, l'acceptabilité environnementale du matériau routier est validée pour l'usage envisagé et pour des épaisseurs au plus égale à celle effectivement mise en œuvre<sup>3</sup> si, pour chacun des paramètres, la quantité surfacique relarguée cumulée sur la durée du suivi est inférieure ou égale à la valeur limite correspondante du tableau ci-après pour les paramètres génériques et aux valeurs limites proposées pour les paramètres spécifiques.

Paramètre	Quantité surfacique relarguée cumulée	
	Valeur (mg/m <sup>2</sup> )	
As	10	$\times \min \left( d ; \frac{P_{eff}}{P_{réf}} \right)$
Ba	700	
Cd	4	
Cr total	50	
Cu	625	
Hg	1	
Mo	70	
Ni	20	
Pb	10	
Sb	5	
Se	6	
Zn	625	
Fluorure	750	
Chlorure	125 000	
Sulfate	125 000	

**d** est la durée du suivi (an)  
**P<sub>eff</sub>** est la pluie efficace mesurée sur la durée du suivi (mm).  
**P<sub>réf</sub>** est la pluie efficace annuelle de référence qui vaut :

- 100 mm/an dans le cas d'un usage revêtu
- 300 mm/an dans le cas d'un usage recouvert

Tableau 1 : Acceptabilité des émissions globales

3 Ou pour l'épaisseur justifiée par la règle d'exploitation utilisée au paragraphe 1.3.j ou au paragraphe 2.3.j.



### 3.2.2 Concentration des émissions

Pour ce qui concerne le second critère, l'acceptabilité environnementale du matériau routier est validée pour l'usage envisagé et pour des épaisseurs au plus égale à celle effectivement mise en œuvre si, pour chacun des paramètres, la concentration mesurée lors de chaque prélèvement est inférieure ou égale à la valeur limite correspondante du tableau ci-après pour les paramètres génériques et aux valeurs limites proposées pour les paramètres spécifiques.

Paramètre	Concentration maximale
	Valeur (mg/l)
As	0.3
Ba	20
Cd	0.3
Cr total	2.5
Cu	30
Hg	0.03
Mo	3.5
Ni	3
Pb	3
Sb	0.15
Se	0.2
Zn	15
Fluorure	40
Chlorure	8 500
Sulfate	7 000

Tableau 2 : Concentration des émissions

## 4. Bibliographie

- [1] Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière – Évaluation environnementale. Sétra – guide méthodologique, mars 2011, 28p (ISBN : 978-2-11-099173-7).
- [2] NF EN 12 920/A1 : Caractérisation des déchets – Méthodologie pour la détermination du comportement à la lixiviation d'un déchet dans des conditions spécifiées. Afnor,- norme, novembre 2008, 13p.
- [3] NF EN ISO 5667-3 : Qualité des eaux – Échantillonnage – Partie 3 : guide pour la préservation et la manipulation des échantillons. Afnor,- norme, mai 2013, 64p.
- [4] NF P 98-150-1 : Enrobés hydrocarbonés – Exécution des assises de chaussées, couches de liaison et couches de roulement – Partie 1 : enrobés hydrocarbonés à chaud – Constituants, formulation, fabrication, transport, mise en œuvre et contrôle sur chantier. Afnor,- norme, juin 2010, 37p.
- [5] NF T90-008 : Qualité de l'eau – Détermination du pH. Afnor,- norme, février 2001, 6p.
- [6] NF EN 27888 : Qualité de l'eau – Détermination de la conductivité électrique. Afnor,- norme, janvier 1994, 6p.

## 5. Glossaire et abréviations

Lixiviation : Extraction d'une ou plusieurs substances solubles sous l'action d'un solvant.

Matériau alternatif : Tout matériau élaboré à partir d'un déchet et destiné à être utilisé, seul ou en mélange avec d'autres matériaux, alternatifs ou non, au sein d'un matériau routier. Un matériau alternatif est donc un constituant, éventuellement unique, d'un matériau routier.

Matériau routier : Tout matériau alternatif ou mélange d'un matériau alternatif avec d'autres matériaux, alternatifs ou non, répondant à un usage routier. Un matériau routier est donc un matériau apte à quitter une installation d'élaboration pour être mis en œuvre en l'état sur les chantiers routiers.

Essai en triplicat : Essai mené sur 3 prises d'essai d'un même échantillon en respectant des conditions expérimentales identiques.

FTP : fiche technique produit

PEHD : polyéthylène haute densité

pH : potentiel hydrogène

Sétra : Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements

Cette note d'information « Environnement – Santé – Risque » est publiée dans

## la collection « Références » du Cerema

Cette collection regroupe l'ensemble des documents de référence portant sur l'état de l'art dans les domaines d'expertise du Cerema (recommandations méthodologiques, règles techniques, savoirs-faire...), dans une version stabilisée et validée. Destinée à un public de généralistes et de spécialistes, sa rédaction pédagogique et concrète facilite l'appropriation et l'application des recommandations par le professionnel en situation opérationnelle.

Les notes d'information sont destinées à fournir une information rapide sur un sujet donné. Elles font l'état de connaissances, d'études, de réflexion, d'expériences ou de techniques à la date de leur parution, sachant que leur actualité et leur contenu doivent être appréciés en fonction d'évolutions réglementaires ou techniques plus récentes.

Collection

**Connaissances**

ISSN : 2276-0164

ISBN :

978-2-37180-085-4

*Ce document ne peut engager la responsabilité ni de son rédacteur ni du Cerema.*

*Les sociétés citées le cas échéant dans cette série le sont à titre d'exemple d'application jugé nécessaire à la bonne compréhension du texte et à sa mise en pratique.*

© 2015 - Cerema

*La reproduction totale ou partielle du document doit être soumise à l'accord préalable du Cerema.*

### **Rédacteurs :**

Patrick VAILLANT- Cerema / DTerCE (Cete Lyon) ; Laurent EISENLOHR- Cerema / DTerCE (Cete Lyon) ; Laurent CHATEAU - ADEME ; Jacques MÉHU - INSAVALOR / PROVADEMSE ; Emmanuel ERNUS - INSAVALOR / PROVADEMSE ; Mohamed ABDELGHAFOUR - INSAVALOR / PROVADEMSE ; Roger REVALOR - INERIS ; Nor-Edine ABRIAK -École des Mines de Douai,

### **Relecteurs :**

Nies BOUSSIOUF -Cerema / DTecTM ; Julie DUCROS - MEDDE / DGPR

Connaissance et prévention des risques - Développement des infrastructures - Énergie et climat - Gestion du patrimoine d'infrastructures  
Impacts sur la santé - Mobilité et transports - Territoires durables et ressources naturelles - Ville et bâtiments durables

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement – [www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)

Direction technique Infrastructures de transport et matériaux – 110, rue de Paris. 77171 Sourdun – Tél. +33 (0)1 60 52 31 31

Siège social : Cité des mobilités – 25 av. François Mitterrand - CS 92803 - 69674 BRON Cedex - Tél. +33 (0)4 72 14 30 30