

Sciences Eaux & Territoires

La revue d'Irstea

Article hors-série numéro 10

Impact environnemental des pneumatiques déchiquetés utilisés pour la construction d'ouvrages en remblai

Pierre HENNEBERT, Benoit CHARRASSE, Anne BENARD et Stéphane LAMBERT



www.set-revue.fr



Sciences Eaux & Territoires, la revue d'Irstea

Article hors-série numéro 10 – 2013

Directeur de la publication : Jean-Marc Bournigal

Directeur éditorial : Nicolas de Menthière

Comité éditorial : Daniel Arnault, Louis-Joseph Brossollet, Denis Cassard, Camille Cédra, André Évette, Véronique Gouy, Alain Hénaut, Bruno Héroult, Emmanuelle Jannès-Ober, Philippe Jannot, Virginie Keller, Thomas Curt, André Le Bozec, Gwenaél Philippe, Chrystel Prudhomme, Christian Romaneix pour le CINOV TEN et Michel Vallance.

Rédactrice en chef : Caroline Martin

Secrétariat de rédaction et mise en page : Valérie Pagnoux

Infographie : Françoise Peyriguer

Conception de la maquette : CBat

Contact édition et administration : Irstea-DPV

1 rue Pierre-Gilles de Gennes – CS 10030

92761 Antony Cedex

Tél. : 01 40 96 61 21 – Fax : 01 40 96 61 64

E-mail : set-revue@irstea.fr

Numéro paritaire : 0511 B 07860 – Dépôt légal : à parution

N°ISSN : 2109-3016

Photo de couverture : S. Lambert (Irstea)

Pour mieux affirmer ses missions, le Cemagref devient Irstea.



Impact environnemental des pneumatiques déchiquetés utilisés pour la construction d'ouvrages en remblai

Depuis les années 1980, les pneumatiques usagés sont employés comme matériau de construction pour des ouvrages de génie civil et de géotechnique. S'agissant de déchets, leur impact sur l'environnement doit être évalué, au regard de l'application visée et de la réglementation en vigueur. Cet article porte sur l'impact environnemental de pneumatiques usagés déchiquetés, lorsqu'ils sont utilisés en mélange avec du sable, pour la construction d'ouvrages en remblai.



Les pneumatiques ont des propriétés qui leur confèrent un intérêt technique indéniable dans l'ingénierie civile et géotechnique, tout particulièrement dans les travaux publics : durabilité, faible densité, forte porosité, faible sensibilité à l'eau, faible conductivité

thermique. Les premières applications de pneus usagés dans ces domaines sont apparues dans les années 1980, avec notamment le procédé Pneusol consistant à utiliser des pneumatiques entiers, remplis de sol, pour construire des remblais.

Cette démarche de valorisation des pneumatiques s'intègre pleinement dans la politique européenne de gestion des déchets, codifiée dans tous ses aspects dans le Code de l'environnement, et plus précisément en son chapitre relatif à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux (www.legifrance.gouv.fr). Ce texte prévoit notamment que les matériaux recyclés perdent leur statut de déchet dès lors que, pour une application précise, l'absence d'effet nocif pour la santé et l'environnement aura été démontrée (article L. 541-4-3 du Code de l'environnement).

Récemment, l'utilisation de pneumatiques déchiquetés pour la construction de merlons pare-blocs a été proposée (projet ANR Rempare®, encadré 1). Les merlons sont des ouvrages massifs en élévation visant à intercepter la trajectoire de pierres et blocs rocheux, avant atteinte des enjeux tels que route ou habitat. L'originalité réside ici dans l'utilisation de gabions, cages de grillage métallique, que l'on remplit de matériaux dont les propriétés mécaniques sont appropriées à l'emplacement et à la fonction du gabion dans l'ouvrage. La photo 1 montre un ouvrage de ce type, constitué de gabions remplis de pierres pour les parements et d'un mélange de sable et de pneus déchiquetés pour son milieu. L'ouvrage apparaît ainsi être un sandwich composé de cellules gabion.

Ce mélange est constitué à raison de 70 % en masse de sable pour 30 % de pneus. Il constitue un optimum en termes de quantité de pneumatiques réemployés tout en conservant un milieu relativement fermé, pour limiter le risque de propagation du feu. Le sable est considéré comme représentatif d'un sol. Celui utilisé pour cette étude est un sable calcaire, relativement neutre d'un point de vue physico-chimique, présentant une granulométrie étendue de 0 à 2 mm. Les déchiquetés de pneumatiques utilisés résultent d'un procédé produisant majoritairement de gros éléments, pouvant aller jusqu'à 250 mm de long et présentant des barbules de longueurs centimétriques (éléments métalliques dépassant de la matrice). Au-delà de l'objectif de valorisation de déchets, l'intérêt de ce mélange est son potentiel de dissipation de l'énergie apportée lors de l'impact par le bloc rocheux et d'atténuation des efforts transmis dans l'ouvrage.

Assez spontanément, le réemploi de pneumatiques usagés pour la construction d'ouvrages de génie civil, en milieu naturel, soulève la question de leur impact sur l'environnement. Depuis leurs premières utilisations, cette question a été abordée par différents auteurs, s'intéressant à la qualité des eaux souterraines et superficielles notamment à partir de mesures sur site pour des pneumatiques broyés (Edeskär, 2004 ; Edil, 2008). Des composés phénoliques, des oxydes de fer, du plomb, du cuivre, du cadmium, du manganèse et du zinc ont pu être détectés dans les eaux mises en contact avec ces matériaux, avec parfois dépassement des seuils de potabilité imposés par des réglementations locales pour le zinc. Des composés organiques, pour lesquels il n'existe pas de seuil réglementaire, ont également été identifiés dans plusieurs cas, jusqu'à servir de marqueur de pollution de l'environnement. De plus, les mécanismes conduisant à ces pollutions sont fortement dépendants de l'acidité du milieu et des caractéristiques des pneumatiques (origine des pneumatiques, taille des broyés, longueur des barbules en dépassant...).



① Merlon pare-blocs expérimental (a) incorporant en son milieu un mélange de pneus déchiquetés et de sable (b). Projet ANR Rempare.

Ainsi, même si le réemploi de pneumatiques usagés en géotechnique ou génie civil ne pose généralement pas de problème, il apparaît que des contextes chimiques particuliers peuvent conduire au rejet de composés à des niveaux non acceptables. Les tendances résultant de ces travaux de recherche ne peuvent ainsi être directement généralisées à toutes les applications possibles. Des études complémentaires sont souhaitables dès lors qu'une nouvelle application est proposée, comme c'est le cas avec les merlons pare-blocs. D'autant que, tant les techniques et outils de détection des composés que les connaissances relatives à l'impact environnemental de ces composés ont fortement évolué depuis ces études.

Le risque de pollution des eaux résultant de l'utilisation de pneumatiques déchiquetés utilisés pour ces merlons a donc été abordé par des analyses physico-chimiques et des essais écotoxicologiques. Et, dans la mesure où ces ouvrages peuvent être implantés sur versants boisés ou à proximité de zones d'habitation, l'évaluation vise également les résidus d'incendie du mélange pneus déchiquetés-sable. Ce résidu a été obtenu après incendie de 350 kg de mélange sable-pneu sous forme d'andain de 200 cm de long pour 40 cm de haut. L'incendie a été initié à la torchère et s'est progressivement propagé à une vitesse d'environ 4 m par heure. À cette occasion, il a d'ailleurs été confirmé que l'incendie ne se propage pas dans un tel mélange, mais ne concerne qu'une couche superficielle d'environ 5 cm.

Évaluation du risque environnemental

De façon classique, le risque environnemental est étudié en termes d'impact pour les eaux et les écosystèmes à partir d'un terme source, des transferts des émissions vers l'environnement et des effets sur le milieu récepteur, en l'occurrence les eaux souterraines et superficielles. Par terme source, on entend le déchet considéré dans un scénario de réutilisation.

L'application visée relevant de la géotechnique, la démarche d'évaluation environnementale s'appuie sur le guide sur l'acceptabilité des matériaux alternatifs en

technique routière (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010). En fonction du contexte d'utilisation du matériau valorisé, ce guide prévoit la réalisation de différents essais et fixe des valeurs seuils à respecter pour le relargage. Au regard de la nomenclature de ce guide, les merlons pare-blocs peuvent être assimilés à des ouvrages non recouverts connexes à l'infrastructure routière, même si les enjeux protégés peuvent être autres (habitat individuel, voie ferrée...). Dans un souci d'exhaustivité et en vue d'une possible extrapolation à d'autres applications, tous les essais préconisés par ce guide ont été réalisés, en considérant les valeurs seuils correspondantes. Dans le même esprit, la liste des contaminants recherchés a été étendue, en tenant compte de la composition brute des pneumatiques telle que rapportée dans la littérature, ce afin de connaître d'une façon plus complète les éventuelles émissions de ce matériau de construction alternatif. Par contre, l'étape relative à la description du déchet et de son gisement n'a pas été abordée.

Concrètement, pour les différents contextes d'utilisation en technique routière, le guide prévoit d'évaluer le relargage à court terme et moyen terme, respectivement via des essais de lixiviation et de percolation effectués en laboratoire, et dans des conditions proches de l'application. Ces trois essais diffèrent par le temps d'exposition et par les conditions d'extraction. Les liquides collectés (désignés par la suite par « éluat ») sont ensuite soumis à analyses physico-chimiques, après filtration à 0,45 mm.

① LE PROJET REMPARE®

REMPARE® (Re-ingénierie des Merlons de Protection par composants Anthropiques Recyclés) est un projet labélisé par l'Agence nationale de la recherche (ANR) dont l'objectif est d'apporter des réponses opérationnelles pour la conception de merlons de protection contre les chutes de blocs rocheux.

Il vise l'amélioration des méthodes d'ingénierie de ces ouvrages de défense passive en intégrant la valorisation de résidus anthropiques recyclés de type pneumatiques usagés dans un concept dissipatif d'énergie innovant.

En savoir plus sur le site du projet : <http://www.rempare.fr/>

► L'essai de lixiviation consiste à immerger une éprouvette de matériau solide dans de l'eau déminéralisée avec un rapport liquide/solide de 10 l/kg (appelé rapport L/S), sous agitation pendant une durée de 24 heures (AFNOR, 2002). Cet essai a été effectué sur la fraction fine des pneus déchiquetés (< 4 mm). Le choix du pneu déchiqueté sans sable a été motivé par la volonté de généralisation à d'autres cas d'usage de pneus, sachant que le sable calcaire peut avoir un effet minorant sur la libération d'élément, en stabilisant le pH à un niveau proche de la neutralité. L'essai a également été conduit sur le résidu de la calcination du mélange de sable et de pneus déchiquetés, tamisé à 4 mm.

L'essai de percolation consiste à soumettre l'échantillon compacté à un écoulement ascendant d'eau (AFNOR, 2005). Le matériau est disposé dans une colonne de 10 cm de largeur pour 30 cm de hauteur, équipée de filtres dans l'embase et le couvercle. Le débit à travers la colonne est fixé à 48 ml/h. Pour cet essai, 1 kg de la fraction fine des pneus déchiquetés a été utilisé. Cet essai n'a pas été réalisé sur le mélange calciné, il s'est en effet avéré inutile du fait des résultats des analyses après l'essai de lixiviation. Sept fractions d'éluats ont été collectées tout au cours du mois d'essai, pour des rapports L/S croissants. En fin d'essai, le rapport entre le volume total d'eau circulé et la masse de matériau exposé à percolation a atteint 10,02 l/kg (rapport L/S cumulé). Les résultats ont été comparés aux valeurs proposées par le guide pour les remblais recouverts.

L'évaluation du relargage dans des conditions proches du réel, sur une longue période, a été effectuée sur lysimètre. Environ 1 600 kg de mélange de sable et de pneumatiques déchiquetés ont été mis en œuvre dans une cuve en inox et exposés aux précipitations atmosphériques. Sous ce matériau est disposée une couche de gravier siliceux (20-40 mm) de 10 à 15 cm d'épaisseur, recouverte d'un géotextile, permettant de collecter les éluats. Afin de se prémunir des effets de bord, les prélèvements ne concernent que les liquides traversant les matériaux à distance des bords de la cuve, soit une masse de 1 150 kg. Les mesures ont été faites sur une durée de onze mois avec relevé régulier des conditions météorologiques sur le site. Les éluats étaient collectés après chaque événement pluvieux pour un volume cumulé de 626 litres, soit un rapport L/S cumulé de 0,543 l par kg de matière sèche de mélange.

Les échantillons collectés lors des trois essais précédents ont fait l'objet d'analyses physico-chimiques sur deux cents paramètres, dont le pH, la conductivité, les formes du carbone (COT, DBO, DCO), les formes de l'azote (N Kjeldhal, NO₂, NO₃, NH₄), les cations majeurs dont Fe et Mn, les anions majeurs (chlorure, sulfate, fluorures), les métaux lourds (13), et des composés organiques (différentes formes d'hydrocarbure, aromatiques divers, phénols, phtalates, anilines, chloroanilines, chlorobenzènes, chlorophénols, PCB, chloronitrobenzènes, chlorotoluènes, HAP et pesticides).

Dans la mesure où les analyses physico-chimiques ne couvrent pas tous les composés contenus dans les pneus, des analyses écotoxicologiques ont été effectuées pour détecter l'impact éventuel de ces composés. Les liquides

concernés sont ceux collectés lors des essais de lixiviation sur pneumatiques et sur résidus de calcination du mélange, ainsi que ceux collectés lors de l'essai de percolation. La toxicité chronique a été évaluée sur microcrustacés (Daphnies – *Daphnia magna*). La toxicité aiguë a été évaluée sur bactéries luminescentes (Microtox® – *Vibrio fischeri*). L'essai sur *Daphnia magna*, crustacé fréquemment rencontré dans les eaux douces, détermine la concentration du mélange immobilisant 50 % des individus mis en expérimentation pendant 24 heures (AFNOR, 1996). L'essai sur *Vibrio fischeri*, bactérie ubiquiste et bioluminescente des océans, quantifie le taux d'inhibition d'émission de lumière au bout de trente minutes d'exposition (AFNOR, 2009). La toxicité est évaluée d'après la concentration en éluat entraînant une inhibition de 50 % de la luminescence.

Un impact limité pour les pneumatiques...

Les résultats des analyses physico-chimiques menées sur les éluats collectés lors des essais sur pneumatiques et sur mélange sable-pneus sont résumés au tableau 1. Les valeurs concernant le lysimètre sont des valeurs cumulées.

Seules les concentrations pour lesquelles les valeurs sont notoires, pour au moins un essai, sont présentées. Pour les autres paramètres, soit les mesures sont inférieures aux limites de détection soit elles ne révèlent qu'un relargage très modéré. On souligne qu'à partir de ces valeurs de teneur en composés lixiviables, exprimées par rapport à la masse de matière sèche (mg/kg MS), on peut calculer la concentration de chacun de ces composés dans le liquide connaissant le rapport L/S de l'essai considéré, notamment aux fins de comparaison avec d'autres références ou réglementations.

Classiquement, la mise en contact d'eau avec le matériau provoque le lessivage d'éléments solubles, la dissolution lente des phases moins solubles et éventuellement leur réorganisation en phases minérales nouvelles. Les éléments chimiques peuvent être soumis à l'adsorption par le matériau ou libérés dans l'éluat. Le relargage des éléments est typiquement maximal au début de l'essai puis ralentit.

Les trois séries d'analyse mettent en évidence un relargage significatif de composés métalliques, d'aniline, d'hydrocarbures mono-aromatiques (BTEX), d'hydrocarbures totaux. L'essai de percolation révèle des concentrations en nitrate et soufre assez importantes.

Ces mesures ont été comparées aux seuils définis par le guide du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer (2010). Les seuils considérés pour les éluats issus de l'essai de percolation et ceux issus de l'essai au lysimètre sont ceux concernant les remblais recouverts. Les paramètres objets d'un seuil dans le guide sont identifiés par un astérisque dans le tableau 1. Aucun dépassement des seuils n'est observé pour les trois éluats.

Les concentrations en hydrocarbures totaux ne sont pas l'objet de critères dans le guide. Les mesures sur les éluats de lixiviation et de percolation sont respectivement de 2,3 mg/l et 4,4 mg/l, soit deux et quatre fois la

① Extrait des résultats révélant des valeurs élevées pour les paramètres après les trois essais sur pneumatiques et mélange (unités : mg lixiviable/kg de matière sèche, sauf indication contraire).

	Essai de lixiviation	Essai de percolation	Essai au lysimètre
Rapport L/S (l/kg MS)	10	10,02 (cumulé)	0,543 (cumulé)
Paramètres physiques			
pH (-)	7,7	-	-
Conductivité (mS/m)	30	-	-
Paramètres chimiques			
Ammonium	30,8	64,9	0,24
Nitrite	-	0,065	0,02
Azote Kjeldahl	<	138	2,25
Azote total	-	320	<
Nitrate	<	116	1,1
Indice phénol	<	<	3,45
Demande chimique en oxygène	2 164	3 046	35,33
Demande biochimique en oxygène	226	644	2,43
carbone organique total	724	999	12,68
Chlorure*	116	145	4,33
Sulfate*	217	313	19,24
Métaux			
Barium*	0,806	1,938	0,045
Calcium	148	294	23,1
Magnésium	13,9	23,1	16,4
Manganèse	3,08	6,6	0,141
Potassium	52	62,9	2,2
Silicium	5,07	12,6	2,06
Sodium	49,4	74,4	6,16
Soufre	101	149	14
Zinc*	2,99	1,671	0,0106
Hydrocarbures totaux			
Cumul C10-C40	23,4	44,1	0,126
Hydrocarbures mono-aromatiques			
Benzène	5E-03	0,034	1,10E-03
Toluene	2E-03	3E-03	4,64E-05
Xylènes (somme)	0,905	1E-03	-
Somme BTEX	0,913	0,039	1,2E-03
Aniline			
Aniline	5,73	6,63	9,7E-03
Phénols			
Phénol	0,023	0,058	6,3E-04
Crésols (somme)	0,091	0,049	5,0E-05

* : paramètre objet d'un seuil dans le guide.

< : inférieur aux limites de quantification des méthodes.

- : non mesuré/non pertinent.

- concentration autorisée dans les eaux brutes destinées à la potabilisation (1,0 mg/l, arrêté du 11 janvier 2007). Cependant, les composés dominants sont les fractions C12-C16, considérées comme semi-volatiles et biodégradables. D'ailleurs, la concentration mesurée sur l'essai au lysimètre (0,36 mg/l) est bien inférieure à ce seuil, traduisant bien une évolution favorable au cours des onze mois de cet essai.

Pour le benzène, la concentration dans l'éluat de lixiviation (0,5 µg/l) est également inférieure à la limite de potabilité fixée par l'arrêté du 11 janvier 2007 (1 µg/l). Il n'y a pas de limite de potabilité pour les autres paramètres organiques mesurés.

La concentration en aniline observée sur les éluats des deux essais courts en laboratoire est de l'ordre de 0,5 g/l. Ce composé aromatique, dérivé du benzène, est toxique pour l'homme et l'environnement. Comme en témoignent les mesures sur l'éluat collecté sur le lysimètre, cette concentration diminue avec le temps (0,02 mg/l), traduisant là aussi l'effet de la biodégradation durant cet essai.

L'essai de lixiviation suggère un potentiel relargage à long terme de composés phénoliques, isomères du crésol (ortho-, para-, et méta-), considérés comme plus faiblement toxiques que le phénol ordinaire. La teneur est toutefois inférieure au seuil pour l'acceptation en installation de stockage de déchets inertes (arrêté du 28/10/2010). Il en est de même pour les concentrations en baryum, cuivre, molybdène, nickel et zinc.

Les résultats présentés ci-avant montre que les pneumatiques déchiquetés respectent les critères environnementaux applicables aux matériaux alternatifs en technique routière. Le dépassement de seuil relatif aux eaux brutes destinées à la potabilisation doit être nuancé. En effet, le critère a été appliqué au liquide en contact avec le matériau et non aux eaux souterraines, négligeant les atténuations possibles entre source de polluants et point de contrôle, lesquelles atténuations peuvent résulter d'une interaction avec le sol, d'une biodégradation fonction du temps de parcours des liquides entre source et eaux souterraines, etc. Dans la pratique, et faute d'étude spécifique, on déconseillera la construction d'ouvrages employant des pneumatiques déchiquetés à proximité des zones de captage.

Confirmé par les analyses écotoxicologiques

Les résultats révèlent que les différents éluats collectés lors des essais sur la fraction fine des pneumatiques déchiquetés ne présentent aucune toxicité pour les deux espèces considérées (tableau 2). Pour les deux types d'éluat, le taux de 50 % d'immobilité de *Daphnia magna* n'est atteint qu'avec un éluat dilué à moins de 90 % (soit neuf parts d'éluat pour une part d'eau). La teneur élevée en aniline mesurée dans l'éluat de lixiviation sur pneumatiques déchiquetés (tableau 1) est donc sans effet sur *Daphnia magna*.

Les résultats sont plus nuancés sur *Vibrio fischeri*. Aucun effet n'est observé avec l'éluat de lixiviation, mais un effet significatif est observé en fin d'essai de percolation sur la fraction fine des pneumatiques déchiquetés. Avec le dernier prélèvement, le taux de 50 % d'inhibition de la luminescence de cette espèce est obtenu pour un mélange de 64 % d'éluat pour 36 % d'eau. Même si l'effet est avéré, les pneumatiques ne peuvent cependant être considérés comme dangereux au regard de ce critère, le seuil retenu pour cela étant un ratio de 1% d'éluat pour 99% d'eau.

2 Résultat d'écotoxicité vis-à-vis de *Daphnia magna* et *Vibrio fischeri*

Référence de l'échantillon	Mobilité de <i>Daphnia magna</i> CE50 (%)	Luminescence de <i>Vibrio fischeri</i> CI50 (%)
Éluat de lixiviation sur fraction fine des pneus déchiquetés	> 90	> 90
Éluat de percolation sur fraction fine des pneus déchiquetés (7 ^e fraction)	> 90	64
Éluat de lixiviation sur mélange sable-pneu calciné	> 90	> 90

5 Extrait des résultats de l'essai de lixiviation sur mélange calciné montrant les valeurs significativement différentes de celles obtenues sur pneumatiques (unités : mg lixiviable/kg MS, sauf indication contraire).

	Lixiviation sur mélange calciné
Paramètres physiques	
Conductivité (mS/m)	150
Paramètres chimiques	
Carbone organique total	207
Chlorure *	267
Sulfate*	6650
Métaux	
Barium*	0,37
Calcium	1 820
Cobalt	24,3
Magnésium	215
Nickel*	0,144
Potassium	129
Silicium	101
Sodium	385
Soufre	2 480
Zinc*	415
Hydrocarbures totaux	
Cumul C10-C40	1,02
Hydrocarbures mono-aromatiques	
Benzène	0,162
Toluène	0,044

* : paramètre objet d'un seuil dans le guide.

Les éluats sur fraction fine des pneumatiques déchiquetés ne montrent donc pas d'écotoxicité, ce qui est en accord avec les résultats obtenus dans d'autres conditions expérimentales.

En complément, la dernière ligne de ce tableau révèle que les éluats issus des essais sur le mélange sable-pneu calciné sont sans effet sur ces deux espèces.

Mais inacceptable pour les résidus après incendie

Le tableau 3 présente les résultats des mesures physico-chimiques sur les éluats de lixiviation du mélange calciné. Les données présentées se limitent à celles révélant une différence significative par rapport à la lixiviation sur pneumatiques.

Les éluats de lixiviation du mélange calciné sont moins chargés en éléments organiques, mais plus chargés en éléments métalliques. Les valeurs indiquées en gras correspondent au dépassement des seuils définis dans le guide. Le mélange calciné contient du zinc et du sulfate lixiviables en concentrations supérieures aux limites du guide (respectivement 415 au lieu de 12 mg lixiviable/kg MS et 6 650 au lieu de 3 000 mg lixiviable/kg MS). La concentration en zinc est également supérieure aux valeurs réglementaires applicables en stockage de déchets inertes (4 mg lixiviable/kg MS), de déchets non dangereux (50 mg lixiviable/kg MS) et de déchets dangereux (200 mg lixiviable/kg MS). En conséquence, ces résidus devraient être rendus inertes avant enfouissement en installation de stockage de déchets dangereux.

Toutefois, l'extrapolation de ces résultats de laboratoire aux ouvrages doit être menée avec nuance. Il a été évoqué que l'incendie sur mélange ne se propageait qu'en surface et à une vitesse limitée. Les volumes de pneus effectivement calcinés avant intervention sont donc limités, de même que la quantité de polluants relargables. Quoiqu'il en soit, une précaution simple pour limiter le risque d'incendie est de recouvrir de sol les parties d'ouvrages contenant des déchets de pneumatiques.

Conclusion

L'impact sur l'environnement des pneumatiques déchiquetés lorsqu'ils sont utilisés en mélange avec du sable pour la construction de remblais a été évalué. Dans ce but, des analyses physico-chimiques et écotoxicologiques ont été effectuées, considérant le matériau tel que mis en œuvre ou le résidu après incendie. L'étude a été étendue à une vaste gamme de composés, au-delà de ceux préconisés par la réglementation, et notamment des composés organiques.

Les essais de lixiviation et de percolation au laboratoire ainsi que les essais sur lysimètre réalisés sur pneumatiques déchiquetés et sur mélange sable-pneumatiques déchiquetés n'ont révélé aucun dépassement des limites réglementaires imposées pour leur réutilisation en matériau alternatif de construction en technique routière (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010). À court terme, les concentrations en hydrocarbures totaux et en aniline sur éluats sont respectivement supérieures au seuil des eaux

potabilisables, du fait de la présence d'hydrocarbures, ou à la valeur produisant 50 % d'effet sur des microcrustacés d'eau douce, du fait de la présence d'aniline (soit 0,1 mg/L – INERIS, 2013). La proximité avec les zones de captage est donc déconseillée. Cependant, les concentrations décroissent au cours de la percolation et les teneurs mesurées après une année sur lysimètre sont inférieures aux concentrations susmentionnées. Par ailleurs, les analyses écotoxicologiques n'ont révélé aucune toxicité de ce matériau.

Le point le plus critique en termes d'impact sur l'environnement est lié au résidu après incendie. Les résidus de calcination présentent des caractéristiques physico-chimiques qui imposent de les considérer comme des déchets dangereux, avec neutralisation avant stockage. Il est donc recommandé de recouvrir les parties d'ouvrages contenant des pneus déchiquetés par une couche de sol pour limiter le risque de départ d'incendie.

Les premières études sur l'impact environnemental des pneumatiques usagés lorsqu'ils sont utilisés en génie civil datent de la fin des années 1970. Depuis lors, les méthodes de détection et les seuils de sensibilité des moyens de mesure ont fortement évolué, de même que la connaissance des conséquences des différents composés. L'étude présentée ici complète et met à jour ces données, sur une gamme très large de composés potentiellement relarguables, avec des moyens de mesure plus performants. L'extension de ces résultats aux ouvrages constitués de pneumatiques entiers est également envisageable, dans la mesure où le relargage de composés est moindre dans un tel cas et si, par ailleurs, on suppose négligeable l'effet de la photolyse sur la dégradation des pneus en parement d'ouvrage.

Au regard de la réglementation, les données apportées ici peuvent constituer un fondement technique à l'application de l'article R543-140 du Code de l'environnement, pour le cas des merlons utilisant des pneumatiques déchiquetés mélangés à du sable, permettant en cela de se rapprocher de la réglementation européenne qui dispose qu'une telle opération de valorisation met fin au statut de déchet – ici des pneumatiques usagers non réutilisables – s'il est vérifié que leur utilisation n'aura pas d'effets globaux nocifs pour l'environnement ou la santé humaine. ■

Les auteurs

Pierre HENNEBERT, Benoit CHARRASSE et Anne BENARD
Ineris, Direction des risques chroniques
Unité Comportement des contaminants
dans les sols et les matériaux
BP 33, 13545 Aix en Provence Cedex 04
pierre.hennebert@ineris.fr
benoit.charrasse@ineris.fr
anne.benard@ineris.fr

Stéphane LAMBERT
Irstea, centre de Grenoble
UR ETGR, Érosion torrentielle neige et avalanches
2 rue de la Papeterie, BP 76
38402 Saint-Martin-d'Hères
stephane.lambert@irstea.fr

QUELQUES RÉFÉRENCES CLÉS...

- AFNOR, 1996, NF EN ISO 6341, Qualité de l'eau : détermination de l'inhibition de la mobilité de *Daphnia Magna* Straus (Cladocera Crustacea). Essai de toxicité aigüe, AFNOR, La Plaine-Saint Denis, 21 p.
- AFNOR, 2002, NF EN 12457-2, Caractérisation des déchets-lixiviation – Essai de conformité pour lixiviation des déchets fragmentés et des boues – Partie 2 : essai en bûchée unique avec un rapport liquide-solide de 10 l/kg et une granulométrie inférieure à 4 mm (sans ou avec réduction de la granulométrie), AFNOR, La Plaine-Saint Denis, 29 p.
- AFNOR, 2005, NF CEN/TS 14405, Caractérisation des déchets. Essai de comportement à la lixiviation. Essai de percolation à écoulement ascendant (dans des conditions spécifiées), AFNOR, La Plaine-Saint Denis, 25 p.
- AFNOR, 2009, NF EN ISO 11348-1, Qualité de l'eau – Détermination de l'effet inhibiteur d'échantillons d'eau sur la luminescence de *Vibrio fischeri*, AFNOR, La Plaine-Saint Denis. 35 p.
- EDESKAR, T., 2004, *Technical and environmental properties of tire shreds focusing on ground engineering applications*, Lulea University of Technology.
- EDIL, T.B., 2008, A review of environmental impacts and environmental applications of shredded scrap tires, *In Scrap tire derived geomaterials – Opportunities and challenges*, Taylor and Francis. p. 3-18.
- INERIS, 2013, Portail des substances chimiques, Fiche aniline, <http://www.ineris.fr/substances/fr/substance/396>, consulté le 23/01/2013.
- Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010, *Guide méthodologique – Acceptabilité de matériaux alternatifs en technique routière – Évaluation environnementale*, SETRA, Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements, Version novembre 2010, 39 p.

Le projet ANR Rempare® a pour objectif principal d'améliorer la conception des ouvrages de protection existants, en favorisant l'utilisation de matériaux issus des activités humaines, recyclés, suivant une conception innovante de répartition de l'énergie d'impact au sein de l'ouvrage.