

113 – Revêtements et gazons synthétiques

Comportement dans des conditions météorologiques naturelles



Analyses du comportement des revêtements et des gazons synthétiques dans des conditions météorologiques naturelles

Résumé

Groupe de travail «Revêtements synthétiques»

12 novembre 2007

Analyses

Laboratoire D^r Meyer AG, Berne

Auteur: Edwin Müller

Table des matières

Introduction	5
1. Planification de l'essai	5
2. Conduite de l'essai	6
• Analyses préliminaires	6
• Essai pilote	6
• Essai principal	6
• Analyses chimico-physiques des granulés	8
• Tests d'éluion en laboratoire	8
3. Résultats	8
• Quantités de précipitations et d'eau de percolation	8
• Résultats d'analyse	8
• Analyses chimico-physiques des granulés	19
• Tests d'éluion en laboratoire	20
• Analyse de l'eau de percolation du Stade de Suisse (Berne)	24
4. Evaluation de la teneur des eaux	24
5. Conclusions	25
6. Remarques complémentaires	26
Annexe 1	
Installation de lysimétrie de Berne-Liebefeld (photo)	26
Annexe 2	
Quantités d'eau de percolation	27
Annexe 3	
Abréviations	27

Introduction

Jusqu'au début des années quatre-vingt, les autorités de protection de l'environnement ont contesté les revêtements synthétiques élastiques posés à l'époque: des composés de mercure étaient utilisés dans les liants PU pour la fabrication des revêtements! En cas d'utilisation inappropriée des liants utilisés, des substances aux effets indésirables pouvaient s'infiltrer dans les eaux avec les précipitations. La directive 105 pour déterminer la compatibilité environnementale des revêtements synthétiques des installations de plein air de 1993 et la directive 105 de 1997 au contenu similaire mais fortement raccourci, publiée par l'Ecole fédérale de sport de Macolin (aujourd'hui Office fédéral du sport ou OFSPO) fournissent des recommandations pour évaluer la compatibilité environnementale des revêtements synthétiques des terrains de sport. Leur finalité est de garantir que la pose, l'utilisation et l'élimination des revêtements synthétiques élastiques s'effectuent de manière respectueuse de l'environnement.

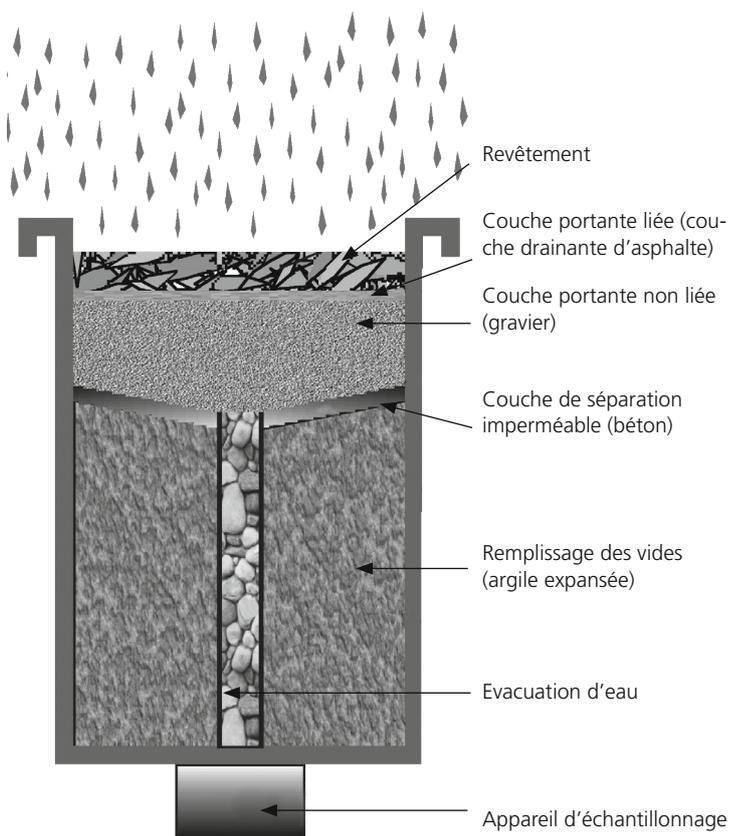
Or, les procédures de contrôle, les exigences et les valeurs indicatives recommandées décrites dans la directive 105 pour l'évaluation de la compatibilité environnementale des revêtements élastiques ne sont plus appropriées du point de vue actuel de la protection des eaux. De plus, cette directive ne traite pas des gazons synthétiques.

C'est pourquoi l'OFSPO a mis sur pied en 2004 un groupe de travail chargé de vérifier et d'adapter la directive 105. Après de minutieuses délibérations préparatoires, le groupe de travail a décidé d'effectuer un test de terrain le plus proche de la pratique possible comme base de travail pour un nouveau concept d'évaluation. Cet essai ainsi que d'autres analyses chimiques et physiques complémentaires (tests d'éluion et analyses de matières) a été conduit entre novembre 2005 et mai 2007, étudiant quels substances et groupes de substances s'infiltraient dans les eaux avec l'eau de pluie, dans des conditions météorologiques naturelles, à partir de revêtements synthétiques (gazon synthétique et revêtements élastiques à base de polyuréthane). L'objectif principal était d'étudier le comportement des différents revêtements (genres de revêtements) et non pas de tester les différents produits.

Les données ci-après sont extraites des vastes essais et résultats d'analyses du projet global.

1. Planification de l'essai

Le groupe de travail a décidé d'utiliser des lysimètres pour les tests de terrain. Les lysimètres sont des systèmes de test utilisés pour les examens scientifiques en recherche agronomique, par ex. pour examiner le lessivage des nutriments ou des pesticides du sol par l'eau de pluie. La Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon a mis à disposition de l'OFSPO pour les examens 10 lysimètres dans l'installation de grande lysimétrie de Berne-Liebfeld (annexe 1). Les lysimètres présentent une surface exposée d'exactly 1 m² et sont équipés d'appareils d'échantillonnage. Ces appareils testés avec succès sur de nombreuses années permettent de déterminer la quantité exacte de précipitations



s'écoulant dans les lysimètres, de prélever de manière proportionnelle l'eau de percolation, de l'analyser et d'établir le bilan des matières. De plus, les précipitations locales (pluie et neige) ont été mesurées durant toute la période d'essai. Le croquis ci-dessus présente la structure d'un lysimètre.

2. Conduite de l'essai

L'essai global comprenait:

- les analyses préliminaires (évaluation et développement des méthodes d'analyse, choix des éléments traces à analyser),
- un essai pilote pour vérifier le déroulement de l'essai choisi,
- l'essai principal,
- des analyses chimico-physiques complémentaires des granulés d'élastomère,
- des tests d'éluion sur granulés d'élastomère.

2.1 Analyses préliminaires

L'objectif des analyses était non seulement de mesurer le paramètre global qu'est le COD (carbone organique dissous) dans l'eau de percolation selon la directive 105, mais aussi d'identifier et de quantifier quelques composés chimiques choisis (éléments traces, appelés micropolluants). Ce paramètre a également été mesuré afin de pouvoir déterminer la somme des composés organiques azotés dissous (N org.). Comme il n'y avait pas de méthode d'analyse de routine pour déterminer les éléments traces organiques (produits chimiques d'élastomère ainsi que leurs produits de dégradation et de transformation), il a fallu, d'une part, décider du choix des éléments et, d'autre part, développer les méthodes d'analyse pour ces éléments.

2.2 Essai pilote

En conduisant les tests de terrain dans des lysimètres et en analysant certains composés chimiques de l'eau de percolation, on s'est aventuré en «terre inconnue» à l'échelle mondiale. Aucune expérience de tels examens de revêtements synthétiques n'étant disponible, un type de revêtement a tout d'abord été posé dans un seul lysimètre pilote (gazon synthétique avec granulés EPDM réticulés au peroxyde sur couche élastique) et examiné pendant quatre mois (de fin décembre 2005 à mai 2006). Le comportement de percolation ainsi que l'étanchéité du système ont été testés durant cette période. Sur la base des résultats d'analyse de cette phase pilote, le programme de mesures définitif a pu être fixé pour l'essai principal.

2.3 Essai principal

En raison des conditions météorologiques, la pose des revêtements n'a pu se faire qu'en mai 2006. L'essai principal s'est déroulé de mi-mai 2006 à mi-mai 2007.

2.3.1 Types de revêtements posés

Tous les revêtements ont été posés sur un lit de gravier et sur une couche de compensation en gravier.

Pour certains revêtements, une couche portante liée, c'est-à-dire une couche drainante d'asphalte, PAS 16, épaisseur 50 mm, a été posée.

Dix lysimètres étaient à disposition pour l'essai. On s'est donc limité à l'examen de quatre gazons synthétiques, de trois revêtements élastiques liés par du polyuréthane ainsi qu'à trois échantillons témoins.

Types de revêtements posés dans les lysimètres

Gazons synthétiques	
Revêtement n° 1 (essai pilote)	Gazon synthétique, hauteur des fibres 40 mm, rempli de granulés EPDM réticulés au peroxyde sur couche élastique de 25 mm*) et couche drainante d'asphalte
Revêtement n° 2	Gazon synthétique, hauteur des fibres 70 mm, rempli de granulés d'élastomère de pneus PL (recyclage)
Revêtement n° 3	Gazon synthétique, hauteur des fibres 40 mm rempli de granulés EPDM réticulés au soufre sur couche élastique de 25 mm*)
Revêtement n° 4	Gazon synthétique non rempli
Revêtements élastiques liés par du polyuréthane	
Revêtement n° 5	Revêtement synthétique perméable, 1 couche EPDM 12 mm sur couche drainante d'asphalte
Revêtement n° 6	Revêtement synthétique perméable, multicouches 15 mm, 1 ^{re} couche 9 mm de granulés d'élastomère recyclé, 2 ^e couche 6 mm de granulés EPDM injectés à raison de 1,5 kg/m ² sur couche drainante d'asphalte
Revêtement n° 7	Revêtement sandwich imperméable multicouches 15 mm, 1 ^{re} couche 10 mm de granulés d'élastomère recyclé lié par du PUR, 2 ^e couche coulée avec du PUR 5 mm recouverte de granulés EPDM sur couche drainante d'asphalte (évacuation de l'eau directement dans la couche de compensation en gravier par un trou situé au milieu du revêtement)
Echantillons témoins	
Revêtement n° 8	Lit de gravier et couche de compensation en gravier (sans revêtement synthétique)
Revêtement n° 9	Lit de gravier, couche de compensation en gravier et couche drainante d'asphalte (sans revêtement synthétique)
Revêtement n° 10	Couche élastique de 25 mm*) sur lit de gravier et couche de compensation en gravier

*) couche élastique en granulés d'élastomère recyclé (et de liants PUR) de 25 mm d'épaisseur posée in situ

2.3.2 Analyses

Les mesures analytiques de l'eau de percolation portaient sur le zinc, les paramètres globaux COD (carbone organique dissous) ainsi que sur certains éléments organiques simples utilisés dans la fabrication d'élastomère (comme par ex. les accélérateurs de vulcanisation, les réticulants et les produits de protection contre le vieillissement) et sur les substances pouvant former des produits de transformation ou de dégradation au cours du processus de fabrication (vulcanisation) des différents produits chimiques d'élastomère.

Pour des raisons financières, il a fallu renoncer aux analyses d'émollients et de stabilisateurs UV car ces analyses auraient engendré des coûts disproportionnés.

La diversité des substances chimiques contenues dans les granulés d'élastomère est très grande.

Les substances suivantes ont été retenues:

Paramètres globaux	Éléments simples
<ul style="list-style-type: none"> • COD (carbone organique dissous) • Somme des composés organiques azotés dissous (N org.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Aniline • Phénylènediamine alkylée • Benzothiazole • Cyclohexylamine • 16 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) • Zinc • Azote d'ammonium • Azote nitrate • Azote nitrite

2.4 Analyses chimico-physiques des granulés

Des thermoanalyses ont été effectuées sur les échantillons de réserve pour caractériser de manière exacte les granulés utilisés. Les teneurs en zinc des granulés ont en plus été mesurées.

2.5 Tests d'élution en laboratoire

Les tests d'élution permettent seulement d'évaluer le comportement des granulés sur une période de courte durée (comportement de l'élastomère au contact avec l'eau) sur la base des résultats d'analyse. Les tests d'élution sur les granulés ne conviennent toutefois pas à l'évaluation du comportement des revêtements dans des conditions naturelles pendant une période de longue durée. Mais les résultats d'analyse des tests d'élution effectués et l'examen des éléments simples donnent une base de comparaison importante avec les résultats des tests de lysimétrie. Ces analyses comparatives ont également été effectuées pour tenir compte des conseils habituels du groupe CEN (CEN = Comité Européen de Normalisation).

3. Résultats

3.1 Quantités de précipitations et d'eau de percolation

Une quantité de précipitations de 1657,8 mm a été mesurée à Berne-Liebefeld depuis fin décembre 2005 jusqu'à mi-mai 2007, ce qui correspond à une quantité de pluie de 1657,8 litres par m². Durant l'essai principal de mi-mai 2006 à mi-mai 2007, la quantité de précipitations s'est montée à 1100 mm, soit 1100 litres par m². En Suisse, la quantité de précipitations annuelle moyenne se monte à 1458 mm, soit 1458 litres par m² (valeur moyenne de 1961-1990).

Comme l'ont montré les mesures des précipitations (pluie, neige), la majeure partie de l'eau des précipitations s'infiltrait à travers les revêtements. Ce n'est que durant les mois d'été que l'on peut observer une certaine évaporation de l'eau de la surface des revêtements avec certains revêtements.

Le tableau de l'annexe 2 présente la quantité d'eau de percolation des différents revêtements, mesurée à différentes périodes.

3.2 Résultats d'analyse

Des échantillons collectifs proportionnels aux quantités ont été prélevés pour les analyses chimiques. Tous les échantillons ont été conservés à env. pH 1 avec de l'acide chlorhydrique et réfrigérés jusqu'à analyse. Au total, 6 échantillons collectifs ont été mesurés durant l'essai pilote (de décembre à mai 2007) et 4 échantillons collectifs durant l'essai principal (de mai 2005 à mai 2007). En raison des conditions météorologiques (hiver neigeux et froid), l'analyse du premier échantillon collectif de l'essai pilote (28.12.2005-3.3.2006) a été effectuée après 48 l/m² déjà et la deuxième (4.3-15.5.2006) après encore 448 l/m². Les quatre échantillons collectifs de l'essai principal ont été analysés après chaque fois 200 à 300 l/m².

En raison des résultats des essais préliminaires et de l'essai pilote, les analyses de l'eau de percolation des revêtements ont porté sur les substances et groupes de substances suivants:

Paramètre	Revêtement n°									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DOC	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Azote total	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Azote organique	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Zinc (dissous)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Cyclohexylamine	x	x	x		x	x	x			x
Aniline	x	x	x		x	x	x			x
Benzothiazole	x	x	x		x	x	x			x
PBN	x	x	x		x	x	x			x
IPPD	x	x	x		x	x	x			x
16 HAP	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Des analyses d'eau de pluie ont été effectuées pendant toute la durée de l'essai. Les différents échantillons ont été prélevés du pluviomètre et répartis en 6 échantillons collectifs au total. Les paramètres suivants ont été analysés dans ces échantillons: zinc, COD, azote non organique et organique, HAP.

3.2.1 COD

Avec le COD (carbone organique dissous), on mesure la somme des matières organiques contenues dans l'eau. La mesure du COD ne permet ni de caractériser les matières ni d'évaluer les composés présents dans l'eau, telles la structure chimique, les propriétés et l'éco-toxicité. C'est pourquoi les concentrations de COD mesurées ne sont qu'un indicateur de la quantité totale des matières organiques contenues dans l'eau.

Le COD mesuré dans l'eau de percolation des lysimètres se compose comme suit:

- matières organiques présentes naturellement dans le lit de gravier et dans la couche de compensation de gravier,
- matières provenant des revêtements,
- charge constante de poussières de l'air (entre autres pollen en été), matières organiques dissoutes présentes dans l'eau de pluie et la neige.

Durant la période d'essai, des concentrations de COD initialement élevées puis fortement réduites ont pu être constatées dans tous les lysimètres, y compris ceux des échantillons témoins sans revêtement synthétique. Les revêtements sont relativement vite lessivés par l'eau de pluie (voir aussi les résultats des tests d'éluion).

Le graphique suivant présente, à titre d'exemple, l'évolution de la diminution des concentrations de COD dans l'eau de percolation du revêtement n° 1 (revêtement pilote, gazon synthétique rempli de granulés EPDM réticulés au peroxyde sur couche élastique) durant la période s'étendant de fin décembre 2005 à mai 2007.

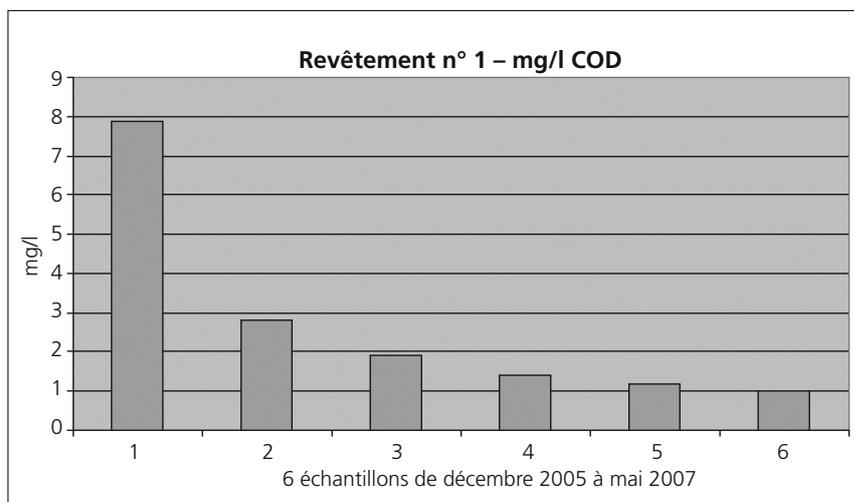


Illustration 1

Voici, à titre de comparaison, l'évolution de la concentration mesurée sur l'échantillon témoin sans revêtement pour la période s'étendant de mai 2006 à mai 2007.

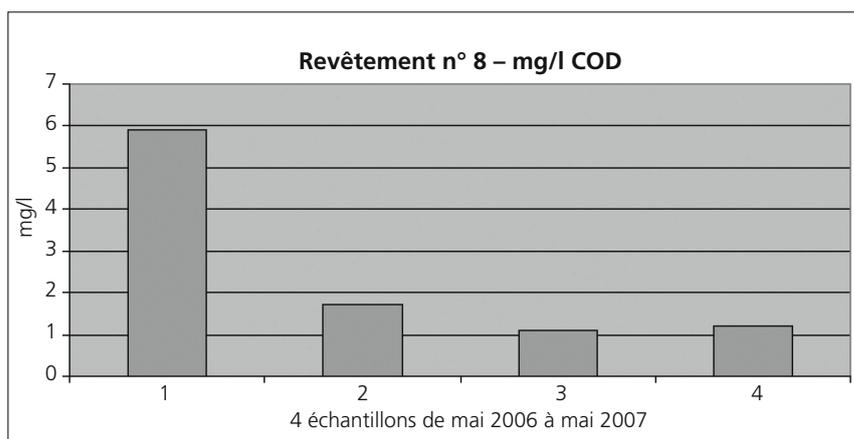


Illustration 2

Tant dans l'échantillon témoin (lit de gravier sans revêtement) que dans le revêtement n° 1, on peut observer une concentration résiduelle d'env. 1 mg/l COD à la fin de l'essai.

L'évolution de la concentration de COD (4 échantillons collectifs au total de mai 2006 à mai 2007) mesurée sur les autres revêtements est présentée dans le graphique ci-dessous.

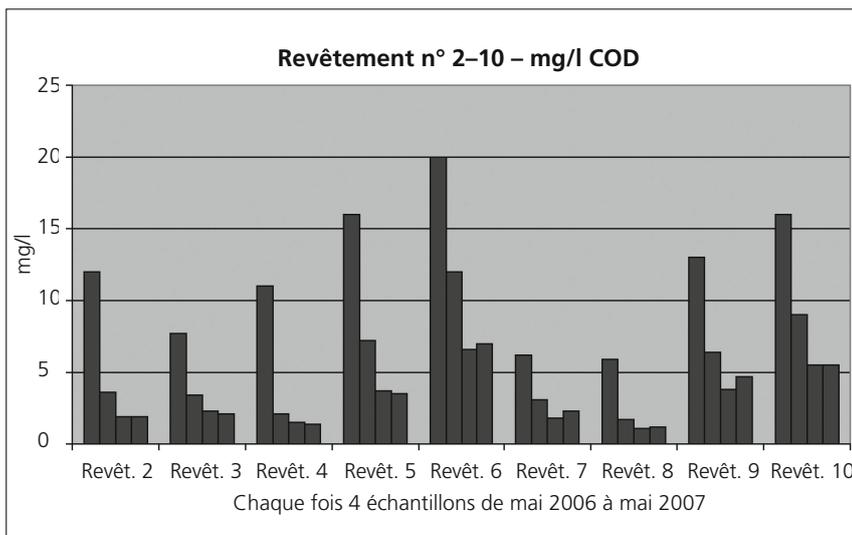


Illustration 3

Tant dans le revêtement pilote que dans les autres revêtements, y compris les échantillons témoins (revêtements 8 à 10), on peut observer des concentrations de COD initialement un peu plus élevées puis s'abaissant par la suite. Les revêtements élastiques liés par du polyuréthane (revêtements 5 et 6) ainsi que la couche élastique n° 10 présentent les concentrations initiales tendancielle-ment les plus élevées. Le gazon synthétique non rempli (revêtement n° 4) présente lui aussi une concentration initiale assez élevée.

Bien que le COD ne soit pas connu pour être un paramètre représentatif pour évaluer les matières importantes au niveau écotoxicologique dans l'eau de percolation, il s'est avéré qu'en ce qui concerne le COD, tous les revêtements ont été quasi entièrement lessivés au cours de la période d'essai. Il faut tenir compte du fait que les concentrations de COD des échantillons collectifs dépendent des quantités de pluie respectives. Le revêtement n° 6 (revêtement perméable, multicouches, 15 mm, 1^{re} couche 9 mm de granulés d'élastomère recyclé, 2^e couche 6 mm de granulés EPDM injectés à raison de 1,5 kg/m² sur couche drainante d'asphalte) présente la teneur tendancielle-ment la plus élevée par rapport aux autres revêtements. Pour l'évaluation de tous les revêtements, il faut déduire la charge de fond naturelle de la couche por-tante de gravier non liée ainsi que, là où c'est applicable,

la charge en COD de la couche drainante d'asphalte. Les différents types de revêtements se comportant de manière très différente, on ne peut en tirer des conclusions quant au bilan du COD. Le revêtement n° 3 (gazon synthétique rempli de granulés EPDM sur couche élastique de 25 mm) présente par ex. une teneur en COD bien plus basse que le revêtement n° 10 (couche élastique uniquement). Cela signifie apparemment qu'une plus faible quantité de COD peut être éluee à partir de la couche élastique placée sous un gazon synthétique qu'à partir de la couche élastique exposée directement aux influences du temps.

Rapporté à une surface exposée de chaque fois 1 m², on obtient les résultats suivant pour les différents revêtements, après déduction de la charge des échantillons témoins respectifs:

A l'exception des affirmations selon lesquelles le revêtement synthétique multicouches n° 6 sur couche d'asphalte et la couche élastique directement exposée aux influences du temps (revêtement 10) présentent probablement les charges les plus élevées, d'autres affirmations différenciées et concluantes sur la charge en COD des différents revêtements ne peuvent pas être émises. On ne peut évaluer de manière claire si la charge en COD du revêtement n° 2 est significativement plus élevée que celle du revêtement 3. Il est frappant de constater que la charge en COD du gazon synthétique non rempli se monte à 2 g/m².

Comme déjà mentionné, il faut tenir compte du fait que la majeure partie de l'exportation de COD a lieu lors du premier contact avec l'eau, soit lors de la première pluie importante.

3.2.2 Azote organique

L'azote organique (N org.) (calcul de la différence entre l'azote total et l'azote non organique) a été mesuré dans tous les échantillons dans le but de déterminer la somme des «produits chimiques élastomères», comme par ex. les accélérateurs de vulcanisation ainsi que leurs produits de transformation et de dégradation en plus des mesures de COD et de l'analyse de certains éléments simples. Pour le revêtement n° 1 (gazon synthétique rempli de granulés EPDM réticulés au peroxyde sur couche élastique), on obtient la courbe de concentration présentée ci-contre. Pour des raisons d'organisation, le N org. du deuxième échantillon de l'essai pilote n'a pas pu être mesuré.

Revêtement n°	COD g/m ²	Remarques
1	–	Gazon synthétique avec granulés EPDM réticulés au peroxyde sur couche élastique et couche drainante d'asphalte (le COD n'a pas pu être évalué*)
2	3,2	Gazon synthétique avec granulés d'élastomère de pneus PL (recyclage)
3	2,0	Gazon synthétique avec granulés EPDM réticulés au soufre sur couche élastique
4	2	Gazon synthétique non rempli
5	0,2	Revêtement synthétique de granulés EPDM à couche unique sur couche drainante d'asphalte
6	5,6	Revêtement synthétique multicouches, granulés d'élastomère recyclé et granulés EPDM en résine PU sur couche drainante d'asphalte
7	1,1	Revêtement imperméable, multicouches (COD pas représentatif car l'eau de pluie qui tombe au milieu du revêtement s'écoule directement)
8	2,0	Echantillon témoin lit de gravier sans revêtement
9	7,9	Echantillon témoin lit de gravier avec couche drainante d'asphalte**)
10	6	Couche élastique en granulés d'élastomère recyclé, 25 mm

*) Le revêtement n° 1 avec la couche drainante d'asphalte intégrée a présenté une charge de COD plus faible que la couche drainante d'asphalte seule (n° 9).

**) La valeur de 7,9 g/m² COD se rapporte à la quantité totale, c'est-à-dire à la charge du lit de gravier et de la couche drainante d'asphalte. La charge de la couche drainante d'asphalte seule se monte donc à env. 5,9 g/m² COD!

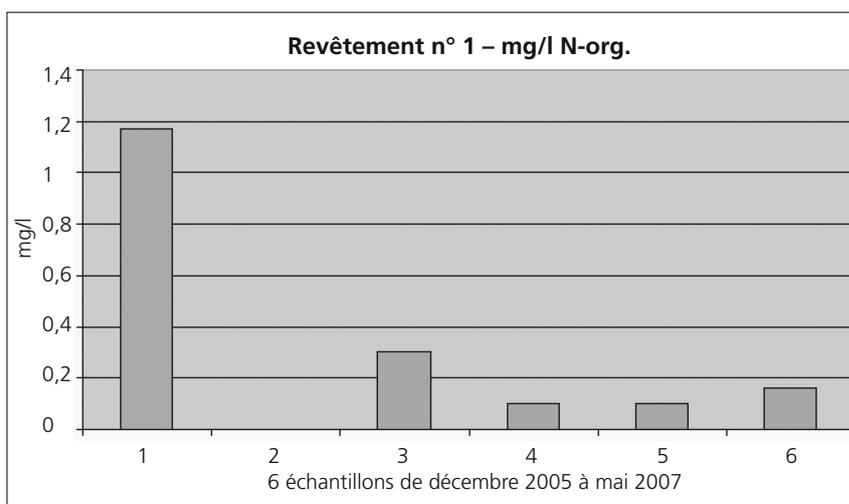


Illustration 4

A titre de comparaison, l'évolution de la concentration mesurée sur l'échantillon témoin n° 8 (lit de gravier sans revêtement) est présentée ci-dessous.

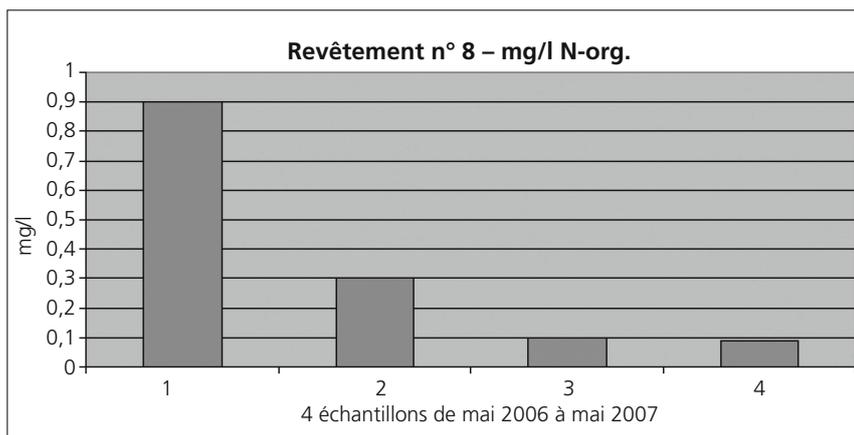


Illustration 5

La mesure de l'azote organique de l'élastomère du revêtement n° 1 ne permet pas de prouver que l'on continue d'assister après une année au lessivage de traces de produits chimiques organiques. Sur la base de l'examen des éléments simples par méthode d'analyse des traces (voir «éléments traces organiques»), on remarque cependant qu'à la fin de la période d'essai, le benzothiazole ne se retrouve plus que dans des concentrations de l'ordre de quelques microgrammes par litre. Pour déterminer si ces concentrations résiduelles proviennent des granulés ou de la couche élastique, il faudrait effectuer un test d'élution sur un revêtement composé uniquement de granulés réticulés au peroxyde.

Le graphique ci-dessous montre l'évolution de la concentration de l'azote organique des revêtements 2 à 10 (4 échantillons collectifs au total de mai 2006 à mai 2007).

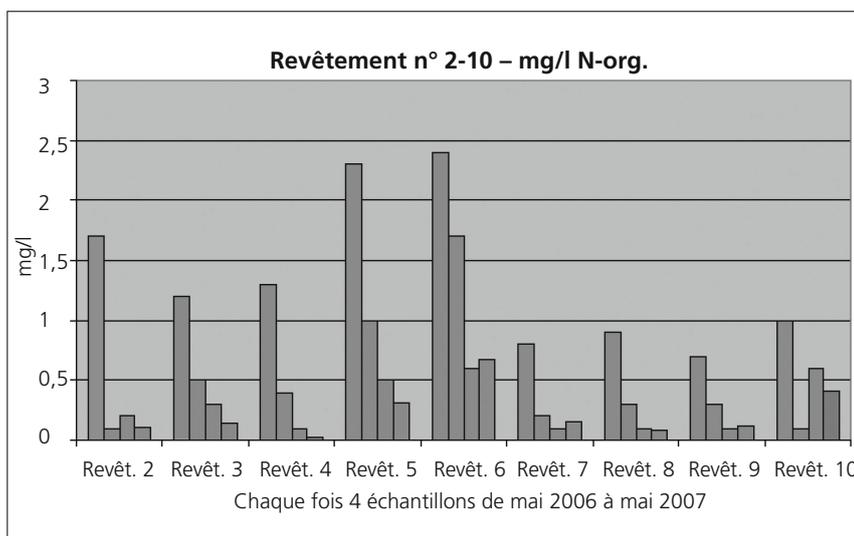


Illustration 6

Les indications de concentration pour l'azote organique présentent une relativement grande marge d'erreur, car les valeurs n'ont pas été mesurées par analyse mais en calculant la différence entre l'azote total (N total) et l'azote non organique mesuré (N anorg., c.-à-d. la somme de l'azote d'ammonium, de l'azote nitrate et de l'azote nitrite). Les résultats peuvent toutefois montrer les différences tendancielles entre la teneur initiale au début de l'essai et la teneur résiduelle à la fin de l'essai pour chaque revêtement. Ces résultats démontrent également l'«effet de lessivage» déjà constaté avec le COD. Les concentrations initiales élevées des revêtements 5 et 6 sont en corrélation avec les résultats des analyses de COD et avec les concentrations comparativement élevées de benzothiazole. Il faudrait toutefois effectuer des analyses complémentaires pour déterminer quelle part d'azote organique pourrait provenir des liants dans ces deux revêtements.

Rapporté à la quantité d'azote organique (après déduction de la charge des échantillons témoins respectifs) éluee par m² de surface durant toute la période de l'essai, on obtient le tableau suivant:

Revêtement n°	N-org. mg/m ²	Remarques
1	N'a pas pu être évalué *)	Gazon synthétique avec granulés EPDM réticulés au peroxyde sur couche élastique et couche drainante d'asphalte
2	280	Gazon synthétique avec granulés d'élastomère de pneus PL (recyclage)
3	260	Gazon synthétique avec granulés EPDM réticulés au soufre sur couche élastique
4	180	Gazon synthétique non rempli
5	720	Revêtement synthétique de granulés EPDM à couche unique sur couche drainante d'asphalte
6	1100	Revêtement synthétique multicouches, granulés d'élastomère recyclé, granulés EPDM en résine PU sur couche drainante d'asphalte
7	N'a pas pu être évalué	Revêtement imperméable, multicouches (N org. pas représentatif car l'eau de pluie qui tombe au milieu du revêtement s'écoule directement)
8	290	Echantillon témoin lit de gravier sans revêtement
9	340	Echantillon témoin lit de gravier avec couche drainante d'asphalte
10	330	Couche élastique en granulés d'élastomère recyclé, 25 mm

*) un résultat de mesure manque

Pour autant qu'on puisse en juger avec la prudence qui s'impose du fait de la relative grande marge d'erreur dans l'évaluation de l'azote organique – voir plus haut –, la majeure partie des composés azotés non organiques provenant du revêtement n° 6 a passé dans l'eau de percolation. En comparaison, les quantités de N org. éluees à partir du revêtement n° 5 sont également passablement élevées. Comme les 180 mg/m² environ de N org. qui ont été éluees du gazon synthétique non rempli ne peuvent pas provenir des produits chimiques de l'élastomère, il n'est pas possible de tirer un bilan concluant de l'azote organique. Il s'agit au total de petites quantités d'azote. Il est frappant de constater qu'une plus grande quantité de N org. a été éluee de la couche élastique (revêtement n° 10) que du revêtement n° 3, sous lequel était également posé une couche élastique.

Contrairement au COD, l'azote organique permet d'avoir une estimation un peu meilleure de la part des produits chimiques de l'élastomère contenant de l'azote dans l'eau de percolation. Il faut cependant tenir compte du fait qu'en raison de la marge d'erreur élevée des analyses, les traces des différents produits chimiques de l'élastomère ne peuvent plus être détectées au travers de l'azote organique du fait de l'importance du lessivage. Il n'a pas été possible de déterminer quelle part des quantités d'azote organique mesurées était éventuellement à mettre sur le compte de l'enrobage pour les revêtements liés par du polyuréthane. Il faut relever que le revêtement n° 8 (lit de gravier seul) a déjà présenté une charge de 290 mg/m² N org. La majeure partie de ces composés azotés a toutefois été lessivée par la pluie durant la période s'étendant de mai à août 2006.

3.2.3 Zinc

Les concentrations de zinc ont été mesurées dans l'eau de percolation de tous les lysimètres pendant toute la durée de l'essai. Les valeurs mesurées se situaient toutes au niveau des concentrations de fond naturelles, c.-à-d. au niveau des concentrations de zinc de l'eau de pluie de l'échantillon témoin (lit de gravier avec couche de compensation de gravier), **dans un ordre de grandeur de 0,003 à 0,03 mg/l zinc**. Aucune modification significative de la concentration n'a pu être constatée pendant toute la durée de l'essai.

Les tests d'élution permettent de prouver que le zinc de tous les granulés d'élastomère contenant du zinc est lessivé (voir résultats des tests d'élution).

Le fait que le zinc ne se retrouve pas pour autant présent en concentration plus élevée dans l'eau de percolation peut s'expliquer de la manière suivante:

L'eau de percolation de tous les revêtements s'écoule au travers d'une couche de gravier de compensation et d'un lit de gravier non lié d'env. 40 cm d'épaisseur. Le gravier présente une capacité d'adsorption marquée pour le zinc, ce qui signifie que le zinc est lié à la surface des particules de gravier. La capacité d'adsorption de cette couche de gravier est si grande que tout le zinc lessivé des granulés est adsorbé dans cette couche portante de gravier. Ce comportement du zinc a été étudié de manière scientifique et décrit dans la littérature (entre autres Fic M. (1987) Adsorptions- und Desorptionsverhalten von Cd, Cr, Cu und Zink an ausgewählten Böden und Sanden. Dissertation, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Christian-Albrechts-Universität Kiel). Sur la base des résultats des tests d'éluion, on constate par ex. qu'il y a 250 mg zinc par kg de granulés dissous à partir des granulés du revêtement n° 2 (gazon synthétique rempli de granulés d'élastomère de pneus PL [recyclage]). Avec un taux de remplissage d'env. 12 kg de granulés par m² de revêtement, cela donne une quantité de 3 grammes de zinc par m². Avec un volume de près de 0,4 m³ de gravier, et en plus, dans le cas du gazon synthétique, de quelques kilos de sable de quartz par m² avec une surface très étendue, on obtient une quantité de gravier de près de 600 kg/m² avec la grande capacité d'adsorption qui en découle. C'est pourquoi le zinc n'a pas pu être détecté en grande quantité dans l'eau de percolation pendant toute la durée de l'essai. Ce comportement a pu être confirmé au cours de tests d'adsorption ciblés. Bien qu'il n'y ait pas encore eu suffisamment de recherches sur le comportement à long terme des granulés d'élastomère dans les revêtements synthétiques en ce qui concerne la perte de zinc, nous supposons qu'une couche élastique composée par ex. de granulés réticulés au polyuréthane contenant du zinc (par ex. granulés de recyclage) sous un gazon synthétique ne perd plus beaucoup de zinc durant les années qui suivent le premier lessivage de surface et que la capacité d'adsorption de zinc du lit de gravier est assez grande.

Le zinc est dans le collimateur pour des raisons d'écotoxicologie, car des concentrations relativement basses de zinc peuvent déjà avoir des effets néfastes sur les organismes aquatiques. La toxicité aiguë pour les poissons et les invertébrés aquatiques indiquée dans la littérature est de l'ordre d'env. 100 microgrammes/l. Le zinc provenant des revêtements synthétiques étant adsorbé par la couche de gravier portante, il n'y a pas d'effets néfastes sur les organismes aquatiques à attendre en cas d'infiltration d'eau de percolation dans des eaux de surface.

3.2.4 Eléments traces organiques

Bien que l'élastomère ne soit en principe pas hydrosoluble, tous les essais ont démontré que les différentes matières organiques liées à la surface de l'élastomère et à la matrice de polymères sont lessivées lorsque l'élastomère entre en contact avec l'eau; les méthodes d'analyse des traces disponibles de nos jours permettent de les détecter même en infimes concentrations. Les matières examinées peuvent être décelées dans l'eau d'écoulement de toutes les routes, comme l'ont démontré différentes études scientifiques (par ex. «Umwelteintrag von Benzothiazolen aus dem Reifenabrieb über Kanalisation und Kläranlage», Dissertation von Dirk Krumwiede, Universität Bremen, 2001).

La limite de détection pour les analyses des éléments mesurés est de 0,2 microgramme par litre. Le nombre des éléments traces chimiques de l'élastomère est très important. La détermination de l'azote organique permet de faire certaines estimations de la quantité de matières contenant de l'azote. Sur la base des tests analytiques préliminaires et de l'évaluation préalable des éléments traces pouvant potentiellement être trouvés dans l'eau, les substances ont été identifiées comme pouvant servir d'indicateur: la cyclohexylamine, l'aniline, le benzothiazole, le PBN et l'IPPD. A ce sujet, il faut souligner que la cyclohexylamine, l'aniline et le benzothiazole ne sont pas utilisés en tant que tels pour la fabrication de l'élastomère, mais que ce sont des produits de transformation ou de dégradation résultant du processus de fabrication de l'élastomère, (vulcanisation). En plus des éléments simples mentionnés précédemment, de nombreux composés chimiques peuvent se former au cours du processus de vulcanisation, dont une partie peut également être détectée grâce aux analyses disponibles actuellement. Mais le travail d'analyse nécessaire à la détermination d'autres éléments est très important et par conséquent onéreux. La somme des matières contenant de l'azote peut, comme déjà mentionné, être évaluée à l'aide de la détermination de l'azote organique.

3.2.4.1 Cyclohexylamine

La cyclohexylamine a pu être décelée dans tous les échantillons au début de la période d'essai, à l'exception des échantillons témoins et du gazon synthétique non rempli. Pour la plupart des revêtements, les concentrations se trouvaient en dessous de la limite de détection après la première période de prélèvement déjà (de mai à août 2006). Cela signifie que la cyclohexylamine est relativement vite lessivée. Ce comportement a également été confirmé par les tests d'éluion (voir 3.4).

Pour le revêtement n°1 (essai pilote), ce comportement est illustré par le graphique ci -contre (ill. 7):

Pour les autres revêtements, la situation se présente comme suit (ill. 8):

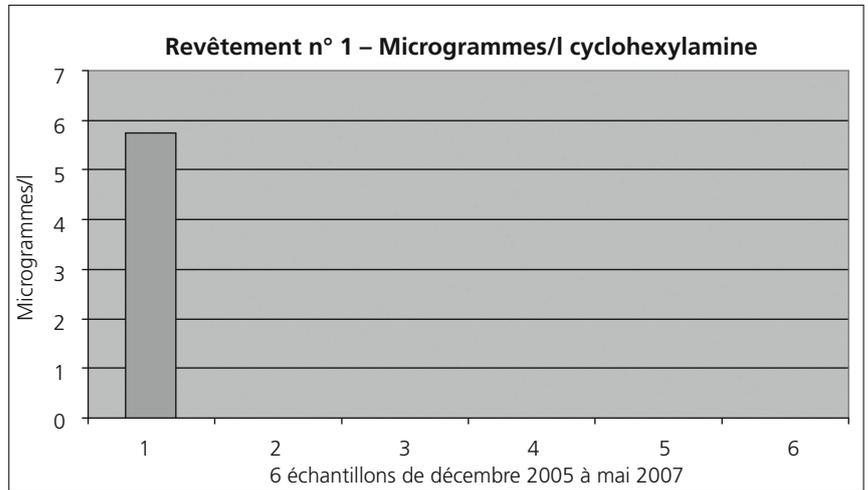


Illustration 7

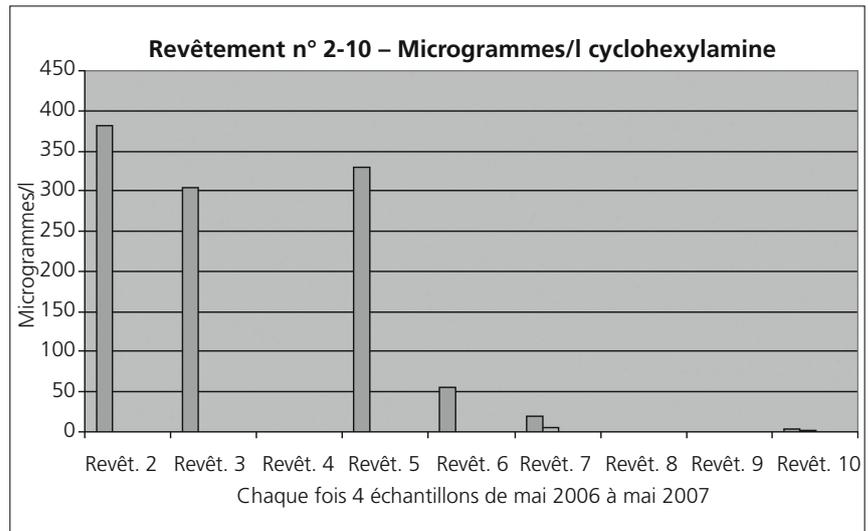


Illustration 8

Comme les analyses le montrent, la cyclohexylamine est éluée relativement rapidement des revêtements. Il n'y a qu'avec les revêtements n° 7 (revêtement élastique imperméable) et n° 10 (couche élastique, échantillon témoin) qu'une infime quantité de cyclohexylamine a encore pu être décelée dans le deuxième échantillon d'eau de percolation. Les revêtements n° 4 (gazon synthétique non rempli), 8 et 9 ne contiennent pas de granulés d'élastomère.

Les quantités de cyclohexylamine éluées pendant toute la durée de l'essai sont présentées ci-contre.

3.2.4.2 Aniline

Pendant toute la durée de l'essai, on n'a pas trouvé d'aniline dans l'eau de percolation du revêtement n° 1 (essai pilote). De très faibles concentrations d'aniline ont été décelées dans les autres revêtements (à l'exception des revêtements 4, 8 et 9 qui ne contiennent pas de granulés d'élastomère). L'évolution de la concentration mesurée pour le revêtement n° 10 (couche élastique comme échantillon témoin) est frappante. Le graphique (illustr. 9) démontre qu'on peut trouver de l'aniline dans l'eau de percolation de tous les revêtements contenant des granulés d'élastomère de recyclage.

Pour le revêtement n° 10, la quantité d'aniline éluée pendant toute la durée de l'essai se monte à près de 30 mg/m², dont près de 80 % ont été élués pendant les deux premières périodes de mesure (de mai à octobre 2007).

Les raisons expliquant les quantités d'aniline relativement élevées du revêtement n° 10 (couche élastique) ne sont pas vraiment claires. Comme cette couche élastique noire était continuellement réchauffée par le rayonnement solaire, il n'est pas exclu qu'en raison des conditions extrêmes de l'essai, des quantités légèrement plus importantes d'aniline aient été libérées à partir de ce revêtement qui, dans le cas normal, se trouve sous un gazon synthétique.

Revêtement n°	Cyclohexylamine mg/m ²	Remarques
1	0,3	Gazon synthétique avec granulés EPDM réticulés au peroxyde sur couche élastique et couche drainante d'asphalte
2	102	Gazon synthétique avec granulés d'élastomère de pneus PL (recyclage)
3	86	Gazon synthétique avec granulés EPDM réticulés au soufre sur couche élastique
4	–	Gazon synthétique non rempli
5	98	Revêtement synthétique de granulés EPDM à couche unique sur couche drainante d'asphalte
6	18	Revêtement synthétique multicouches, granulés d'élastomère recyclé et granulés EPDM en résine PU sur couche drainante d'asphalte
7	6	Revêtement imperméable multicouches sur couche drainante d'asphalte, l'eau des précipitations s'écoule au centre du revêtement
8	–	Echantillon témoin lit de gravier sans revêtement
9	–	Echantillon témoin lit de gravier avec couche drainante d'asphalte
10	1,2	Couche élastique en granulés d'élastomère recyclé, 25 mm

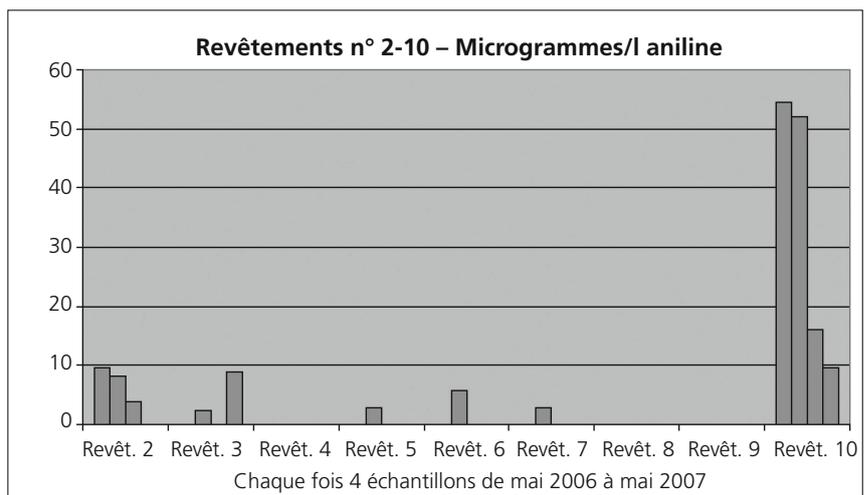


Illustration 9

3.2.4.3 Benzothiazole

Le benzothiazole a pu être détecté dans les échantillons de tous les revêtements (à l'exception du revêtement n° 4, gazon synthétique non rempli, et des échantillons témoins n° 8 et 9). Au contraire de la cyclohexylamine, le benzothiazole est lessivé plus lentement des surfaces d'élastomère, pour autant que les granulés contiennent cette substance. Cela démontre que chacune des substances chimiques se trouvant dans les granulés d'élastomère présente un comportement de lessivage différent lors du contact de l'élastomère avec l'eau (ill. 10 et 11).

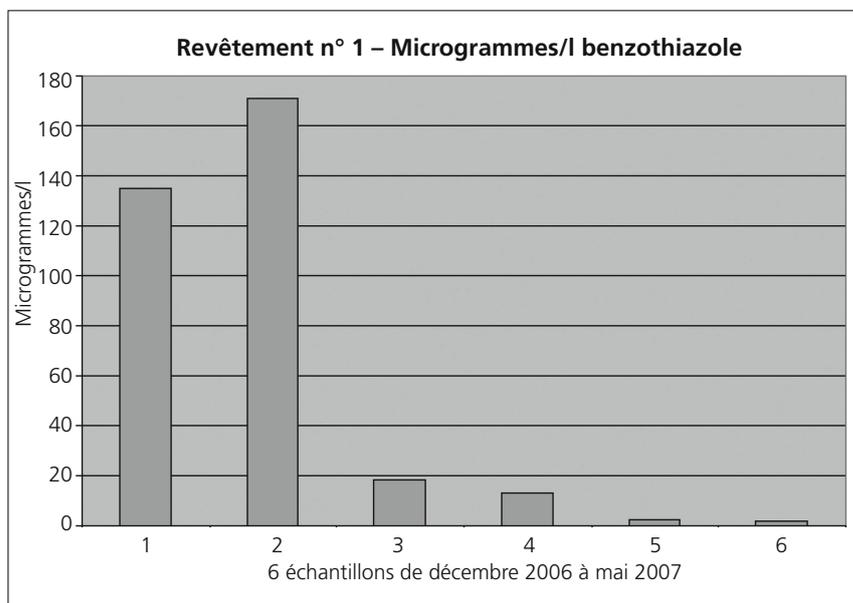


Illustration 10

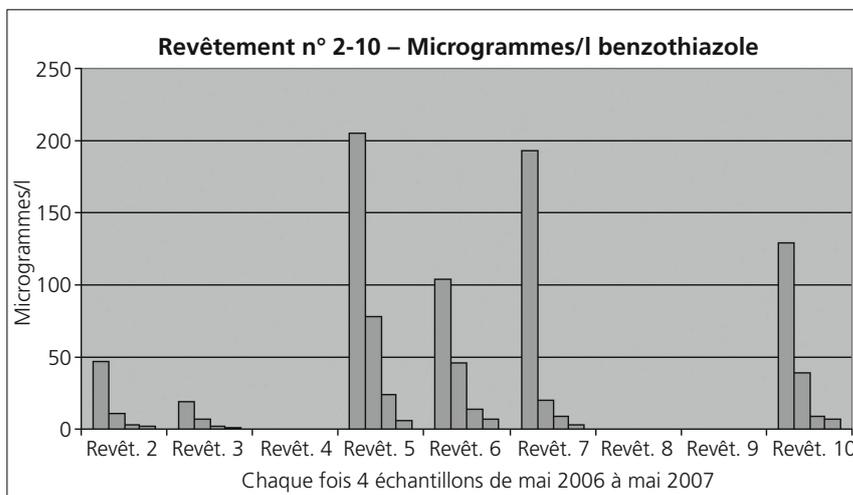


Illustration 11

Les quantités de benzothiazole éluées pendant toute la durée de l'essai sont présentées ci-après:

Revêtement n°	Benzo-thiazole mg/m ²	Remarques
1	93	Gazon synthétique avec granulés EPDM réticulés au peroxyde sur couche élastique et couche drainante d'asphalte
2	17	Gazon synthétique avec granulés d'élastomère de pneus PL (recyclage)
3	8	Gazon synthétique avec granulés EPDM réticulés au soufre sur couche élastique
4	–	Gazon synthétique non rempli
5	86	Revêtement synthétique de granulés EPDM à couche unique sur couche drainante d'asphalte
6	52	Revêtement synthétique multicouches, granulés d'élastomère recyclé et granulés EPDM en résine PU sur couche drainante d'asphalte
7	56	Revêtement imperméable multicouches sur couche drainante d'asphalte, l'eau des précipitations s'écoule au centre du revêtement
8	–	Echantillon témoin lit de gravier sans revêtement
9	–	Echantillon témoin lit de gravier avec couche drainante d'asphalte
10	42	Couche élastique en granulés d'élastomère recyclé, 25 mm

Pour tous les revêtements, des traces minimales de benzothiazole ont pu être décelées dans l'eau de percolation, ceci jusqu'à la fin de la période d'essai. Mais malgré cela, on peut constater également un effet de lessivage marqué du benzothiazole.

Pendant toute la durée de l'essai, ce sont par ex. au total seulement 17 mg/m² de benzothiazole qui ont été lessivés à partir du revêtement n° 2 (gazon synthétique rempli de granulés d'élastomère de pneus PL), dont près de 80 % ont été élués dans les premiers 270 litres d'eau de pluie par m² déjà. Tous les revêtements ont tendance à présenter le même comportement de lessivage.

3.2.4.4 PBN et IPPD

Ces éléments n'ont pu être décelés dans aucun échantillon d'eau de percolation (limite de détection 0,2 microgramme/l).

3.2.4.5 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP en abrégé ou en anglais PAH = Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) constituent un groupe de substances de composés d'hydrocarbures organiques comprenant au moins deux anneaux de benzène liés entre eux. On parle également de systèmes d'anneaux condensés.

On connaît plusieurs centaines de composés HAP. Le HAP le plus simple est la naphthaline (utilisé jadis comme produit anti-mites). Les HAP sont des composants naturels du charbon et de l'huile minérale. Mais ils se forment également lors de combustion incomplète de matériel organique (charbon, bois, combustibles, tabac, etc.) Ces substances peuvent être décelées partout dans le monde entier, dans le sol, l'air et dans l'eau. Parmi les HAP dangereux (effet cancérigène), on compte les composés du groupe des benzopyrènes, par ex. le benz(a)pyrène.

Les 16 HAP listés ci-après, communément analysés de nos jours, ont été mesurés lors de l'analyse des échantillons d'eau de percolation:

- Naphthaline
- Acénaphthylène
- Acénaphthène
- Fluorène
- Phénanthrène
- Anthracène
- Fluoranthène
- Pyrène
- Benz(a)anthracène
- Chrysène
- Benz(b)fluoranthène
- Benz(k)fluoranthène
- Benz(a)pyrène
- Indeno(1,2,3-cd)pyrène
- Dibenz(a,h)anthracène
- Benz(g,h,i)perylène

Les résultats des analyses globales de HAP de l'eau de percolation peuvent être résumés comme suit:

Durant les premiers mois de la période d'essai, des traces de HAP ont pu être décelées dans l'eau de percolation de tous les échantillons, y compris dans les échantillons témoins (lit de gravier sans revêtement). Il s'agit par ex. de traces de naphthaline, de phénanthrène, de fluoranthène dans des concentrations situées entre env. 0,02 et 0,1 microgramme par litre. Aucun échantillon n'a révélé de HAP dangereux, tel le benz(a)pyrène, en concentration supérieure à la limite de détection analytique de 0,02 microgramme par litre. L'évolution des concentrations montre que, pour tous les revêtements, les traces de HAP encore présentes initialement sont lessivées puisque, pour tous les échantillons, les concentrations de tous les HAP analysés se situent en dessous de la limite de détection (0,02 microgramme/l) à la fin des essais. En raison des concentrations très basses situées à la limite de détection, il ne s'avère pas judicieux d'établir un bilan des matières pour les différents composés.

Aucune différence significative des concentrations de HAP n'a pu être constatée dans les échantillons d'eau de percolation des différents revêtements. Sur la base des résultats d'analyse obtenus, on peut conclure que la teneur en HAP de l'eau de percolation est très probablement due aux traces de HAP déjà présentes naturellement dans la couche portante non liée (lit de gravier) et que les revêtement ne libèrent pas dans l'eau des quantités supplémentaires de HAP détectables analytiquement.

3.3 Analyses chimico-physiques des granulés

Des échantillons de réserve de tous les matériaux posés ont été prélevés. Des thermoanalyses ont été effectuées pour caractériser de manière exacte les granulés d'élastomère utilisés et les teneurs en zinc des granulés ont en outre été mesurées. Les teneurs en zinc de l'élastomère se trouvaient au niveau attendu. La concentration de zinc la plus élevée a été trouvée dans les granulés du revêtement n° 2 (gazon synthétique rempli de granulés d'élastomère de pneus PL): 21,2 grammes de zinc par kg de granulés. Les quantités de zinc suivantes ont été mesurées dans les différents échantillons de réserve:

N° E 1/3	14,3 g/kg
Revêtement n° 1	0,03 g/kg
Revêtement n° 2	21,2 g/kg
Revêtement n° 3	4,51 g/kg
Revêtement n° 5	1,99 g/kg
Revêtement n° 6.1	12,3 g/kg
Revêtement n° 6.2	1,84 g/kg
Revêtement n° 6.3	1,97 g/kg
Revêtement n° 7.1	10,5 g/kg
Revêtement n° 7.2	1,20 g/kg
Revêtement n°10.1	16,3 g/kg
Revêtement n°10.2	11,1 g/kg

N° E 1/3: Couche élastique sous les revêtements n° 1 et 3

N° 1: Granulés EPDM réticulés au peroxyde dans un gazon synthétique

N° 2: Granulés d'élastomère de pneus PL (recyclage) dans un gazon synthétique

N° 3: Granulés EPDM réticulés au soufre dans un gazon synthétique

N° 5: Revêtement synthétique à couche unique, granulés EPDM

N° 6.1: Revêtement synthétique multicouches, 1^{re} couche en granulés d'élastomère recyclé

N° 6.2: Revêtement synthétique multicouches, 2^e couche en granulés EPDM

N° 6.3: Revêtement synthétique multicouches, granulés en résine PU

N° 7.1: Revêtement sandwich imperméable, 1^{re} couche en granulés d'élastomère recyclé

N° 7.2: Revêtement sandwich imperméable, 2^e couche en granulés EPDM

N° 10.1: Couche élastique de granulés d'élastomère recyclé (échantillon de réserve)

N° 10.2: Couche élastique de granulés d'élastomère recyclé (véritable échantillon de revêtement)

Comme déjà mentionné, les teneurs en zinc très variables des granulés des différents revêtements ne se sont pas répercutées dans l'eau de percolation grâce à la grande capacité d'adsorption du zinc de la couche portante de gravier non liée.

3.4 Tests d'élution en laboratoire

Des tests d'élution (test d'agitation des granulés dans l'eau) ont été effectués avec différents granulés d'élastomère en complément aux tests de lysimétrie afin de pouvoir comparer et évaluer l'évolution des concentrations durant l'élution au laboratoire et l'évolution des concentrations de l'eau de percolation des lysimètres. Ces tests d'élution ont été effectués selon la méthode de contrôle de la directive 105, mais les échantillons ont été élués sur une durée atteignant 96 heures au lieu de 48 heures seulement, ceci afin de pouvoir observer l'effet de lessivage.

Au total, les essais suivants ont été effectués:

Granulés du gazon synthétique des revêtements n° 2 et 3

- agités dans l'eau à 24/48 heures, dans un rapport de 1:10, avec CO₂ et sans CO₂
- agités dans l'eau à 24/48/72/96 heures dans un rapport de 1:25, sans CO₂

Le contrôle a porté sur les mêmes éléments simples et groupes de matières que dans l'eau de percolation des lysimètres (à l'exception des HAP et du N org.).

Les résultats de ces analyses permettent de résumer comme suit le comportement des granulés dans les lysimètres:

Les résultats d'analyse ont montré que les proportions choisies (1:10 ou 1:25) entre l'eau et la quantité de granulés pour l'élution n'ont pas d'importance par rapport aux quantités de substances spécifiques dissoutes (exprimées en milligrammes de matière/kg granulés d'élastomère).

Tout comme pour les revêtements dans les lysimètres, les composés non organiques et organiques ont été relativement vite lessivés durant l'élution des granulés au cours des tests de laboratoire. La majeure partie des substances est déjà éluee lors du premier contact des granulés avec l'eau. Il a du reste été démontré que le zinc principalement, mais également d'autres substances, ont été dissous en plus grande quantité lors du test d'élution avec de l'eau et du CO₂ qu'avec de l'eau neutre sans CO₂.

Les produits chimiques organiques de l'élastomère présentent en principe le même comportement que le zinc lors du test d'élution. Il y a en revanche des différences au niveau de l'eau de percolation: tandis que le zinc lessivé des revêtements est complètement adsorbé par la couche de gravier, les matières organiques peuvent initialement être décelées dans l'eau de percolation du fait de leurs propriétés, leur dégradabilité biologique et surtout grâce à leur différence de comportement d'adsorption. Encore une fois, chaque matière organique présente un autre comportement.

Le graphique ci-après (ill. 12) présente le comportement des granulés d'élastomère du revêtement n° 2 pour le paramètre global COD (test d'élution avec eau 1:25, sans CO₂).

Au cours de ce test d'élution, une quantité totale de 1 gramme COD par kg d'élastomère a été lessivée après 96 heures.

En comparaison, l'évolution de la concentration mesurée pour le revêtement n° 2 de mai 2006 à mai 2007 dans les 4 échantillons collectifs se présente comme suit (ill. 13).

Après une durée d'exposition d'une année, près de **0,25 gramme COD par kg d'élastomère** a été lessivé par l'eau de pluie du revêtement n° 2 (après déduction de la quantité de l'échantillon témoin du revêtement n° 8 avec lit de gravier sans revêtement synthétique), soit près d'un quart si l'on compare avec le test d'éluion à plus de 96 heures. Le fait que cette quantité soit bien plus faible pourrait s'expliquer entre autres par des processus de dégradation biologique qui se dérouleraient dans les lysimètres, en particulier au niveau de la couche portante de gravier et par le fait que l'éluion effectuée en laboratoire conduit à un lessivage spécifique bien plus élevé en raison du contact plus intense des granulés avec l'eau.

Pour les granulés du revêtement n° 3 (gazon synthétique rempli de granulés EPDM réticulés au soufre), le test d'éluion met en évidence les résultats suivants (ill. 14).

Comparé aux granulés du revêtement n° 2, la concentration initiale est plus basse et la diminution de concentration moins marquée. Ceci démontre que le comportement des matières organiques des granulés est très différent au contact de l'eau.

Pour ces granulés EPDM réticulés au soufre, la quantité totale de COD éluee se monte à 0,1 g COD par kg de granulés. Cela signifie que par rapport aux granulés du revêtement n° 2, le test d'éluion donne une quantité spécifique de COD par kg 10 fois plus faible après dissolution à partir des granulés.

Pour le revêtement n° 3 (gazon synthétique rempli d'EPDM réticulé au soufre), il n'est pas possible de comparer directement le test d'éluion et le COD de l'eau de percolation en raison de la couche élastique posée sous le gazon synthétique du revêtement n° 3.

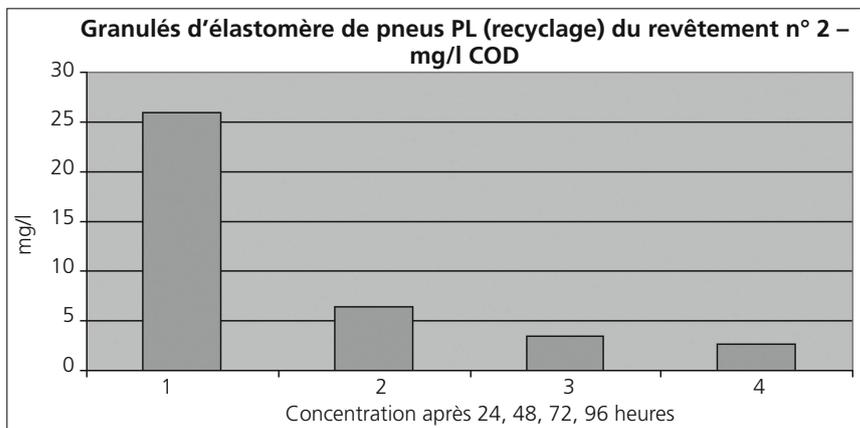


Illustration 12

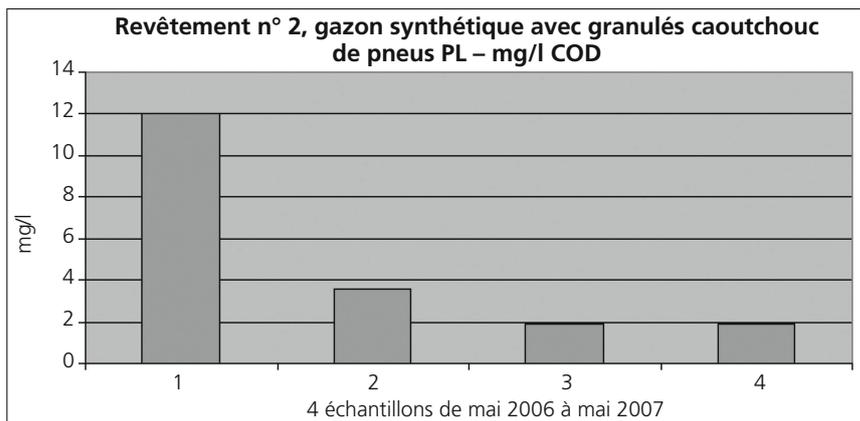


Illustration 13

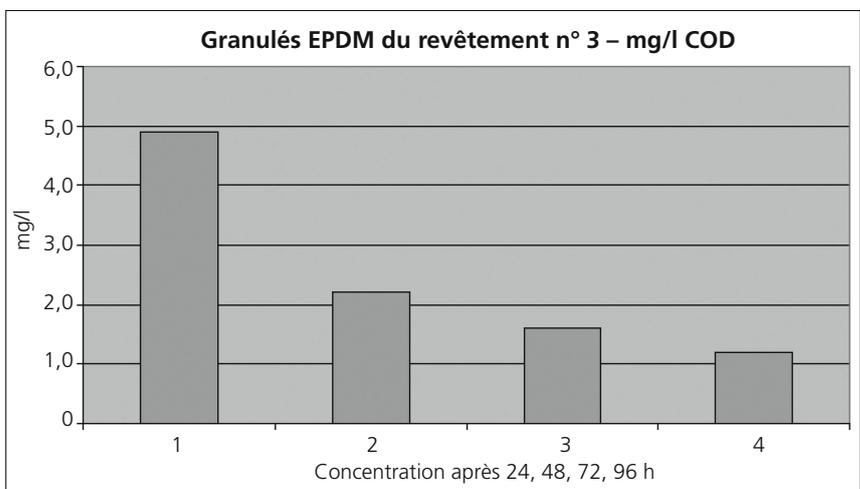


Illustration 14

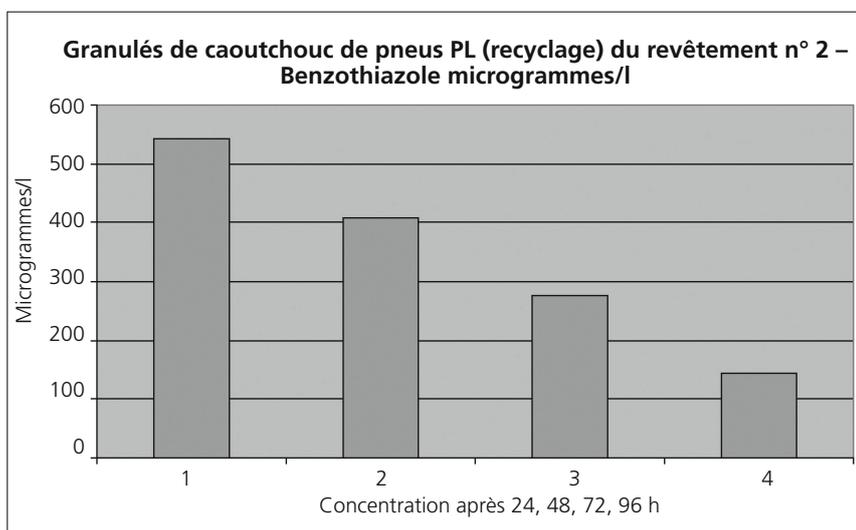


Illustration 15

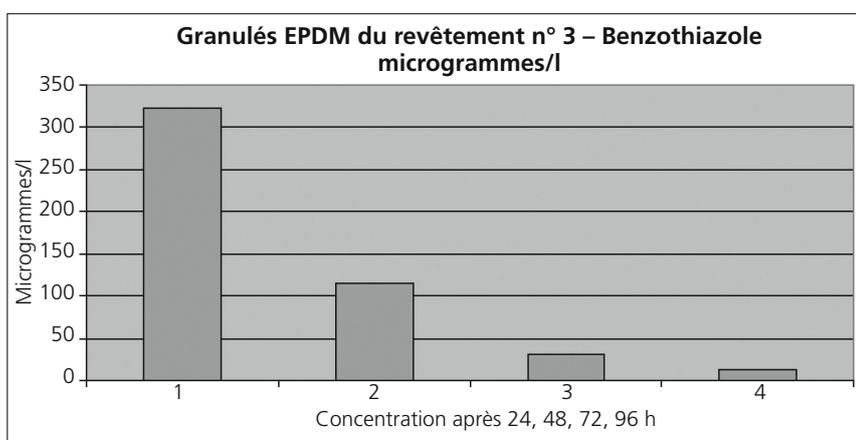


Illustration 16

Pour le **benzothiazole**, le test d'élu-tion des granulés du revêtement n° 2 (granulés d'élastomère de pneus PL) donne les résultats suivants (ill. 15).

Après 96 heures, une quantité totale de **34,2 mg de benzothiazole** par kg d'élastomère s'est dissoute à partir des granulés.

Pendant une année, on a mesuré en tout 17 mg de benzothiazole par m² de revêtement dans l'eau de percolation du revêtement n° 2. En admettant la pose de près de 12 kg de granulés par m² de revêtement, cela donne une quantité spécifique de près de **1,4 mg** de benzothiazole par kg de granulés d'élastomère, soit près de 10 fois moins qu'avec le test d'élu-tion. **On peut ainsi clairement démontrer que si les résultats du test d'élu-tion montrent bien quelles quantités de matières organiques solubles, du benzothiazole dans le cas présent, pourraient s'infiltrer dans l'eau, le test de terrain proche de la pratique montre lui en revanche que la quantité mesurée dans l'eau de percolation est en fin de compte bien plus faible.** Mais il en ressort avant tout très clairement que les résultats du test d'élu-tion effectué jusqu'à présent selon la directive 105 ne permettent pas d'évaluer le comportement réel des revêtements dans des conditions météorologiques naturelles.

Par conversion, ces concentrations donnent une quantité totale de benzothiazole élué se montant à **12 mg par kg de granulés d'élastomère**, sur une durée totale de 96 heures, soit à près d'un tiers comparé à la quantité de **34,2 mg par kg de granulés d'élastomère** provenant des granulés d'élastomère de pneus PL du revêtement n° 2. Afin de vérifier si la conclusion probable selon laquelle ces granulés EPDM réticulés au soufre présentent un comportement global plus favorable à l'environnement que les granulés d'élastomère recyclé, il faudrait effectuer d'autres mesures analytiques systématiques des éléments organiques simples dans l'éluat et finalement, procéder également à une évaluation écotoxicologique.

Pour la **cyclohexylamine** les granulés du revêtement n° 2 présentent l'évolution de la concentration suivante dans le test d'éluat (illustr. 17).

Comme le montre ce graphique, la cyclohexylamine est pratiquement complètement lessivée de la surface des granulés après très peu de temps déjà comparé au benzothiazole et elle ne peut plus être décelée dans l'éluat après 48 heures déjà.

On constate la même tendance de comportement de la cyclohexylamine dans les échantillons collectifs du lysimètre équipé du revêtement n° 2, comme le montre l'illustration 18.

On ne trouve pas de cyclohexylamine dans les tests d'éluat des granulés EPDM réticulés au soufre du revêtement n° 3. Mais comme ce gazon synthétique a été posé sur une couche élastique de granulés d'élastomère recyclé, on a quand même pu trouver de la cyclohexylamine dans le premier échantillon collectif de l'eau de percolation du lysimètre. Cela signifie donc que même si le remplissage du gazon synthétique s'effectue avec des granulés «exempt de cyclohexylamine», cette substance peut s'infiltrer dans l'eau à partir de la couche élastique posée sous ce gazon.

Aniline

Durant les tests d'éluat, une concentration d'aniline en diminution a pu être observée dans les granulés du revêtement n° 2, tandis que les éluats des granulés EPDM réticulés au soufre du revêtement n° 3 ne contenaient pas d'aniline. L'aniline ne provient probablement pas des granulés réticulés au peroxyde mais de la couche élastique sous-jacente.

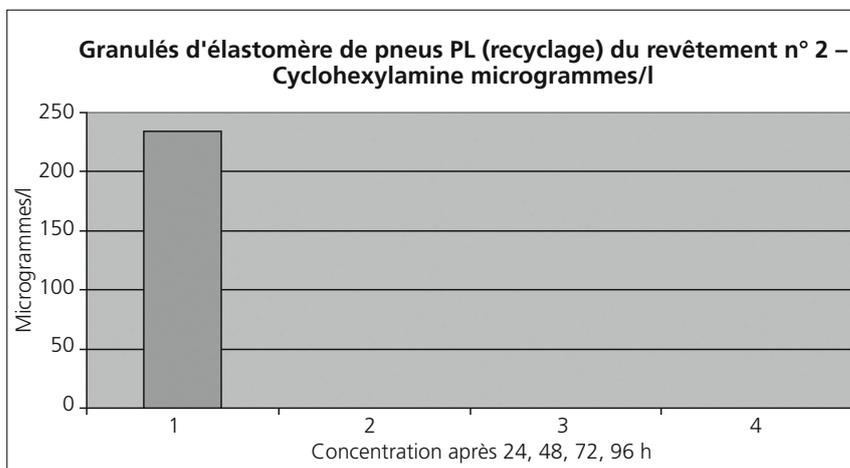


Illustration 17

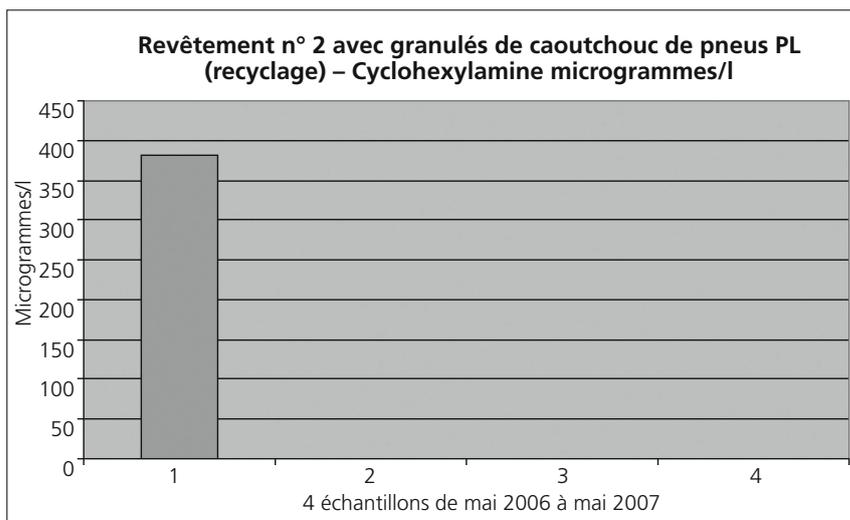


Illustration 18

PBN et IPPD

On n'a trouvé du PBN dans aucun échantillon d'éluat, tandis que de l'IPPD a été décelé dans les granulés du revêtement n° 2 (granulés d'élastomère de pneus PL) durant le test d'éluat avec CO₂ (rapport 1:10) à une concentration < 10 microgrammes/l et à une concentration de < 1 microgramme au cours du test d'éluat sans CO₂.

On n'a pas effectué d'analyse sur d'autres para-phénylènediamines, comme par ex. le 6PPD.

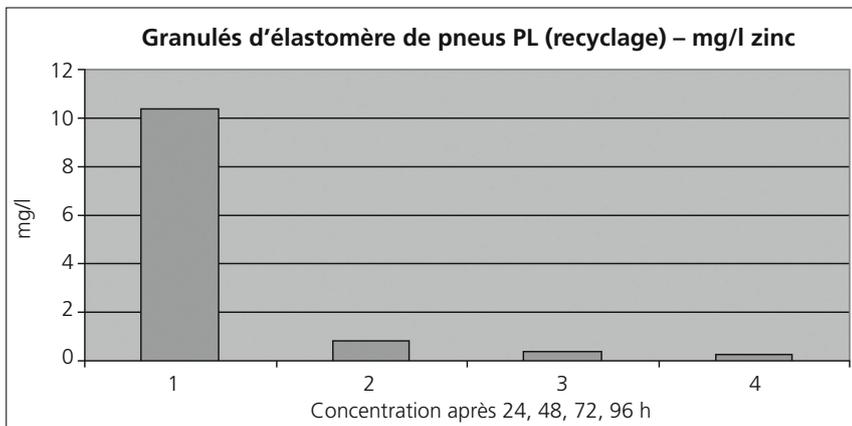


Illustration 19

Zinc: Comme il ressort des tests d'éluion, les granulés à forte teneur en zinc ont tendance à un lessivage de zinc plus élevé lors du premier contact avec l'eau que les granulés à basse teneur en zinc. L'illustration 19 présente à titre d'exemple l'évolution de la concentration au cours de l'éluion du zinc du revêtement n° 2, gazon synthétique rempli de granulés d'élastomère de pneus PL (recyclage) dans un rapport de 1:25 (granulés/eau sans CO₂). Mais l'effet de lessivage dépendant du temps constaté pour les matières organiques s'applique en principe également au zinc. La quantité de zinc lessivée est plus élevée durant l'éluion dans de l'eau acidifiée par du CO₂.

3.5 Analyse de l'eau de percolation du Stade de Suisse (Berne)

Avec la permission de la direction du Stade de Suisse à Berne (Wankdorf), des échantillons d'eau de percolation (contrôle par sondage) du terrain de gazon synthétique de ce stade ont pu être prélevés et analysés à titre de comparaison. Toute l'évacuation des eaux du terrain de jeu s'effectue en système séparatif. Pour autant qu'on puisse en juger sur la base des plans disponibles, l'eau de percolation du terrain n'est ni diluée ni souillée par d'autres eaux d'infiltration ou par de l'eau de pluie. Le premier échantillon d'eau n'ayant pu être prélevé que plusieurs mois après la pose du gazon synthétique, il n'a pas été possible d'examiner et d'évaluer l'eau de percolation après les premières précipitations.

Aucun produit chimique d'élastomère et aucun HAP n'a pu être décelé dans les échantillons d'eau de percolation analysés. Les concentrations de zinc se situaient au niveau de la concentration de fond naturelle de 0,02-0,04 mg/l de zinc. Tandis qu'une concentration de COD de 2,3 mg/l a pu être mesurée dans le premier échantillon d'eau de percolation (octobre 2006), le deuxième échantillon (février 2007) a révélé une concentration de 71 mg/l. Aucune investigation plus poussée n'a été effectuée pour déterminer si cette concentration plus élevée de COD était une conséquence de la manifestation qui s'était tenue sur le terrain de jeu peu avant. L'évacuation des eaux de percolation s'effectuant dans le réseau public, le fait que la concentration en COD soit plus élevée n'est pas déterminante du point de vue de la protection des eaux.

4. Evaluation de la teneur des eaux

Comme les résultats d'analyse autant des éléments simples que des paramètres globaux le démontrent, de nombreux composés chimiques ont été décelés après les premières précipitations dans l'eau de percolation des revêtements synthétiques posés dans les **lysimètres**. La teneur de ces matières est initialement légèrement plus élevée et diminue le plus souvent très rapidement. Chacun des éléments présente un comportement de lessivage qui lui est propre, que ce soit au niveau de la quantité ou au niveau de la durée. La charge de l'eau de percolation, diminuant constamment avec le temps, peut être considérée comme non problématique du point de vue de la protection des eaux. Peu de temps déjà après la mise en service du terrain du Stade de Suisse, plus aucun des produits chimiques de l'élastomère analysés n'a pu être détecté dans l'eau de percolation du gazon synthétique.

Selon les prescriptions relatives à la protection des eaux, l'eau de percolation des revêtements synthétiques peut être considérée comme eau usée non polluée après le premier lessivage de courte durée des matériaux. Les autorités doivent décider de cas en cas des mesures éventuelles à prendre.

Les résultats d'analyse des **éléments simples** au cours des **tests d'éluotion** sur des granulés d'élastomère avec des durées d'éluotion potentiellement plus longues (de plusieurs jours) peuvent servir de point de départ à une évaluation qualitative des revêtements par les quantités de toutes les matières éluées à partir des granulés durant cette brève période. Ces résultats ne constituent toutefois pas une base suffisante pour fixer des critères d'exigence relatifs à la protection des eaux pour les granulés. Il faut mentionner à ce sujet qu'il n'existe pas de bases légales permettant d'édicter des prescriptions pour évaluer la compatibilité environnementale des revêtements synthétiques.

5. Conclusions

Sur la base des essais de terrain effectués en lysimètres (durée de l'essai principal de mai 2006 à mai 2007) ainsi que des analyses complémentaires, on peut en résumé tirer les conclusions suivantes:

- Aussi bien les tests de lysimétrie que les tests d'éluotion montrent que des traces, c'est-à-dire de très petites quantités, de matières organiques peuvent être éluées par l'eau de pluie à partir de tous les revêtements qui contiennent des granulés d'élastomère (élastomère EPDM et élastomère recyclé, le plus souvent à partir de pneus). Les éléments traces décelables analytiquement sont dissous de la surface et de la matrice en polymères des granulés. Leur concentration diminue avec le temps. On retrouve ces mêmes composés dans l'eau qui s'écoule des routes, ceci en raison du frottement des pneus.
- Aussi bien lors des essais en lysimètres que dans les essais d'éluotion, les concentrations des **éléments simples**, du **COD** ainsi que de **l'azote organique** diminuent tout d'abord très fortement puis plus lentement, jusqu'à atteindre un minimum. Cette évolution est spécifique à la matière et fonction du temps. Vers la fin de la période d'essai, après une année, la plupart des élé-

ments simples se trouvent déjà en dessous de la limite de détection. Une courbe de concentration spécifique à la matière peut être observée pour chaque composé chimique des granulés d'élastomère.

- Les valeurs de COD des éluats de granulés sont très différentes de celles des lysimètres. C'est la raison pour laquelle l'éluat de COD n'est pas un critère de mesure approprié pour évaluer le comportement à long terme des revêtements.
- Les très faibles concentrations de **HAP** provenant des granulés sont les mêmes que celles observées dans l'échantillon témoin (lit de gravier sans revêtement); elles correspondent à la charge présente dans l'environnement (ubiquitaire).
- **Le zinc**, provenant de l'oxyde de zinc présent dans l'élastomère, présente un comportement particulier lors du test d'éluotion. Des quantités relativement élevées sont mesurées après les premières 24 heures (les granulés de recyclage, le plus souvent à partir de pneus, à forte teneur d'oxyde de zinc, libèrent des concentrations de zinc plus élevées que les granulés EPDM à teneur plus faible en oxyde de zinc). Les tests d'éluotion avec de l'eau déionisée saturée de CO₂ (acidifiée) donnent des concentrations de zinc plus élevées que celles obtenues avec de l'eau neutre. Par rapport à l'échantillon témoin (lit de gravier sans revêtement), on n'a en revanche pu déceler des concentrations en zinc plus élevées dans l'eau de percolation dans aucun des tests de lysimétrie. Cela est dû à la grande capacité d'adsorption de la couche portante de gravier non liée, ce qui signifie que le zinc a été intégralement retenu dans le lit de gravier. Avec les granulés d'élastomère recyclé enrobés d'une couche synthétique, par ex. du polyuréthane, le test d'éluotion montre que la concentration de zinc est basse après 24 heures déjà, malgré la teneur élevée en oxyde de zinc.
- Les granulés d'élastomère, sous forme non réticulée dans les gazons synthétiques ou réticulés au polyuréthane dans les revêtements élastiques, présentent un comportement très complexe au contact de l'eau, comportement qui n'a jusqu'à présent pas été étudié de manière approfondie dans le cadre des questions relatives à la protection des eaux. Les résultats d'analyse permettent de conclure que des processus d'adsorption et de dégradation s'effectuent dans le lit de gravier.

- Du point de vue scientifique, les connaissances et les bases actuelles ne permettent pas de développer des procédures ou des normes de contrôle qui permettraient de différencier les différents granulés ou revêtements en fonction de leur compatibilité environnementale.
- Le comportement à long terme des différents revêtements et granulés relativement à la protection des eaux n'a jusqu'à présent pas été étudié de manière scientifique. L'élastomère subit un processus de vieillissement dû aux influences de l'environnement (lumière, ozone, oxygène, chaleur). Seules des études à long terme portant sur plusieurs années permettraient de constater dans quelle mesure des quantités de matières organiques et de zinc décelables à l'analyse pourraient être éluées par l'eau de pluie au fil du temps à partir des granulés d'élastomère, qu'ils soient sous forme libre ou liée. Les granulés des revêtements élastiques liés par du polyuréthane sont probablement plus résistants au vieillissement que les granulés libres se trouvant dans les gazons synthétiques.
- Au vu des connaissances scientifiques actuelles et des enseignements du test de terrain et des analyses complémentaires, aucun indice concret ne permet d'affirmer que les revêtements fabriqués selon les techniques du moment sont susceptibles d'influencer de manière significative ou grave la qualité des eaux de surface ou souterraines. Les connaissances actuelles permettent de dire que ni les quantités, minimes, ni les propriétés toxicologiques des différentes matières (pour autant qu'elles soient aujourd'hui connues) initialement lessivées à partir des revêtements ne présentent de danger potentiel intolérable pour les eaux.
- Les procédures de contrôle et les valeurs limites données par la directive 105 doivent donc être abrogées, sans être remplacées. En lieu et place, il faut élaborer des **aides à la décision simples** et des **recommandations** pour la fabrication des revêtements synthétiques et pour le choix des matériaux en fonction de l'élimination future des revêtements.

Ces résultats et évaluations de l'eau de percolation concernent les matériaux utilisés pour la construction des revêtements synthétiques et l'utilisation conforme aux prescriptions de ces surfaces. Si les revêtements synthétiques sont utilisés à d'autres fins (manifestations par ex.), il faut tenir compte du fait que des charges supplémentaires des eaux peuvent en résulter, notamment en raison de débordement de liquides. Dans de tels cas, des mesures adéquates doivent être prises pour prévenir une pollution des eaux.

Annexe 1

Installation de lysimétrie de Berne-Liebefeld



6. Remarques complémentaires

Annexe 2

Quantité d'eau de percolation

Revêtement n°	Période de mesure	Quantité d'eau de percolation l/m ²
1 (essai pilote)	28.12.05-03.03.06	48
	04.03.06-15.05.06	448
	16.05.06-14.08.06	312
	15.08.06-10.10.06	234
	11.10.06-19.02.07	297
	20.02.07-16.05.07	273
	16.05.06-14.08.06	268
2	15.08.06-10.10.06	252
	11.10.06-19.02.07	320
	20.02.07-16.05.07	284
	16.05.06-14.08.06	282
3	15.08.06-10.10.06	216
	11.10.06-19.02.07	285
	20.02.07-16.05.07	256
	16.05.06-14.08.06	249
4	15.08.06-10.10.06	235
	11.10.06-19.02.07	310
	20.02.07-16.05.07	277
	16.05.06-14.08.06	297
5	15.08.06-10.10.06	224
	11.10.06-19.02.07	258
	20.02.07-16.05.07	256
	16.05.06-14.08.06	328
6	15.08.06-10.10.06	246
	11.10.06-19.02.07	313
	20.02.07-16.05.07	284
	16.05.06-14.08.06	253
7	15.08.06-10.10.06	193
	11.10.06-19.02.07	241
	20.02.07-16.05.07	242
	16.05.06-14.08.06	226
8	15.08.06-10.10.06	157
	11.10.06-19.02.07	210
	20.02.07-16.05.07	219
	16.05.06-14.08.06	302
9	15.08.06-10.10.06	238
	11.10.06-19.02.07	305
	20.02.07-16.05.07	284
	16.05.06-14.08.06	244
10	15.08.06-10.10.06	177
	11.10.06-19.02.07	224
	20.02.07-16.05.07	242

Annexe 3

Abréviations

Elastomère et autres désignations

PU Polyuréthane

Pneus PL Pneus de camions

EPDM Ethylène-Propylène-Diène-Elastomère

Désignations chimiques

COD Carbone organique dissous

N org. Azote organique dissous

HAP Hydrocarbures aromatiques polycycliques

PBN N-phényl-2-naphthylamine

IPPD N-isopropyl-N'-phényl-p-phénylènediamine

6PPD N-(1,3-diméthylbutyle)-N'-phényl-phénylène-diamine

Editeur: Office fédéral du sport OFSPO, Macolin
Installations sportives

113 – Revêtements et gazons synthétiques – Comportement dans des conditions météorologiques naturelles

Membres du groupe de travail:

Mathias Held, Office fédéral du sport OFSPO, Macolin (présidence)

Ralph Bergs, BASF, Schaffhouse

Werner Jank, Qualifloor, Rothenburg

Jörg Kaufmann, Gezolan AG, Dagmersellen

Hans-Jörg Kolitzus, Institut für Sportbodentechnik, Eschenz

Edwin Müller, Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne

(conduite du projet)

Günter Preisser, Lörrach (spécialiste en élastomère)

Ernst Widmer, Office de la protection des eaux et de la gestion des déchets, Berne

Heini Zollinger, WALO, Zurich

Traduction: sanovet, Villeneuve

Mise en pages: Monique Marzo, OFSPO

Photos: Mathias Held, OFSPO; Edwin Müller, OFEV

Edition: septembre 2008

Copyright: Office fédéral du sport OFSPO

Internet: www.installations-sportives.ch

Diffusion: Office fédéral du sport OFSPO

Service des installations sportives

2532 Macolin

Courriel: sportanlagen@baspo.admin.ch