

Evaluation environnementale et sanitaire des matériaux de remplissage en gazons synthétiques

Document de référence
Bilans des études 2007 - 2011



RÉSUMÉ

Durant les cinq dernières années, Aliapur et avec la contribution de Fieldturf ont conduit un programme d'études unique par son ampleur et sa durée, centré sur l'évaluation environnementale et sanitaire de l'utilisation de granulats d'élastomères comme matériaux de remplissage des gazons synthétiques de troisième génération.

Ce programme scientifique permet aujourd'hui à Aliapur et à FieldTurf d'apporter des réponses étayées aux questions soulevées par diverses parties prenantes sur l'utilisation de granulats de Pneus Usagés Non Réutilisables (PUNR). Les résultats obtenus ont abouti aux conclusions suivantes :

- les éventuelles émissions dans l'air relarguées par les élastomères utilisés comme matériaux de remplissage n'engendrent aucun risque pour la santé, qu'il s'agisse de sportifs professionnels ou de sportifs amateurs, d'adultes ou d'enfants ;
- les eaux de pluie ayant transité au travers des sols sportifs en gazons synthétiques installés en extérieur sont peu chargées en composés organiques ou en éléments métalliques. De plus, ces concentrations sont compatibles avec les exigences de qualité de la ressource en eau applicables en France.

En montrant l'innocuité des granulats de PUNR vis-à-vis de la santé humaine et de l'environnement, ces résultats permettent ainsi de prouver l'absence de fondement des allégations avancées par certains fabricants de matériaux de synthèse sur des risques supposés de l'utilisation de PUNR.

Soulignons également que ces travaux, initiés à une époque où les normes existantes ne permettaient pas de simuler les conditions réelles d'utilisation des sols sportifs synthétiques, constituent une avancée majeure dans l'élaboration d'un prototype et d'un protocole expérimental adaptés aux conditions réelles d'usage de ce type de surfaces.

En complémentarité avec ces études, une évaluation environnementale des voies de valorisation développées par Aliapur a été menée en appliquant la méthodologie des analyses du cycle de vie et en évaluant un large spectre d'indicateurs tels que les émissions de gaz à effet de serre d'origine fossile, la consommation d'énergie primaire totale, la consommation de ressources non renouvelables, les émissions de gaz acidifiants, etc.

Cette étude menée pendant les années 2008 et 2009 et validée par un comité international d'experts et de parties prenantes, a montré que l'utilisation de granulats de PUNR comme matériau de remplissage des sols sportifs en gazons synthétiques est nettement préférable sur le plan environnemental à l'utilisation du mélange d'élastomère vierge de synthèse (EPDM) et de craie.

Le présent document décrit les objectifs, les protocoles expérimentaux ainsi que les principaux résultats de ces études. Le dernier chapitre fournit des informations approfondies sur la démarche mise en œuvre et les résultats obtenus.

Nous vous en souhaitons une très bonne lecture.

BILAN DES ETUDES :

Études réalisées à la demande d'ALIAPUR et de FIELDTURF TARKETT, avec le soutien de l'ADEME :

- INERIS (2006) - Évaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation de granulats comme matériaux de remplissage des gazons synthétiques – Scénarios d'exposition en conditions Indoor.
- CSTB (2006) - Caractérisation des émissions de COV et de formaldéhyde par des sols sportifs constitués de granulats d'élastomères (vierges et issus de pneumatiques usagés) en remplissage de gazon synthétique.
- EEDEMS (2007) - Évaluation environnementale et sanitaire de l'utilisation de granulats d'élastomères (vierges et issus de pneumatiques usagés) comme éléments constitutifs de sols sportifs en gazon synthétique.
- EEDEMS (2007) - Tests de lixiviation des matériaux de remplissage des sols sportifs en gazon synthétique selon les normes EN 12457-4 et DIN V 18035-7. Rapport d'essais et analyse critique.
- EEDEMS (2011) - Poursuite du suivi de l'évaluation environnementale de l'utilisation de granulats de PUNR comme éléments constitutifs des sols sportifs en gazon synthétique de 3^{ème} génération sur le stade de Bron – année 2010.

Études réalisées à la demande d'ALIAPUR :

- ALIAPUR (2010) – Analyse du cycle de vie pour 9 voies de valorisation des pneus usagés non réutilisables (avec Ecobilan PricewaterCoopers)

Etude réalisée en collaboration avec



Membres du comité de projet

Catherine Clauzade – Aliapur
Jean-Philippe Faure – Aliapur
Sabrina Lebeau - Fieldturf

Table des matières

Résumé	1
Bilan des études :	2
Introduction	5
Les gazons synthétiques, un marché en expansion	6
1. DES CHOIX RESPONSABLES POUR DES SOLUTIONS RESPECTUEUSES DE L'ENVIRONNEMENT ET DES UTILISATEURS	7
1.1. Les choix d'Aliapur	7
1.2. La politique de développement durable de FieldTurf	8
2. TRAVAUX MENÉS PAR ALIAPUR A L'INITIATIVE DE FIELDTURF DEPUIS 2005 : POURQUOI, COMMENT ET PRINCIPALES CONCLUSIONS	9
2.1. Interaction avec le milieu environnant	9
2.2. Interaction avec l'air ambiant	12
2.3. Apport des travaux d'Aliapur et FieldTurf pour la mise au point de test pertinent	13
3. ANALYSE DU CYCLE : LA VALORISATION DES PUNR COMME MATÉRIEAUX DE REMPLISSAGE DES SOLS SPORTIFS	13
4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	15
5. POUR ALLER PLUS LOIN	16
5.1. Protocole d'échantillonnage et composition élémentaire des granulats issus de Pneus usagés	16
a. protocole d'échantillonnage	16
b. Composition élémentaire des granulats issus de pneus usagés	16
5.2. Interaction avec les eaux : évaluation des risques sanitaires et environnementaux	17
a. Protocole d'essais et conditions d'expérimentation	17
b. Présentation des principaux résultats obtenus	20
c. Cinétique de relargage	21
d. Focus sur le zinc	23
e. Focus sur le plomb et les hydrocarbures aromatiques polycycliques	24
f. Evaluation des risques sanitaires et environnementaux	25
Bibliographie	29

INTRODUCTION

L'installation de sols sportifs synthétiques en extérieur est en forte progression depuis le milieu des années 2000. Ces gazons synthétiques dits de troisième génération sont des produits composites comprenant généralement un tapis de fibre synthétique, un lestage constitué d'une couche de sable et une couche de granulats amortissants en remplissage.

Différents matériaux de remplissage peuvent être employés par les installateurs, les plus couramment utilisés étant les granulats en élastomères de synthèses fabriqués spécialement à cet effet ainsi que les granulats issus de la valorisation de Pneumatiques Usagés Non Réutilisables (PUNR). Ces granulats sont désignés généralement à tort par le terme SBR en raison de la présence de cet élastomère entrant dans la composition des pneumatiques.

Le succès et le développement rapide de ces surfaces ont amené des institutionnels, des fédérations sportives, des citoyens, des collectivités locales et diverses autres parties intéressées de différents pays à s'interroger sur l'innocuité des matériaux de remplissage utilisés dans la réalisation de ces surfaces vis-à-vis de la santé humaine et de l'environnement.

Pour répondre à ces questionnements, la société Aliapur, acteur de référence dans la valorisation des pneus usagés, et la société Fieldturf, leader de la réalisation de gazons synthétiques, ont initié dès 2005 un programme d'expérimentation établi en collaboration étroite avec des experts scientifiques et avec le soutien de l'ADEME.

Nombreuses sont les études portant sur les impacts environnementaux et sanitaires des gazons synthétiques, mais rares sont les organismes ayant poursuivi ce type d'études sur plusieurs années.

En complément, Aliapur a réalisé une analyse de cycle de vie montrant les bénéfices environnementaux de cette voie de valorisation par rapport à la solution traditionnelle utilisant des élastomères vierge de synthèse et de la craie.

Après cinq années d'études, Aliapur et FieldTurf ont souhaité partager les résultats et les avancées méthodologiques issus de leurs travaux.

Le présent document s'adresse à tous ceux qui souhaitent appréhender en quelques pages les principaux objectifs et enseignements de ces travaux mais aussi aux personnes intéressées par des informations plus détaillées. La partie « Pour aller plus loin » leur est destinée.

LES GAZONS SYNTHÉTIQUES, UN MARCHÉ EN EXPANSION

Mis au point au cours des années 1990, les sols sportifs en gazon synthétique de troisième génération connaissent un fort développement, notamment en Europe et aux Etats-Unis. FieldTurf a ainsi déjà plus de 5 000 terrains installés à travers l'Europe.

Cette nouvelle génération de gazons synthétiques se différencie des précédentes par l'utilisation de fibres de plus grande durabilité et de plus faible abrasion, réduisant ainsi le risque de brûlure pour les joueurs, ainsi que par l'incorporation de granulats amortissants comme matériau de remplissage.

Ces types de surface présentent des avantages indéniables pour les clubs sportifs et les collectivités, parmi lesquels : (i) l'augmentation du nombre d'heures d'utilisation des aires de jeux car elles permettent une utilisation des terrains tout au long de l'année quelles que soient les conditions météorologiques, (ii) des performances stables dans le temps avec un entretien et une maintenance limités en comparaison d'une pelouse naturelle.

Ces nouvelles surfaces ont également su répondre aux exigences du monde sportif professionnel. La Fédération Internationale de Football Association (FIFA), convaincue de l'intérêt de ces types de surfaces, a développé dès l'année 2001 le concept de qualité FIFA pour gazon artificiel¹ afin de standardiser la qualité des terrains artificiels dans le monde. Depuis le 1er février 2004, la FIFA et l'UEFA autorisent le déroulement de matchs de compétition sur ce type de surfaces.

Le gazon synthétique est un produit composite constitué d'une membrane support, de fibres synthétiques, d'un lest de sable et d'un matériau de remplissage constitué de granulats libres.

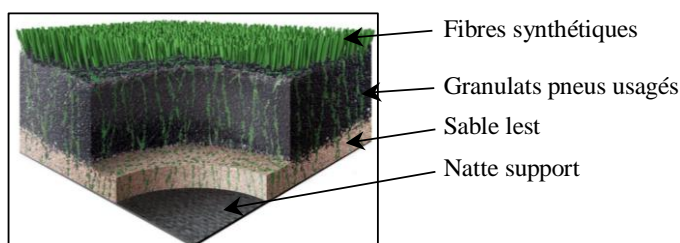


Figure 1: Coupe schématique verticale d'un sol sportif de 3^{ème} génération avec remplissage en granulats de pneus usagés (Source : document FieldTurf Tarkett)

Différents matériaux de remplissage sont à ce jour employés par les installateurs. Les plus couramment utilisés sont les granulats issus de la valorisation de pneumatiques usagés ainsi que les granulats en matériaux de synthèse vierges (EPDM, TPE notamment²) fabriqués spécialement à cet effet. D'autres types de remplissage, tels que les granulats de PUNR enrobés de polyuréthane ou les granulats de liège sont également utilisés.

En France, pour la seule année 2010, près de 40 290 tonnes de granulats de pneumatiques usagés ont été valorisées comme matériaux de remplissage de terrains sportifs de grandes dimensions que ce soit pour assurer la couche de remplissage des terrains en gazons artificiels ou comme matériau constitutif de la sous-couche amortissante où les granulats de PUNR sont liés par une matrice de polyuréthane.

Le développement soutenu des surfaces en gazons synthétiques durant ces dix dernières années a conduit diverses parties prenantes à s'interroger sur les éventuels risques sanitaires et environnementaux associés à l'utilisation des élastomères comme matériau de remplissage.

De nombreuses études scientifiques ont ainsi été réalisées, en particulier en Europe et aux Etats-Unis, afin de caractériser les émissions d'éléments métalliques ou de substances organiques dans l'air ou dans les eaux et/ou d'évaluer les risques pour la santé humaine et pour l'environnement.

La société Aliapur, en collaboration étroite avec FieldTurf, contribue activement à cet effort de recherche depuis 2005, année de démarrage de son programme d'études scientifiques dédiées aux sols sportifs synthétiques.

¹ http://fr.fifa.com/mm/document/afdeveloping/pitch&equipment/50/15/94/footballturfbookletfrench_07012009.pdf

² EPDM : éthylène-propylène-diène monomère ; TPE : élastomère thermoplastique, deux produits issus de l'industrie pétrochimique

1. DES CHOIX RESPONSABLES POUR DES SOLUTIONS RESPECTUEUSES DE L'ENVIRONNEMENT ET DES UTILISATEURS

1.1. LES CHOIX D'ALIAPUR

La société Aliapur, acteur de référence dans la valorisation des pneus usagés, a été fondée en 2002 par les manufacturiers de pneumatiques afin d'apporter une réponse collective aux obligations réglementaires en vigueur en France concernant la gestion des pneus usagés.

Depuis sa création, Aliapur s'est donnée pour mission de développer et d'optimiser des voies de valorisation respectueuses de la santé humaine et de l'environnement et créatrices de valeurs. Elle a ainsi fait le choix de consacrer une part importante de son budget à la recherche industrielle et au soutien de projets répondant positivement à ces critères fondamentaux.

Un programme d'études scientifiques correspondant à une évaluation du comportement des granulats en conditions réelles d'usage

Face aux interrogations formulées par différentes parties prenantes quant à l'innocuité des remplissages en granulats de PUNR dans les sols sportifs, et aux allégations sans fondement avancées par les fabricants de matériaux de synthèse sur des risques supposés résultant de leur utilisation, Aliapur et FieldTurf ont souhaité disposer d'éléments objectifs et représentatifs des conditions d'usage relatif à cette voie de valorisation émergente.

Ainsi, dès l'année 2005, le service Recherche et Développement d'Aliapur a engagé une collaboration étroite avec des professionnels des sols sportifs et des experts scientifiques afin d'évaluer les impacts environnementaux et sanitaires de différents matériaux de remplissage des gazons synthétiques.

Le premier programme d'études scientifiques, réalisé en partenariat avec la société Fieldturf Tarkett, leader mondial des sols sportifs synthétiques, et avec le soutien de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), a ainsi été confié à un consortium scientifique regroupant :

- le Groupement d'Intérêt Scientifique EEDEMS³ qui rassemble les compétences de cinq organismes publics (INSA de Lyon, ENTPE, CSTB, BRGM et Ecole des Mines de Saint Etienne) ;
- l'INERIS, Institut National de l'Environnement industriel et des RISques.

Ces expérimentations se poursuivent avec le concours d'EEDEMS, et ce jusqu'en 2013, de façon à disposer d'un suivi sur 8 ans, ce qui correspond à la garantie fabricant classique d'un terrain en gazon synthétique.

Cet historique important et unique de travaux et de résultats permet aujourd'hui à Aliapur d'apporter des réponses robustes et étayées aux questions soulevées par les professionnels, les fédérations sportives, les institutionnels, les collectivités locales et les utilisateurs finaux.

Une contribution active aux travaux de normalisation relatifs aux sols sportifs

Aliapur est par ailleurs particulièrement engagée dans les travaux de normalisation relatifs aux sols sportifs, tant au niveau français qu'au niveau européen ; les expérimentations conduites avec EEDEMS sur l'évaluation du comportement à la lixiviation des granulats de sols sportifs ont en effet permis de reproduire à une échelle prototype de laboratoire un système de gazon synthétique et d'élaborer un protocole de test associé permettant de simuler des conditions réelles d'utilisation des granulats.

³ Evaluation Environnementale des Déchets, Matériaux et Sols Pollués

Le bilan environnemental favorable des voies de valorisation des pneus usagés

Soucieuse de l'intérêt environnemental global des voies de valorisation dont elle contribue au développement, Aliapur a en outre procédé en 2008-2009 à une Analyse du Cycle de Vie des différentes voies de valorisation des PUNR.

Cette évaluation a ainsi permis de comparer le bilan environnemental de neuf voies de valorisation des Pneus Usagés Non Réutilisables (PUNR) par rapport aux solutions traditionnelles auxquelles elles se substituent.

Concernant l'utilisation de granulats de PUNR comme matériau de remplissage des sols sportifs en gazons synthétiques à la place du mélange de caoutchouc (EPDM) et de craie, l'étude a permis de confirmer pleinement l'intérêt de cette valorisation du point de vue environnemental.

1.2.LA POLITIQUE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE DE FIELDTURF

FieldTurf est la marque de gazons synthétiques de Tarkett Sports, une division du groupe Tarkett, leader mondial des revêtements de sols et surfaces sportives. Tarkett Sports fabrique et commercialise aussi des revêtements de sols en PVC, linoléum, parquets pour le handball, basket-ball, volley-ball, badminton, squash, pistes d'athlétisme... La division a réalisé plus de 7 000 installations indoor et outdoor dans le monde entier. www.tarkett-sports.fr

Une politique ambitieuse d'éco-conception

Les notions de développement durable et d'éco-conception sont au cœur du processus de conception et de fabrication des produits Tarkett. Voici **4 piliers** afin d'effectuer un choix raisonné.

« Innovations produit »



Tarkett développe des matériaux plus performants et favorisons les matières naturelles et renouvelables.

- iQ Omnisports contient 75% de matière naturelle et renouvelable
- Chaque gazon synthétique FieldTurf valorise 30 000 pneus usagés.

« Gestion des ressources »



Conception des revêtements de sols produits avec peu de ressources.

- Production européenne
- Usines Tarkett certifiées ISO 14001 et OSHAS 18001 et répondent aux standards WCM (World Class Manufacturing)

« Bien-être et qualité de vie »



Fabrication des produits plus sains et plus sûrs.

- Pas d'addition de produits chimiques dans la production des gazons FieldTurf, pour réduire l'empreinte carbone
- Tous les produits Tarkett Sports indoor ont un taux d'émission de COV < à 100ug/m3 à 28 jours

« Recyclage »

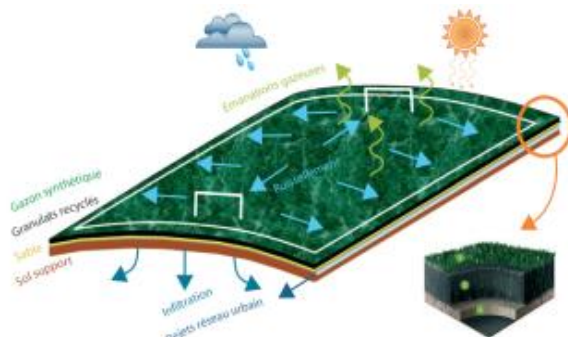


Participation active au recyclage des produits.

- Les terrains FieldTurf sont potentiellement recyclables à 100%
- Tarkett innove avec sa filière de recyclage unique Re-Use

2. TRAVAUX MENÉS PAR ALIAPUR A L'INITIATIVE DE FIELDTURF DEPUIS 2005 : POURQUOI, COMMENT ET PRINCIPALES CONCLUSIONS

Les terrains de sport en gazons synthétiques sont pour la plupart installés en extérieur et sont donc soumis aux aléas climatiques et aux précipitations.



Ces eaux météoriques traversent la structure puis s'infiltrent dans les sols sous-jacents ou rejoignent les réseaux de collecte des eaux usées ou des eaux pluviales.

Dès lors, l'incidence de ces eaux sur la qualité de la ressource en eau potable ou encore sur les écosystèmes aquatiques peut se poser.

Figure 2: Terrain synthétique extérieur soumis aux phénomènes climatiques (Source : document Aliapur /FieldTurf Tarkett)

Certaines utilisations de granulats en EPDM ou TPE concernent également des gymnases fermés. L'air intérieur de ces gymnases est alors susceptible de contenir des composés volatiles émanant des différents constituants du gazon synthétique. Ces substances peuvent être inhalées par les personnes fréquentant ces installations et la question de l'incidence de substances sur leur santé peut se poser.

C'est pourquoi le programme scientifique développé par Aliapur et Fieldturf a été établi de façon à apporter des éléments objectifs et utiles aux questions soulevées ci-dessus en analysant différents types de remplissage utilisés par les installateurs de surfaces en gazons synthétiques : granulats issus de pneus usagés. Ce programme scientifique compte parmi les travaux expérimentaux les plus importants existants à ce jour sur l'évaluation environnementale et sanitaire des surfaces en gazons synthétiques. Deux aspects principaux ont été étudiés, premièrement l'interaction avec le milieu environnant puis l'interaction avec l'air ambiant

2.1. INTERACTION AVEC LE MILIEU ENVIRONNANT

Pourquoi ?

Les études conduites par Aliapur et Fieldturf de 2005 à ce jour ont été établies et conduites de façon à apporter des éléments de réponse aux questions suivantes :

- Les eaux de pluie traversant un revêtement en gazon synthétique se chargent-elles en métaux ou composés organiques provenant des matériaux constitutifs du gazon, et si oui quelles sont les concentrations et quantités ?
- Ces eaux étant susceptibles de s'infiltrer dans les sols ou de rejoindre les réseaux d'assainissement collectifs, qu'en est-il des éventuels impacts de ces percolats⁴ pour l'environnement et la santé humaine ?

Comment ?

Deux types d'expérimentations ont été menées en parallèle :

- sur des mini-terrains instrumentés reproduits à l'échelle du laboratoire, conçus de façon à être représentatifs des conditions réelles d'usage ;
- *In situ*, grâce à une instrumentation installée sur un terrain d'entraînement de football situé en région lyonnaise pour lequel un suivi sur plusieurs années est réalisé de façon à appréhender le comportement de sols sportifs en gazons synthétiques tout au long de leurs durées de vie.

⁴ Le percolat est le [liquide](#) résiduel qui provient de la [percolation](#) de l'eau à travers un [matériau](#).

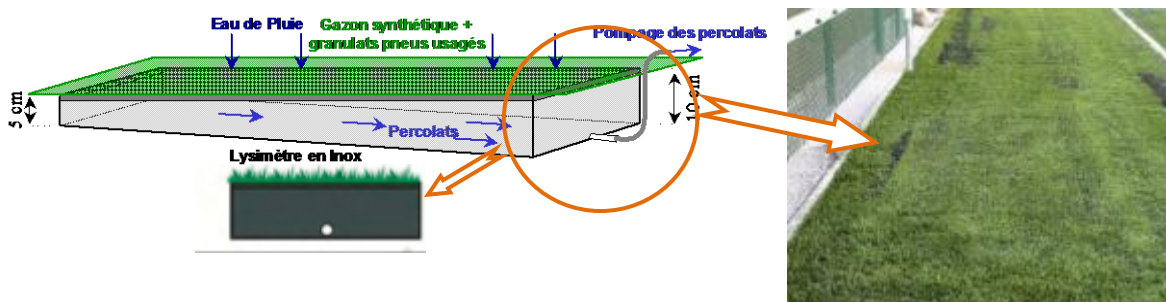


Figure 3: Schéma du système de collecte des eaux sous le terrain instrumenté à Bron en région Lyonnaise (Source : document Aliapur /FieldTurf Tarkett)

Au cours de ces deux séries d'expérimentations, 42 paramètres physico-chimiques (pour plus d'information se reporter au chapitre « pour aller plus loin ») ont été contrôlés. Les principales substances recherchées sont celles entrant dans la composition des pneumatiques et d'autres susceptibles d'être présentes dans les pneus du fait de leur usage :

- Une quinzaine de métaux parmi lesquels **le zinc et le plomb**, couramment cités dans les études bibliographiques portant sur les gazons synthétiques utilisant des granulats de pneus usagés
- Des composés organiques tels que les phénols, **les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)**, les hydrocarbures totaux.

De plus, le risque de toxicité pour les organismes aquatiques a été évalué sur la base d'essais normalisés pour deux espèces : une algue verte, un crustacé aquatique appelé daphnie. Les eaux recueillies sur le terrain extérieur et sur les mini-terrains ont été testées.

Pour plus de précisions, veuillez-vous reporter au chapitre « Pour aller plus loin ».

Quels résultats, quelles conclusions ?

L'expérimentation en laboratoire tout comme le suivi *in situ* réalisé sur le terrain de Bron, déjà riche d'un historique de cinq années de résultats, montrent que les concentrations dans les eaux ayant traversé la structure en gazon synthétique sont généralement faibles à très faibles, voire au-dessous des seuils de détection analytique pour de nombreux composés (en cohérence avec les obligations réglementaires voir tableau ci-dessous).

Ces concentrations ont été comparées à différents référentiels réglementaires français définissant les valeurs de référence pour les eaux brutes destinées à la consommation humaine ainsi que les normes de rejets d'effluents industriels⁵ dans les réseaux collectifs d'assainissement ou dans le milieu naturel.

Les résultats pour quelques composés fréquemment étudiés dans la bibliographie relative aux gazons synthétiques sont donnés dans le tableau 1.

Concernant les risques pour les milieux aquatiques, aucune toxicité n'a été observée sur les daphnies, quel que soit le type de granulats d'élastomère utilisé en remplissage. Cela signifie qu'il n'y a aucun impact sur la vie aquatique et les espèces en présences.

Il en est de même pour la majorité des tests réalisés sur l'algue verte, quelques prélèvements ayant toutefois montré une toxicité limitée pour des percolats quasi-purs, c'est-à-dire sans prise en compte des phénomènes de dilution intervenant lors du transfert des percolats vers le milieu aquatique (à noter, que les eaux de pluies peuvent également contenir des composés tel que le zinc).

⁵ Arrêté du 2 février 1998 relatif aux émissions des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine

Composé Concentrations	Expérimentation en laboratoire - remplissages testés : ETP, pneus usagés, EPDM - suivi sur 11 mois	Expérimentation <i>in situ</i> (Bron) - remplissage à base de granulats en pneus usagés - 5 ans de suivi	Valeur seuil pour les rejets industriels	Eaux destinées à la production d'eau potable ⁶
Zinc	Pneus usagés : 0,003 à 0,056 mg/l Autres remplissages : 0 à 0,129 mg/l	Entre 0,048 et 1,09 mg/l	2 mg/l	5 mg/l
Plomb	Pneus usagés : 0,013 mg/l au maximum Autres remplissages : 0,026 mg/l au maximum	Concentrations inférieures à la limite de détection analytique (0,003 mg/l) à l'exception d'une valeur (0,007 mg/l)	0,5 mg/l	0,05 mg/l
Chrome	Concentrations inférieures à la limite de détection analytique (0,002 mg/l)	Concentrations inférieures à la limite de détection analytique (0,002 mg/l), à l'exception de quelques valeurs comprises entre 0,003 mg/l et 0,005 mg/l	0,5 mg/l	0,05 mg/l
Phénols	Concentrations inférieures à la limite de détection analytique (0,02 mg/l)	Concentrations inférieures à la limite de détection analytique (0,02 mg/l)	0,3 mg/l	0,005 à 0,1 mg/l selon le type de ressource
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	Pneus usagés : 0,000015 à 0,00006 mg/l Autres remplissages : 0,000015 à 0,00009 mg/l	Concentrations comprises entre 0,000015 et 0,000049 mg/l	0,05 mg/l	0,0002 à 0,001 mg/l selon le type de ressource

Tableau 1 – Concentrations dans les eaux de percolation - résultats des expérimentations pour quelques composés fréquemment étudiés dans la bibliographie relative aux surfaces en gazons synthétiques

Quel que soit le type de remplissage considéré (PUNR, ou EPDM), les concentrations dans les eaux recueillies se révèlent très majoritairement inférieures aux valeurs de référence applicables en France sur la qualité de la ressource en eau.

Pour plus de précisions, veuillez-vous reporter au chapitre « Pour aller plus loin ».

⁶ Valeurs impératives pour les eaux douces superficielles (types A2 et A3) et les eaux brutes utilisées pour la production d'eau potable.

2.2.INTERACTION AVEC L'AIR AMBIANT

Pourquoi ?

Une étude sur les rejets dans l'air a été conduite en 2005 par des experts d'EEDEMS (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) et de l'INERIS de façon à apporter des éléments de réponse aux questions suivantes :

- Les matériaux entrant dans la composition d'un sol sportif en gazon synthétique libèrent-ils des substances dans l'air et si oui lesquelles et quelles sont les concentrations en jeu ?
- Ces substances peuvent-elles engendrer des risques pour la santé en cas d'inhalation ?

Comment ?

L'étude a été menée en deux temps :

- Un premier volet destiné à quantifier les composés organiques volatils, susceptibles d'être relargués dans l'air intérieur d'une installation fermée grâce à des chambres expérimentales étanches et selon les normes en vigueur des normes en vigueur pour la caractérisation des émissions dans l'air intérieur des produits de construction (selon les normes prEN ISO 16000-9, NF ISO 16000-6 et NF ISO 16000-3)
- Un second volet destiné à évaluer les risques pour la santé du fait de l'inhalation des substances présentées dans l'air en utilisant la méthodologie de référence européenne pour ce type d'évaluation (scénario « worst case »).

Pour des raisons de faisabilité et en vertu du principe de prudence, une **situation défavorable** d'exposition dans un gymnase a été préférée à une exposition sur une surface sportive en plein air. Le choix a donc été fait de se placer dans un scénario majorant, en considérant un gymnase de petite taille et faiblement ventilé dans lequel les substances émises seraient susceptibles de se concentrer dans le volume d'air.

L'étude s'est intéressée à différents groupes de personnes susceptibles de fréquenter un gymnase : les sportifs et les spectateurs, adultes et enfants, mais aussi les professionnels posant les sols synthétiques.

Plus de 110 substances, composés organiques volatils et aldéhydes (dont formaldéhyde), ont été analysées. L'évaluation des risques sanitaires a été conduite pour les substances pour lesquelles des valeurs toxicologiques de référence (VTR) étaient disponibles.

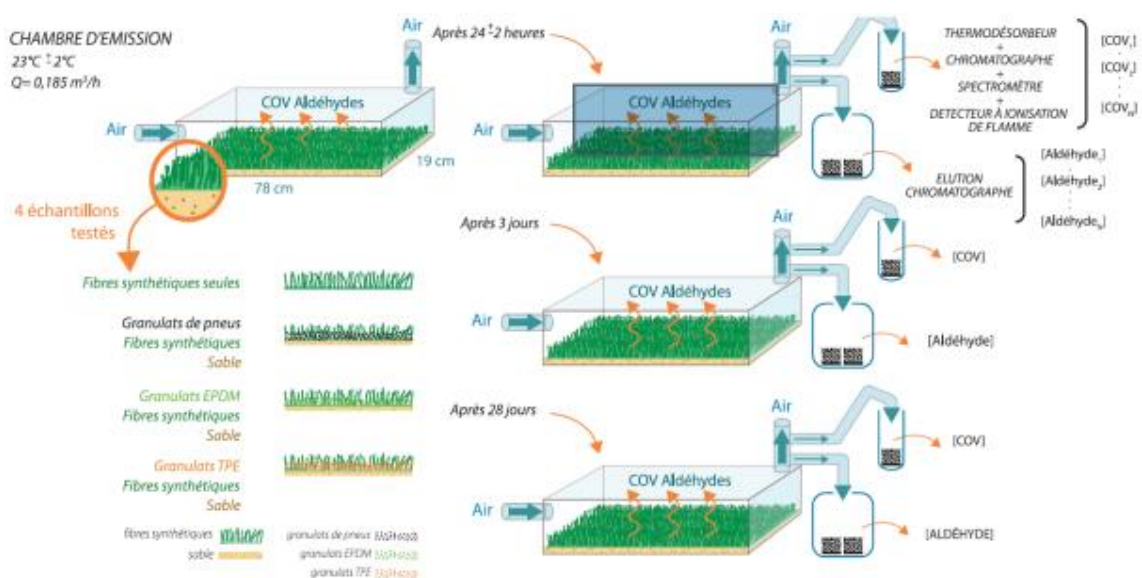


Figure 4: Schéma de principe de la démarche d'évaluation des émissions gazeuses (Source : document Aliapur /FieldTurf Tarkett)

Quels résultats, quelles conclusions ?

La quantification des émissions de composés organiques volatils (COV) et d'aldéhydes réalisée par le CSTB montre une décroissance rapide de celles-ci au cours des quelques jours qui suivent la mise en place des sols en gazons synthétiques.

Au bout de 28 jours, les émissions d'un gazon synthétique comportant des granulats de pneus usagés ou sont relativement faibles (entre 100 et 150 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Les émissions d'un gazon synthétique comportant des granulats en EPDM sont plus importantes (environ 500 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

L'évaluation des risques réalisée par l'INERIS à partir de la quantification des émissions conclut, qu'en l'état actuel des connaissances, les émissions de composés organiques volatils et d'aldéhydes des trois types de sols synthétiques étudiés en situation « intérieure » majorant (gymnase de petite taille et faiblement ventilé) sont non préoccupantes pour la santé humaine des utilisateurs, qu'il s'agisse de sportifs professionnels ou de sportifs amateurs, d'adultes ou d'enfants.

L'INERIS précise par ailleurs que les risques sanitaires associés à l'inhalation des COV et aldéhydes émis par les sols synthétiques sur des terrains en situation « extérieure » sont de fait **non préoccupants pour la santé humaine**.

2.3. APPORT DES TRAVAUX D'ALIAPUR ET FIELDTURF POUR LA MISE AU POINT DE TEST PERTINENT

En 2005, lorsque les travaux d'études ont été engagés, s'est immédiatement posé la question de la méthodologie à utiliser dans l'objectif de rendre compte le plus fidèlement possible des conditions réelles d'utilisation des sols sportifs synthétiques.

Rapidement, l'équipe scientifique a mis en avant l'impossibilité de prendre en compte cette exigence de représentation de la réalité avec les normes existantes, qu'il s'agisse de la norme européenne *EN 12457-4*, américaine *SPLP méthode 13-12* ou allemande *DIN 18035-7*, ces normes ayant été développées dans d'autres optiques :

- Impossibilité de tester le système complet (tapis de fibres, lestage en sable, matériaux de remplissage) ;
- Impossibilité de reproduire des conditions de contact réalistes entre le système « gazon synthétique » et les eaux météoriques : temps et surface de contact, alternance entre périodes sèches et périodes humides.

Aliapur et FieldTurf, avec le concours des experts scientifiques d'EEDEMS, se sont alors employés à mettre au point un prototype et un protocole de test permettant de combler cette lacune et de conduire des essais représentatifs de la réalité et reproductibles à l'échelle du laboratoire.

3. ANALYSE DU CYCLE : LA VALORISATION DES PUNR COMME MATÉRIAUX DE REMPLISSAGE DES SOLS SPORTIFS

Après six années d'existence et de développement de voies de valorisation optimisées et diversifiées, Aliapur a souhaité procéder à une évaluation environnementale comparative de différentes alternatives de valorisation.

Cette étude a été réalisée par PricewaterhouseCoopers Ecobilan, cabinet spécialisé dans l'évaluation environnementale des produits et services. Un comité international de sept vérificateurs⁷ s'est prononcé sur les choix méthodologiques ainsi que sur la validité des données utilisées et sur les résultats de l'étude.

⁷ Henri Lecouls, expert en Analyse du Cycle de Vie et coordinateur du comité, Jacky Bonnemains de l'association environnementale « Robin des Bois », Guy Castelan de Plastics Europe, Walter Klöpffer de l'International Journal of Life Cycle Analysis, Didier Laffaire de l'ATILH (Association Technique Industrie des Liants Hydrauliques), Lars-Gunnar Lindfors de l'IVL (Swedish Environmental Research Institute), Jean-Sébastien Thomas du Groupe Arcelor Mittal

Objectifs et cadre méthodologique

L'objectif de cette évaluation, fondée sur une démarche d'Analyse du Cycle de Vie conforme aux prescriptions méthodologiques des normes internationales ISO 14040 et ISO 14044, est de comparer deux solutions, **une voie traditionnelle et une voie alternative à base de PUNR**, en analysant un panel d'indicateurs reconnus en matière d'évaluation environnementale.

Les PUNR permettent en effet d'assurer de manière alternative un service dont l'offre nécessite habituellement la consommation de ressources traditionnelles. Dans le cas des sols sportifs, les granulats de PUNR viennent en substitution d'un mélange d'élastomère vierge de synthèse (EPDM) et de craie.

A l'échelle de la durée de vie totale d'un sol sportif en gazon synthétique, le taux de substitution est de 1 kg de PUNR pour 0.5 kg d'EPDM vierge et 2 kg de craie.

Huit indicateurs ont ainsi été analysés pour les deux voies :

- Consommation d'énergie primaire totale ;
- Consommation de ressources non renouvelables ;
- Consommation d'eau ;
- Contribution à l'eutrophisation⁸ ;
- Emissions de gaz à effet de serre d'origine fossile (direct, 100 ans) ;
- Création d'ozone troposphérique⁹ ;
- Emissions de gaz acidifiants ;
- Production de déchets non dangereux.

Résultats

Le bilan environnemental a été établi pour chacun des indicateurs environnementaux en sommant :

- Les impacts directs générés par les étapes nécessaires à la valorisation des pneus : collecte, préparation des PUNR ainsi que l'étape de valorisation en tant que telle ;
- Les impacts évités du fait de la substitution des PUNR à des produits "traditionnels".

Pour l'ensemble des indicateurs, le bilan global montre l'existence de bénéfices environnementaux significatifs.

Sur les dix années de durée de vie moyenne d'un terrain de football synthétique de taille standard, soit 90 mètres par 120 mètres, l'utilisation de granulats de PUNR comme matériau de remplissage en substitution d'un mélange EPDM/Craie, permet :

- De générer des économies d'eau équivalent à 64000 douches ;
- De limiter les émissions de gaz à effet de serre en évitant l'équivalent des émissions annuelles de dioxyde de carbone (CO₂) générées par 1000 véhicules¹⁰ ;
- D'éviter l'équivalent de la consommation annuelle d'énergie pour le chauffage de 270 logements moyens¹¹ ;
- De limiter la consommation en ressources naturelles non renouvelables en économisant l'équivalent de 3000 barils de pétrole.

L'étude a également montré que les impacts générés par les étapes communes de transport et de préparation des PUNR (collecte et autres étapes de transport, tri, broyage, granulation) sont faibles par rapport à l'ordre de grandeur des impacts évités, et ceci pour les huit indicateurs analysés.

Le document de référence de cette étude peut être consulté à l'adresse suivante : http://www.aliapur.fr/media/files/RetD_new/ACV-Document-de-reference-juin-2010.pdf

⁸ L'eutrophisation d'un milieu aqueux se caractérise par l'introduction de nutriments, sous la forme de composés azotés et phosphatés par exemple, qui conduit à la prolifération d'algues et à l'asphyxie du milieu aquatique.

⁹ Sous certaines conditions climatiques, les émissions atmosphériques des industries et des transports peuvent réagir de manière complexe sous l'effet des rayons solaires et conduire à la formation d'un smog photochimique. Une succession de réactions impliquant des composés organiques volatiles et des oxydes d'azote conduit à la formation d'ozone, composé super oxydant.

¹⁰ Véhicule récent émettant 130 g de CO₂ par km et parcourant 12 200 km par an en moyenne

¹¹ Logement d'une surface de 80 m², consommation de 250 Kwh/m²/an

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Durant les cinq dernières années, Aliapur et FieldTurf ont conduit un programme d'études rigoureux et unique par son ampleur et sa durée, centré sur l'évaluation environnementale et sanitaire de l'utilisation de granulats d'élastomères issus de la valorisation de Pneus Usagés Non Réutilisables comme matériaux de remplissage des gazons synthétiques de troisième génération.

Ce programme scientifique permet aujourd'hui d'apporter des réponses objectives et étayées aux questions soulevées par les professionnels, les fédérations sportives, les institutionnels et les collectivités locales et les clients finaux.

Les résultats obtenus permettent également de montrer l'absence de fondement des allégations avancées par certains fabricants de matériaux de synthèse sur des risques supposés de l'utilisation de PUNR.

Des émissions dans l'air n'engendrant aucun risque pour la santé des adultes et des enfants

L'étude sanitaire destinée à évaluer les risques pour la santé humaine liés à l'inhalation de composés volatils émis dans l'air par les sols synthétiques utilisant des granulats d'élastomère, a été réalisée dans le cadre d'un scénario maximaliste correspondant à un usage indoor dans un gymnase de petite taille. Plus de 110 substances, composés organiques volatils et aldéhydes, ont été analysées.

Cette évaluation, réalisée par EEDEMS et l'INERIS, a conclu à **l'absence de risques** pour la santé humaine des utilisateurs, qu'il s'agisse de sportifs professionnels ou de sportifs amateurs, d'adultes ou d'enfants.

Des percolats dont les concentrations en composés organiques et en métaux sont compatibles avec les exigences de qualité de la ressource en eau

Une évaluation des interactions avec le milieu environnant pouvant résulter de l'utilisation d'élastomères comme matériau de remplissage a débuté en 2005 et se poursuivra jusqu'en 2013.

Reposant sur une double expérimentation incluant le suivi en laboratoire de mini-terrains de football et le suivi d'un terrain de football en extérieur, les évaluations conduites entre 2005 et 2011 ont permis d'établir les conclusions suivantes à ce jour :

- les métaux et les composés organiques recherchés sont présents dans les percolats à des concentrations faibles à très faibles, voire inférieures aux limites de détection analytique ;
- les concentrations en métaux et composés organiques sont largement inférieures aux valeurs réglementaires impératives encadrant la qualité des masses d'eau destinées à la production d'eau potable ou les rejets des sites industriels.

Ces investigations ont été complétées par une évaluation écotoxicologique des percolats sur les milieux aquatiques grâce à des essais normalisés réalisés sur deux espèces aquatiques (la Daphnie et une algue). **Aucun risque de toxicité avérée pour les milieux aquatiques n'a été mis en évidence.**

Une analyse du cycle du vie montrant le bilan environnemental favorable de la valorisation des pneus usagés

L'Analyse du Cycle de Vie de différentes voies de valorisation des PUNR, confiée à un cabinet spécialisé dans l'évaluation environnementale des produits et validée par un comité international d'experts et de parties prenantes, a confirmé sans réserve l'intérêt environnemental de l'utilisation de granulats de PUNR comme matériau de remplissage des sols sportifs en gazons synthétiques en substitution du mélange habituel d'élastomère vierge de synthèse (EPDM) et de craie.

Conclusion

Au vu de ces éléments et prenant en considération l'historique et le nombre de stade FIFA 2 star avec cette technologie, on ne peut que confirmer la pertinence du choix de granulats issus de PUNR comme matériau de remplissage en gazons synthétiques.

5. POUR ALLER PLUS LOIN

5.1 PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE ET COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE DES GRANULATS ISSUS DE PNEUS USAGÉS

a. protocole d'échantillonnage

Le prélèvement et l'échantillonnage sont à la base de toute démarche d'analyse et conditionnent de ce fait la qualité et la pertinence des résultats obtenus.

Le soin à apporter à ces étapes est particulièrement important dans le cas de matériaux composites tels que les granulats de pneus usagés, ces derniers étant issus d'une des diverses couches constitutives des pneus.

Diversité en composition des granulats en fonction de leur origine dans le pneu.



Figure 5: Le pneu, un matériau composite.
(Source : document Aliapur)

Ainsi, le service recherche et Développement d'Aliapur a mis au point un protocole de prélèvement des granulats simple et performant et des méthodes d'échantillonnage permettant de disposer, pour les besoins d'analyse, de lots de faibles quantités mais représentatifs du prélèvement initial.

La revue bibliographique des études existantes traitant de l'évaluation environnementale et sanitaire des sols sportifs synthétiques a montré que rares sont les auteurs expliquant l'approche mise en œuvre pour s'assurer de la représentativité des échantillons prélevés puis préparés.

Pour en savoir plus : Fiche technique « Prélèvement et échantillonnage » disponible sur le site internet d'Aliapur.

http://www.Aliapur.fr/media/files/RetD_new/Conferences_Publications/Aliapur_-_Prelevement_et_echantillonnage_des_granulats.pdf

b. Composition élémentaire des granulats issus de pneus usagés

Des analyses de composition élémentaires des granulats ont été conduites par Aliapur sur divers lots de granulats produits en Europe. Les ordres de grandeurs établis à partir de ces analyses sont présentés dans les tableaux ci-après.

Teneurs en % massique	
Eléments majoritaires (>1%)	
Carbone (C)	78 à 82 %
Hydrogène (H)	7 à 7,5%
Oxygène (O)	2,8 à 3,2 %
Zinc (Zn)	1,6 à 3,1 %
Soufre (S)	1,1 à 2,1 %
Silicium (Si)	1 à 2,3 %
Eléments mineurs (<1%)	
Azote (N)	0,3 à 0,5 %
Calcium (Ca)	0,09 à 0,53 %
Fer (Fe)	0,02 à 0,20 %
Eléments en traces (<0,06 %)	
Aluminium (Al)	0,03 à 0,06 %
Antimoine (Sb)	0,0006 à 0,0009 %
Brome (Br)	0,02 à 0,04 %
Cadmium (Cd)	0,0002 %
Chlore (Cl)	0,02 à 0,06 %
Cobalt (Co)	0,009 à 0,06 %
Cuivre (Cu)	0,002 à 0,02 %
Etain (Sn)	0,0005 %
Magnésium (Mg)	0,03 à 0,05 %
Phosphore (P)	0,01 à 0,03 %
Plomb (Pb)	0,002 à 0,004 %
Potassium (K)	0,03 à 0,06 %
Sodium (Na)	0,03 à 0,06 %
Titane (Ti)	0,004 à 0,01 %

Teneurs en % massique	
Eléments en traces (<0,001 %) dont certaines valeurs sont en limite de quantification	
Sélénium (Se)	LQ à 0,0009
Arsenic (As), Baryum (Ba), Chrome (Cr), Manganèse (Mn), Béryllium (Be), Molybdène (Mo), Nickel (Ni), Vanadium (V)	LQ à 0,0006 %
Mercuré (Hg)	LQ à 0,0001 %
Eléments en traces (<0,002 %) dont les valeurs sont en limite de quantification	
Fluor (F)	0,002 (LQ) %
Thallium (Tl)	0,0001 % (LQ)

Tableau 2 –Composition élémentaire des granulats issus de pneus usagés
(Source : document Aliapur)

Ainsi, les principaux éléments constitutifs des granulats de pneus usagés sont le carbone, l'hydrogène, l'oxygène qui représentent 90% de la masse.

Les métaux sont présents en faibles quantité, pour la plupart à l'état de traces, à l'exception notable du zinc qui peut représenter entre 1,6 à 3,1% de la masse. L'oxyde de zinc est en effet utilisé comme accélérateur de la vulcanisation lors de la fabrication d'un pneu.

Pour en savoir plus :

Fiche technique « La composition élémentaire » disponible sur le site internet d'Aliapur.

[http://www.Aliapur.fr/media/files/RetD_new/Conferences_Publications/Aliapur - La composition elementaire des granulats.pdf](http://www.Aliapur.fr/media/files/RetD_new/Conferences_Publications/Aliapur_-_La_composition_elementaire_des_granulats.pdf)

5.2 INTERACTION AVEC LES EAUX : ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTAUX

a. Protocole d'essais et conditions d'expérimentation

Finalités de l'expérimentation

Les principaux objectifs recherchés au travers de cette expérimentation sont les suivants :

- Rendre compte du comportement à la lixiviation du système complet de gazon synthétique (fibres, sable de lestage, matériau de remplissage)
- Obtenir des éléments permettant de définir de protocoles expérimentaux normalisés adaptés aux conditions réelles d'usage : quantités de matériaux mis en œuvre, alternance périodes sèches / périodes humides, etc.
- Appréhender, du point de vue environnemental, le comportement du gazon synthétique sur une longue période compte tenu du phénomène de vieillissement des matériaux.

Dans cette optique, l'évaluation des émissions dans l'eau a été conduite en s'appuyant sur deux types d'expérimentations :

- Des pilotes de laboratoire correspondant à des mini-terrains instrumentés ;
- *In situ*, grâce à une instrumentation installée sur un terrain d'entraînement de football.

Les expériences en laboratoire, en comparaison de l'expérimentation *in situ*, permettent de s'affranchir des aléas extérieurs qui ne peuvent être maîtrisés dans le cadre du suivi (pollution atmosphérique variable, conditions climatiques, contamination ou perturbation exogènes de l'aire d'expérimentation...) et qui rendent souvent très complexe le travail d'interprétation des résultats.

L'expérimentation *in situ* permet de valider le bien fondé du protocole expérimental en laboratoire.

Il est important de noter que le système étudié par Aliapur ne prend pas en compte les couches sous-jacentes susceptibles d'être traversées par les percolats : couches mises en place sous le système de gazon synthétique par les installateurs (sable, lave ou autres matériaux) et sols naturels.

Travaux réalisés par d'autres équipes scientifiques en Europe

Des travaux réalisés entre 2007 et 2009 aux Pays-Bas par INTRON et en Suisse par l'Office Fédéral du Sport ont permis d'étudier, en conditions réelles d'usage en extérieur, des systèmes incluant en plus du système de gazon synthétique (fibres, sable de lestage, matériau de remplissage) les sous-couches de gravier et/ou de lave mises en place par les installateurs.

Ces travaux ont mis en évidence que les concentrations en zinc dans l'eau de percolation ayant traversé l'ensemble du système installé sont très faibles : de 0,003 à 0,03 mg/l de zinc pour l'étude suisse et de l'ordre de 0,016 mg/l pour l'étude réalisée par INTRON.

Ces faibles concentrations s'expliquent par la capacité d'adsorption marquée de matériaux tels que le sable, les graviers ou la lave pour certains éléments et notamment le zinc, ce dernier se retrouvant alors « fixé » à la surface des particules de ces matériaux. Cette capacité est influencée par le pH, le coefficient d'adsorption diminuant avec l'acidité.

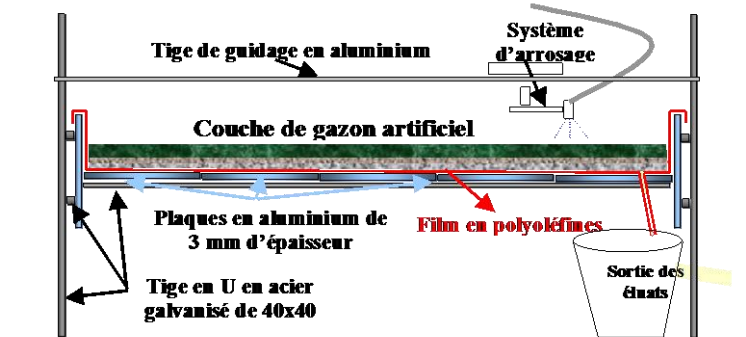
Autre information intéressante et importante, les études menées par INTRON montrent que les concentrations de zinc dans l'eau de pluie (soit 0,033 mg/l en moyenne) se révèlent légèrement supérieures à celles mesurées dans les percolats collectés après leur migration au travers du système de gazon synthétique.

Description détaillée de l'expérimentation en laboratoire conduite en 2005 et 2006

Les pilotes de laboratoire sont des dispositifs correspondant à des bacs rectangulaires en aluminium de 2,5 m de long sur 1 m de large dans lesquels est reconstituée le système de gazon synthétique tel qu'installé sur les terrains de sport :

- couche de matériau en sable lavé de 2 cm d'épaisseur en fond de bac pour une bonne récupération des percolats ;
- nappe de gazon synthétique ;
- couche de sable servant de lest à hauteur de 17 kg/m² ;
- couche de granulats à hauteur de 15 kg/m².

Ces différentes couches ayant été mises en place, les fibres de gazon synthétique sont redressées à l'aide d'un peigne puis d'un balai brosse rigide.



Les bacs rectangulaires sont surélevés et leur fond est légèrement incliné vers un point bas où se situe l'orifice d'évacuation pour faciliter la collecte des percolats.

Un système d'arrosage est mis en place au-dessus du bac contenant le matériau à tester. Ce système est constitué d'une double rampe percée de 8 buses de dispersion. En fonctionnement, la rampe effectue un mouvement de va-et-vient avec une périodicité d'une heure ; les périodes d'arrosage en tant que telles sont gérées par un automate programmable.

L'arrosage des pilotes a été établi sur la base de 800 litres de précipitations au m² en région lyonnaise, soit 2,2 litres/jour. Les pilotes ont été arrosés toutes les heures, soit approximativement 0,1 litre/m²/heure.

Dans le cadre du programme d'expérimentation, 4 pilotes ont été suivis sur une période de 11 mois :

- Pilote témoin constitué de gazon synthétique, de sable lest et sans matériaux de remplissage ;
- Pilote 2 constitué de gazon synthétique, de sable lest et de granulats issus de pneus usagés ;
- Pilote 3 constitué de gazon synthétique, de sable lest et de granulats d'EPDM ;
- Pilote 4 constitué de gazon synthétique, de sable lest et de granulats d'ETP.

Pour chacun des pilotes, le suivi de l'expérimentation a consisté dans la répétition hebdomadaire des opérations suivantes :

- Suivi du bilan hydrique ;
- Analyse de l'eau du réseau d'alimentation utilisée pour l'arrosage ;

Prélèvements des percolats et mesure du pH et de la conductivité.

L'analyse des percolats en tant que telle est réalisée sur des périodes prédéterminées en reconstituant un échantillon représentatif de la période donnée à partir des percolats prélevés de manière hebdomadaire et en tenant compte du volume de percolats recueilli.

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées pour les échéances d'expérimentation de 0,5 mois, 1 mois, 2 mois, 3 mois, 6 mois, 9 mois et 11 mois ; elles portent sur 42 paramètres physico-chimiques : cyanures totaux, indice phénol, hydrocarbures totaux (HCT), 16 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), carbone organique total (COT), Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Zn, fluorures, nitrates, ammonium, chlorures et sulfates, pH et conductivité.

Description détaillée de l'instrumentation réalisée in situ

Une instrumentation a été mise en place sur le terrain d'entraînement du stade de football Léo Lagrange à Bron en région lyonnaise.

Cette instrumentation consiste en un système lysimétrique rigide en tôle acier inoxydable de 2 m² de surface et de 10 cm de hauteur recouvert d'un caillebotis disposé sous le gazon synthétique de manière à récupérer les eaux de pluie qui percolent à travers celui-ci.

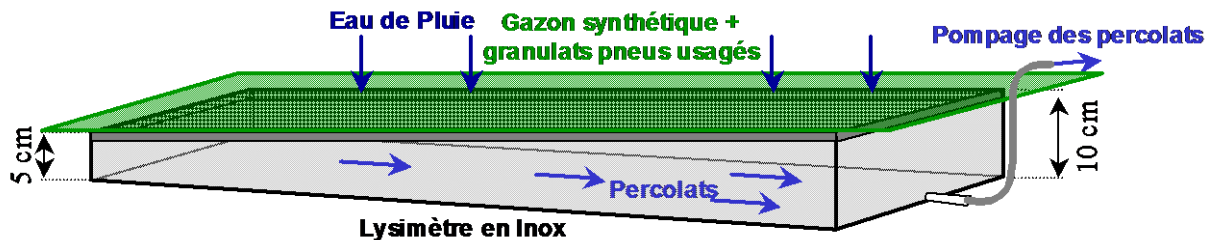


Figure 6: Représentation schématique du fonctionnement du lysimètre installé sur le stade de Bron (Source : document Aliapur /FieldTurf Tarkett)

Pour que l'instrumentation occasionne le moins de gêne possible aux utilisateurs, celle-ci a été installée juste à l'arrière d'une zone de but et en périphérie du terrain.

Les quantités de matériaux mis en œuvre au mètre carré sont de 17,5 kg/m² pour le sable de lestage et de 15 kg/m² pour les granulats de pneus usagés.

L'expérimentation a débuté en 2005 et va se poursuivre jusqu'en 2013 de façon à disposer d'un suivi sur 8 ans, ce qui correspond à la garantie fabricant classique d'un terrain en gazon synthétique. Il convient de noter que les intervalles d'analyses ont été tributaires de la pluviométrie. Les prélèvements ont généralement eu lieu après des épisodes pluvieux importants, les volumes de percolats recueillis après des pluies fines étant très faibles à nuls.

Plusieurs mesures de la **composition des eaux de pluies** ont été réalisées pendant la période d'expérimentation. Ces informations, primordiales pour une correcte interprétation des résultats, sont rarement prises en compte dans les études bibliographiques dédiées aux sols synthétiques rapportant des expérimentations réalisées *in situ*.

Les analyses physico-chimiques qui ont été réalisées sont de même nature que celles mises en œuvre pour les pilotes de laboratoire.

b. Présentation des principaux résultats obtenus

Paramètres physico-chimiques et composition des percolats

Les principaux résultats des quatre pilotes expérimentaux et du suivi du stade de Bron sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

Métaux et composés organiques	Expérimentation en laboratoire sur 11 mois (sept. 2005 à oct. 2006)							
	Gazon seul		Pneus usagés		EPDM		ETP	
	Valeur min	Valeur max	Valeur min	Valeur max	Valeur min	Valeur max	Valeur min	Valeur max
Zinc LD : 0,001 mg/l Unité : mg/l	0,01	0,071	0,03	0,056	< LD	0,047	< LD	0,129
Chrome LD : 0,002 mg/l Unité : mg/l	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Plomb LD : 0,003 mg/l Unité : mg/l	< LD	< LD	< LD	0,013	< LD	0,009	< LD	0,026
Phénols LD : 20 µg/l Unité : µg/l	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Cyanures LD : 60 µg/l Unité : µg/l	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Hydrocarbures aromatiques polycycliques¹² Unité : µg/l	< 0,015	< 0,060	< 0,015	< 0,060	< 0,015	< 0,090	< 0,015	< 0,060

LD : limite de détection analytique

Tableau 3 – Concentrations en principaux métaux et composés organiques dans les percolats recueillis sur la période d'expérimentation pour les pilotes de laboratoire

¹² Benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, indéno(1,2,3-cd)pyrène, fluoranthène et benzo(a)pyrène

Métaux et composés organiques	Expérimentation <i>in situ</i> sur 5 ans avec granulats de pneus usagés								Eaux météoriques		
	Oct 05 – Oct 06		Oct 07 – Oct 08		Oct 08 – Oct 09		Mai 10 – Nov 10		Juin 2008	Oct. 2009	Nov. 2010
	Valeur min	Valeur max	Valeur min	Valeur max	Valeur min	Valeur max	Valeur min	Valeur max			
Zinc LD : 0,001 mg/l Unité : mg/l	0,048	0,498	0,52	1,09	0,409	0,865	0,010	0,245	0,092	0,695	0,164
Chrome LD : 0,002 mg/l Unité : mg/l	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	0,005	0,003	0,003	<0,002	<0,001	
Plomb LD : 0,003 mg/l Unité : mg/l	< LD	0,011	< LD	< LD	< LD	0,007	< LD	< LD	<0,003	<0,022	
Phénols LD : 20 µg/l Unité : µg/l	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD			
Cyanures LD : 60 µg/l Unité : µg/l	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD			
Hydrocarbures aromatiques polycycliques¹³ Unité : µg/l	< 0,015	< 0,090	< 0,015	< 0,03	< 0,015	0,049	0,03	0,03			

Tableau 4 – Concentrations en principaux métaux et composés organiques dans les percolats recueillis sur la période d'expérimentation pour l'expérimentation *in situ* (stade de Bron)

Concernant le pH, les mesures réalisées sur les percolats collectés sur site et au niveau des pilotes de laboratoire indiquent des valeurs de pH neutres à faiblement basiques (de 7 à 8,5). Les eaux de pluies présentent quant à elles des pH faiblement acides à neutres (de 5,5 à 7,5).

L'expérimentation menée en laboratoire et celle menée *in situ* montrent que les concentrations des substances recherchées dans les eaux ayant traversé la structure en gazon synthétique sont généralement faibles à très faibles, voire au-dessous des seuils de détection analytique pour de nombreux composés.

Par ailleurs, les résultats des pilotes ne mettent en pas en évidence de différence significative entre les 3 matériaux de remplissage testés, ni même avec le pilote témoin en gazon synthétique seul.

c. Cinétique de relargage

L'expérimentation réalisée en laboratoire sur onze mois entre septembre 2005 et octobre 2006 a mis en évidence que les concentrations maximales en éléments relargués sont obtenues en tout début d'expérimentation, le système apparaissant comme stabilisé après trois mois d'arrosage.

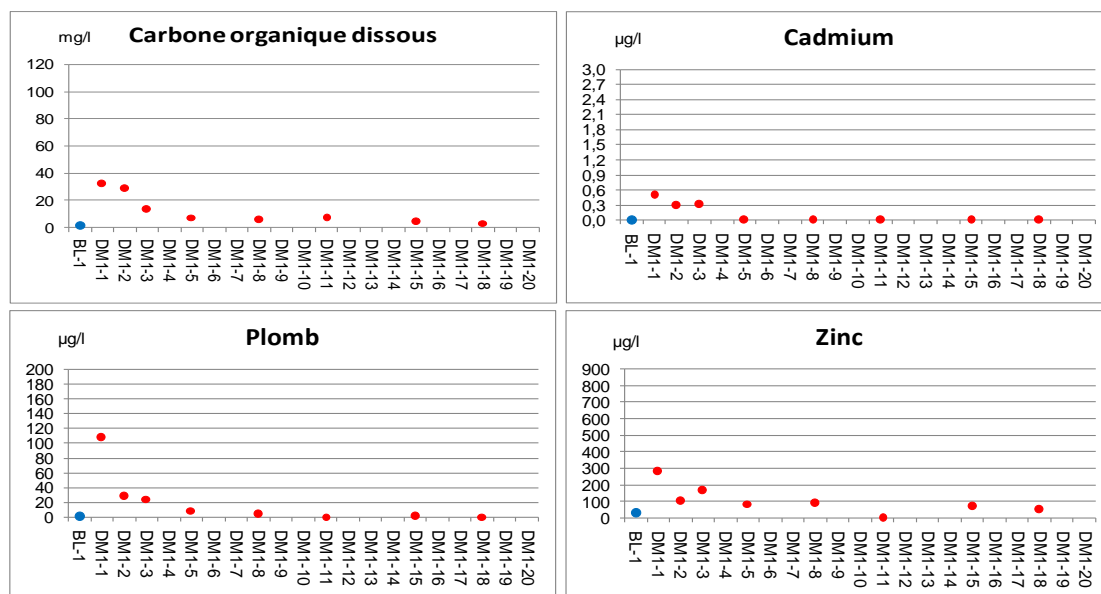
Le protocole expérimental mis au point par Aliapur et EDEMS, et repris par le projet européen de norme d'évaluation de l'impact environnemental des sols sportifs, a été utilisé durant l'année 2010 avec l'objectif de mieux appréhender les phénomènes de relargage survenant durant ces premiers mois.

¹³ Benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)peryène, indéno(1,2,3-cd)pyrène, fluoranthène et benzo(a)pyrène

Ainsi, les pilotes ont été soumis à un arrosage contrôlé permettant de simuler une pluviométrie équivalente à trois mois (soit un quart du volume de pluie annuel) se caractérisant par l'alternance de périodes sèches et humides. Les tests mis en œuvre ont porté sur des gazons synthétiques utilisant des granulats de pneus usagés, récemment fabriqués.

Les résultats obtenus font apparaître une cinétique commune quant au relargage des éléments et à la conductivité. Par cinétique, on entend évolution dans le temps, soit ici en fonction des arrosages. Par exemple la conductivité électrique croît au début (2 premiers arrosages), formant un pic en forme de cloche, pour décroître et se stabiliser à partir du premier tiers de l'expérience.

Il en est de même des éléments relargués. On observe des concentrations plus élevées pour les premiers arrosages, suivi d'une décroissance des concentrations et d'une stabilisation vers une valeur palier (qui peut être inférieure aux limites de détection analytique).



Le premier point « BL-1 » correspond à la concentration dans le percolât témoin.

Tableau 5 – Concentrations et cinétique de relargage pour quelques paramètres dans le cas d'un gazon synthétique utilisant un remplissage en granulats issus de pneus usagés et récemment fabriqués.

Ces cinétiques se retrouvent pour tous les types de granulats issus de pneus usagés testés. Pour un même granulat, tous les éléments relargués présentent une cinétique similaire.

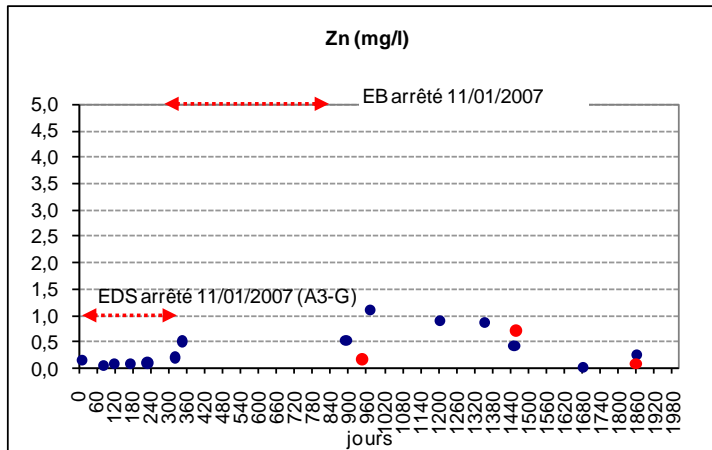
Divers facteurs peuvent expliquer ce résultat. Le fait que les cinétiques de relargage entre éléments soient similaires laisse penser à un phénomène plutôt physique. En effet, s'il s'agissait de mécanismes chimiques, les éléments, caractérisés par des propriétés chimiques intrinsèques différentes, auraient des comportements différents. En revanche, si le facteur explicatif est d'ordre physique (dans notre cas, lié à l'apport d'eau), des conditions similaires, auxquelles sont soumis tous les éléments, se traduisent par des comportements similaires. Ainsi, l'hypothèse privilégiée concerne un phénomène de « lavage » par les premières eaux.

Si on admet que le processus de production des granulats ou l'utilisation se traduit par la présence de microparticules de matériaux accrochés aux plus grosses particules, les premiers arrosages peuvent emporter ces particules et jouer le rôle d'eaux de lavage. Une fois les particules lavées, les eaux résultant des arrosages suivants sont moins chargées en éléments. Une telle configuration est bien accord avec la cinétique observée.

Un autre type de phénomène peut également intervenir, à savoir la diffusion progressive d'éléments contenus dans les granulats dans l'eau, au cours du vieillissement ou de l'altération des grosses particules. L'altération peut se produire par exposition aux UV (ultraviolets) ou par l'effet du contact avec l'eau et de ce qui peut s'ensuivre (dissolution progressive, effet légèrement corrosif, développements bactériens, etc.). Ces mécanismes sont généralement plus lents.

d. Focus sur le zinc

Les concentrations en zinc relevées pendant la période d'expérimentation *in situ* sont comprises entre 0,01 et 1,1 mg/l, ce qui constitue une gamme de valeurs globalement plus élevée que les mesures faites sur les percolats des pilotes de laboratoire. Il est à noter que les concentrations les plus élevées ont été mesurées durant la 3^{ème} et la 4^{ème} année de suivi.



Points bleus : percolats ; points rouges : eaux météoriques

Figure 7: Concentration en zinc en mg/l mesurée dans les percolats collectés sur le stade de Bron

Un élément important à prendre en considération dans l'interprétation de ces résultats concerne le taux de pollution des eaux météoriques.

En effet, les analyses réalisées durant l'expérimentation montrent que la qualité chimique de l'eau de pluie varie au cours du temps et que certains éléments, en particulier le zinc, peuvent être présents à des concentrations proches, ou supérieures, de celles des percolats recueillis (voir tableau 3).

Ces analyses mettent donc en évidence l'influence probable de la contamination de l'eau de pluie sur la qualité chimique des percolats analysés. Il est intéressant de noter qu'un constat similaire a été fait par U. Hofstra du laboratoire INTRON situé aux Pays-Bas¹⁴.

Flux massiques

Pour chacune des années de l'expérimentation *in situ*, une estimation de la quantité de zinc présente dans les percolats générés sur l'année a été réalisée.

Exprimées en masse par unité de surface (1 m²) et par an, les valeurs obtenues ont ensuite été rapprochées de la masse de granulats de PUNR mise en œuvre au m² et donc traversée par les eaux météoriques s'infiltrant dans le sol sportif.

Cette approche a ainsi permis d'obtenir un ordre de grandeur de la quantité de zinc relarguée par an et par kilogramme de granulats de PUNR.

Pour les besoins de cette évaluation, les données suivantes ont été utilisées :

- le volume de précipitations annuelles en litres par m² dans la région de Bron, soit entre 800 et 1000 mm par an selon les années concernées
- l'estimation de la quote-part des précipitations s'infiltrant dans le sol synthétique, une proportion importante des précipitations étant évaporée (de l'ordre de 30 à 40%).
- la concentration moyenne annuelle des percolats exprimée mg par litre ;
- la masse de granulats de pneus usagés mise en œuvre au m², soit 15 kg

¹⁴ Hofstra U. Zinc in drainage water under artificial turf fields with SBR. Measurements from 2008. . March 2009. INTRON

Ces estimations mettent en évidence une augmentation progressive sur les trois premières années du flux massique annuel ou des quantités extraites ramenées à 100 litres de précipitation, puis une baisse pour la 4^{ème} et la 5^{ème} année.

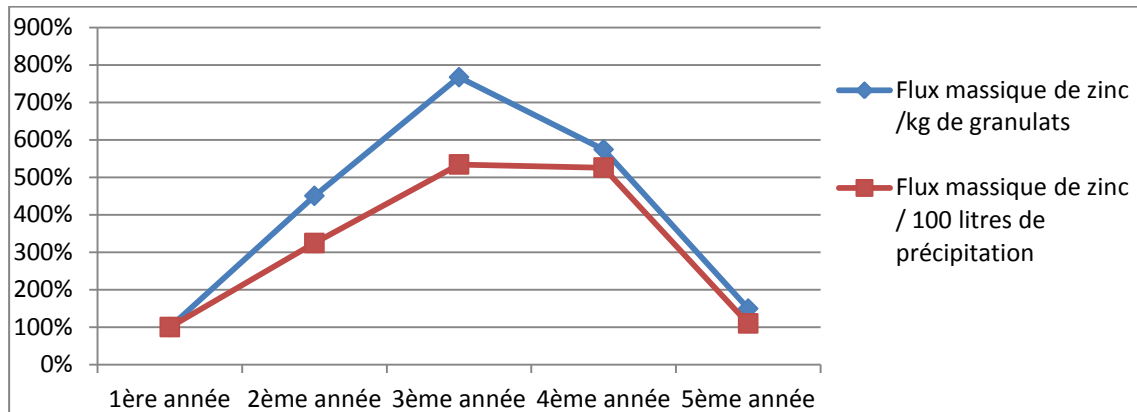


Figure 8: Evolution des flux massiques annuels du zinc sur les cinq premières années de l'expérimentation *in situ* (par kg de granulats et par 100 litres de précipitation, base 100 pour la première année)

Soulignons toutefois que les eaux météoriques contiennent du zinc dans des proportions significatives et variables et que par voie de conséquence les quantités de zinc présentes dans les percolats ne peuvent être attribuées aux seuls granulats de PUNR.

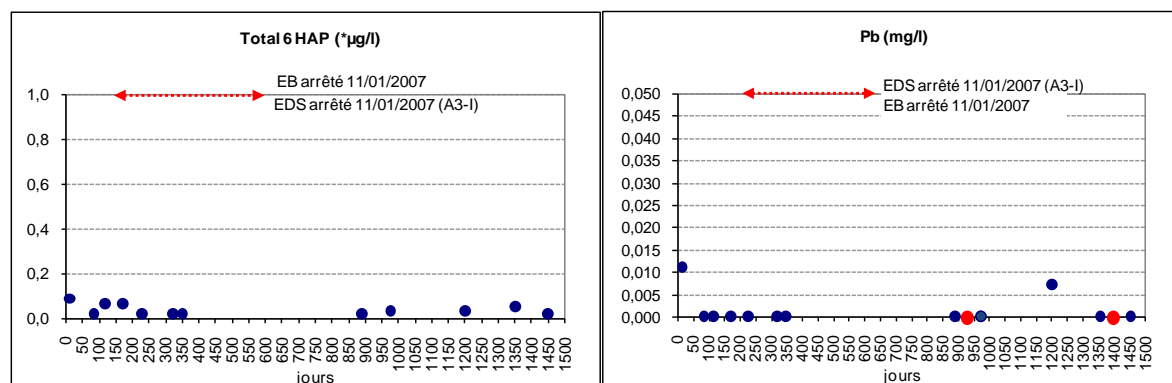
En cumulé sur les cinq années de suivi, les quantités de zinc relarguées par kilogramme de granulats ont été estimées à environ 100 mg/kg. Il s'agit d'un ordre de grandeur, les résultats étant notamment sensibles aux hypothèses relatives aux volumes de précipitations et aux phénomènes d'évaporation.

Cette valeur reste toutefois très limitée au regard de la teneur moyenne en zinc des granulats de pneus usagés (entre 16 et 31 grammes par kilogramme).

e. Focus sur le plomb et les hydrocarbures aromatiques polycycliques

Le suivi réalisé sur le stade Bron a également montré que plusieurs éléments métalliques et composés sont présents dans les percolats à des concentrations très faibles, voire très proches du seuil de détection analytique.

C'est notamment le cas du plomb et des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), deux paramètres souvent cités dans la bibliographie sur les gazons synthétiques, comme l'illustre les figures ci-dessous.



Points bleus : percolats ; points rouges : eaux météoriques

Figure 9: Concentration en plomb et en HAP mesurées dans les percolats collectés sur le stade de Bron

f. Evaluation des risques sanitaires et environnementaux

Les risques résultant du rejet des percolats dans l'environnement ont été appréhendés au travers des démarches suivantes :

- Réalisation d'essais écotoxicologiques sur les percolats recueillis ;
- Comparaison des concentrations dans les percolats avec différents référentiels réglementaires portant sur la qualité des eaux destinées à la production d'eau potable ou encadrant les rejets vers l'environnement.

L'analyse de la littérature existante montre que des démarches d'évaluation des risques plus poussées, permettant notamment d'appréhender les phénomènes influençant le transfert vers les milieux environnementaux récepteurs, ont été mises en œuvre par d'autres organismes.

En étudiant le comportement à la lixiviation du seul système de gazon synthétique, Aliapur a pour sa part choisi de faire porter ses efforts de recherche sur la caractérisation du terme « source ».

Une évaluation faisant l'hypothèse d'un transfert intégral des substances vers les milieux récepteurs (non prise en compte des phénomènes de dilution ou d'atténuation naturelle lors de la migration des percolats à travers les couches du sol) s'avère très conservatrice car largement majorante s'il s'agit de juger de l'existence possible ou non de risques.

Evaluation écotoxicologique

Afin d'appréhender l'impact d'un relargage direct des percolats dans le milieu aquatique, des **essais écotoxicologiques** ont été conduits avec des percolats récoltés *in situ* et des percolats issus des quatre pilotes de laboratoire.

Ils permettent de prendre en compte l'ensemble des effets des éléments ou des substances présentes dans les percolats, y compris celles non recherchés.

Ces essais ont été conduits en 2006 et 2009 sur deux espèces aquatiques d'eau douce appartenant à deux niveaux trophiques différents :

- un test de toxicité aiguë: inhibition de la mobilité de *Daphnia magna* (crustacé aquatique) après 24 h et 48 h, réalisé selon la norme NF EN ISO 6341
- un test de toxicité chronique: inhibition de la croissance algale après 72 h (*Pseudokirchneriella subcapitata*), réalisé selon la norme NF EN ISO 28692

La grande majorité des essais n'a pas permis de déterminer les critères écotoxiques recherchés (CE50 24h¹⁵ dans le cas de la daphnie ou la CE50 72h⁸ dans le cas de l'algue) du fait de la réponse très limitée voire inexistante des organismes, y compris lorsque ces derniers ont été exposés à des percolats quasiment purs. Pour information, la réponse des organismes à un milieu d'essai contenant 90% de percolats dans le cas de la daphnie et 80% dans le cas de l'algue a systématiquement été relevée. Les valeurs obtenues sont présentées dans les tableaux 6 et 7.

¹⁵ La CE50 est la concentration efficace en percolats qui provoque (i) l'immobilisation de 50 % d'un lot de daphnies soumis au test pendant une période d'exposition de 24 heures, (ii) 50 % d'inhibition de la croissance d'une population d'algues par rapport à un témoin sans percolats après une période d'exposition de 72 heures

		Expérimentation en laboratoire			
Pourcentage d'immobilisation sur <i>Daphnia magna</i> observé après 24h d'exposition		Pilote témoin	Pilote PUNR	Pilote EPDM	Pilote ETP
Effet observé en présence de 90% de percolat	T+ 15 jours	25%	15%	30%	Pas d'effet
	T + 3 mois	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet
	T + 6,5 mois	Pas d'effet	5%	Pas d'effet	Pas d'effet
Pourcentage d'inhibition de la croissance observé sur <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> après 72 h d'exposition		Pilote témoin	Pilote PUNR	Pilote EPDM	Pilote ETP
Effet observé en présence de 80% de percolat	T+ 15 jours	10,3%	15,0%	33,3%	14,9%
	T + 3 mois	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet	Pas d'effet
	T + 6,5 mois	0,4%	Pas d'effet	1,0%	Pas d'effet

T : date de démarrage de l'expérimentation

Tableau 6 : Résultats des essais écotoxicologiques sur les percolats recueillis sur les quatre pilotes (laboratoire)

		Expérimentation <i>in situ</i> – stade de Bron	
Pourcentage d'immobilisation observé sur <i>Daphnia magna</i> après 24h d'exposition			
Effet observé en présence de 90% de percolat	Du 08/11/2005 au 02/01/2006	Pas d'effet	
	Du 19/01/2006 au 07/02/2006		
	Du 21/02/2006 au 03/04/2006		
Constitution d'un échantillon moyen pour chacune des périodes analysées	Du 16/05/2006 au 30/05/2006		
	Du 21/12/2008 au 02/02/2009		
	Du 28/09/2009 au 12/10/2009		
Pourcentage d'inhibition de la croissance observé sur <i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> après 72 h d'exposition			
Effet observé en présence de 80% de percolat	Du 08/11/2005 au 02/01/2006	Non réalisé, volume insuffisant	
	Du 19/01/2006 au 07/02/2006	7,5%	
	Du 21/02/2006 au 03/04/2006	1,6%	
Constitution d'un échantillon moyen pour chacune des périodes analysées	Du 16/05/2006 au 30/05/2006	57,5% - CE50 atteinte	
	Du 21/12/2008 au 02/02/2009	67,5% - CE50 atteinte	
	Du 28/09/2009 au 12/10/2009	40,7%	

Tableau 7 : Résultats des essais écotoxicologiques sur les percolats recueillis dans le lysimètre installé à Bron

Ainsi, les essais contenant 90% de percolat ont montré pour la majorité d'entre eux, l'absence d'effets sur *Daphnia magna*. Les seuls essais pour lesquels un effet a été observé sont ceux réalisés 15 jours après le démarrage de l'expérimentation, le pourcentage d'immobilisation de la *Daphnia magna* allant de 0% et 30% selon les pilotes.

Quant aux essais contenant 80% de percolat, ceux-ci ont conduit à une inhibition de croissance de l'algue *P. subcapitata* comprise entre 0 et 15 % dans le cas des pilotes, et entre 1,6% et 67% pour l'expérimentation *in situ*.

En conclusion, aucun risque avéré d'effet écotoxique imputable aux granulats de PUNR utilisés comme matériaux de remplissage des gazons synthétiques n'est mis en évidence dans la mesure où :

- La CE 50 n'est jamais atteinte pour la daphnie et n'est atteinte que pour deux échantillons dans le cas de l'algue verte ;
- Les eaux de pluies contiennent elles-mêmes des éléments métalliques ou des composés qui peuvent avoir une incidence sur les organismes aquatiques (présence de zinc notamment, voir tableau 4) ;
- Les essais ont été réalisés dans des conditions maximalistes, c'est-à-dire sans prise en compte des phénomènes d'adsorption des éléments métalliques et des composés et des phénomènes de dilution intervenant lors du transfert des percolats vers le milieu aquatique

Comparaison à des valeurs de référence

Les percolats étant susceptibles de rejoindre le milieu naturel par infiltration dans le sol et sous forme de rejet dans l'environnement via les réseaux urbains d'assainissement, les résultats analytiques ont été comparés à différentes valeurs guide nationales actuellement en vigueur :

- seuils de rejets des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) ;
- seuils relatifs à la qualité des eaux brutes ou des eaux douces de surface destinées à la production d'eau potable pour la consommation humaine

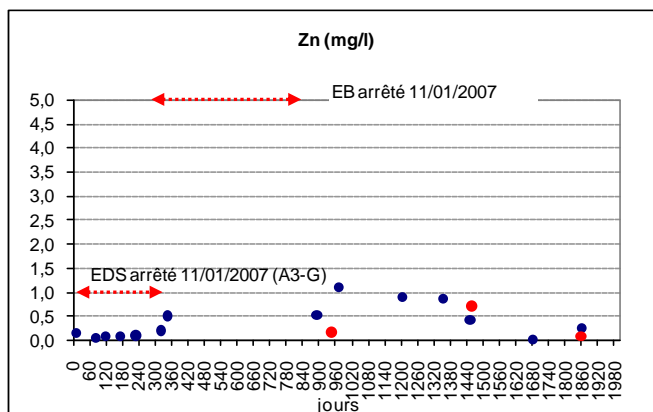
Les valeurs guides des principaux métaux et composés organiques présents dans les percolats sont indiquées dans le tableau 8.

Métaux et composés organiques	Suivi in situ avec granulats de pneus usagés	Eaux potabilisables (arrêté du 11 janvier 2007)			Rejets des ICPE Arrêté du 2 février 1998
		Eaux brutes	Eaux douces de surface		
	Concentrations maximales observées dans les percolats	Eaux brutes	Valeur guide	Valeur impérative	
Zinc	1,09 mg/l	5 mg/l	1 mg/l	5 mg/l	2 mg/l
Chrome	5 µg/l	50 µg/l	/	50 µg/l	500 µg/l
Plomb	11 µg/l	50 µg/l	/	50 µg/l	500 µg/l
Phénols	< LD	100 µg/l	1 µg/l	10 µg/l	300 µg/l
Cyanures	< LD	50 µg/l	/	50 µg/l	100 µg/l
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	0,09 µg/l	1 µg/l	/	1 µg/l	50 µg/l

Tableau 8 : Valeurs de référence en vigueur en France pour certains métaux et composés organiques et concentrations maximales mesurées dans les percolats des expérimentations avec granulats de pneus usagés

Ce comparatif montre que les concentrations en métaux et composés organiques des percolats recueillis sur les pilotes de laboratoire et *in situ* sont très inférieures aux valeurs guide relatives à la qualité des masses d'eau pour la grande majorité des éléments et composés.

Dans le cas du zinc, les concentrations sont le plus souvent inférieures aux valeurs guide, certains percolats prélevés *in situ* durant les troisième et quatrième d'expérimentation se rapprochent toutefois de la valeur guide (1 mg/l) pour les eaux douces de surface destinée à la production d'eau potable. Elles sont en revanche très inférieures à la valeur impérative (5 mg/l).



Points bleus : percolats ;
Points rouges : eaux météoriques

Figure 10: Concentration en zinc en mg/l dans les percolats recueillis *in situ* et valeurs guide pour le zinc

L'interprétation des concentrations dans les percolats par comparaison avec des valeurs relatives à la qualité des eaux doit en outre tenir compte des éléments suivants :

- Une comparaison directe de la composition des percolats avec les valeurs guide correspond à un scénario maximaliste dans la mesure où les éventuels phénomènes de dilution et d'atténuation naturelle (adsorption, rétention, complexation) ne sont pas pris en compte
- Dans le cas de l'expérimentation *in situ*, les analyses réalisées sur les eaux de pluie ont montré que leur teneur en zinc pouvait être du même ordre de grandeur que celle des percolats (exemple : 0,695 mg/l de zinc en octobre 2009).

Les différents types de normes employés dans le domaine de l'eau

Il existe différents types de normes ou référentiels relatifs à la qualité de l'eau ; on distingue :

- Les normes fixant les critères et les seuils que doit respecter une ressource en eau, souterraine ou de surface, lorsqu'elle est utilisée pour la production d'eau potable destinée à la consommation humaine. Les seuils à respecter ont été déterminés notamment en fonction des techniques de potabilisation mises en œuvre et d'un objectif final de protection de la santé humaine.
- Les normes encadrant la qualité du milieu récepteur (eaux souterraines, eaux douces). Les critères et les seuils étant fixés en considérant différents objectifs : compatibilité avec différents usages de la ressource (pisciculture, irrigation, baignade...) et la protection de l'écosystème aquatique (ex : tolérance des organismes aquatiques à la présence de certaines substances dans le cas des eaux de surface).
Ce type de norme fixe donc une obligation de résultats à atteindre au niveau de l'objectif final visé, par exemple la qualité environnementale des milieux récepteurs.
- Les normes encadrant les rejets des activités humaines dans les milieux récepteurs ou dans les réseaux collectifs d'assainissement. Ce type de norme fixe donc une obligation de résultats à atteindre de niveau intermédiaire et non pas sur la ressource en eau en tant que telle.

Les seuils fixés relativement à la qualité des rejets des activités humaines sont plus élevés que les valeurs cibles de concentration portant sur la qualité des masses d'eau qu'ils sont susceptibles de rejoindre. Ceci découle du fait que :

- Les rejets des activités humaines sont un flux parmi d'autres (ex : eaux météoriques, apports en provenance d'autres cours d'eau) alimentant le milieu récepteur ;
- Divers phénomènes d'atténuation et de dilution peuvent intervenir lors du transfert de ces rejets vers les milieux.

BIBLIOGRAPHIE

Études réalisées à la demande d'ALIAPUR et de FIELDTURF TARKETT, avec le soutien de l'ADEME

- INERIS (2006) - Evaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation de granulats comme matériaux de remplissage des gazons synthétiques – Scénarios d'exposition en conditions Indoor.
- CSTB (2006) - Caractérisation des émissions de COV et de formaldéhyde par des sols sportifs constitués de granulats d'élastomères (vierges et issus de pneumatiques usagés) en remplissage de gazon synthétique.
- EEDEMS (2007) - Evaluation environnementale et sanitaire de l'utilisation de granulats d'élastomères (vierges et issus de pneumatiques usagés) comme éléments constitutifs de sols sportifs en gazon synthétique.
- EEDEMS (2007) - Tests de lixiviation des matériaux de remplissage des sols sportifs en gazon synthétique selon les normes EN 12457-4 et DIN V 18035-7. Rapport d'essais et analyse critique.
- EEDEMS (2010) - Poursuite du suivi de l'évaluation environnementale de l'utilisation de granulats de PUNR comme éléments constitutifs des sols sportifs en gazon synthétique de 3^{ème} génération sur le stade de Bron – années 2008 et 2009.
- EEDEMS (2011) - Poursuite du suivi de l'évaluation environnementale de l'utilisation de granulats de PUNR comme éléments constitutifs des sols sportifs en gazon synthétique de 3^{ème} génération sur le stade de Bron – année 2010.

Liste indicative d'études récentes réalisées par des tiers sur l'évaluation environnementale et sanitaire des gazons synthétiques

- California Department of Resources Recycling and Recovery (2010) - Safety study of artificial turf containing crumb rubber infill made from recycled tires: Measurements of chemicals and particulates in the air, bacteria in the turf, and skin abrasions caused by contact with the surface.
- Connecticut Department of Environmental Protection (2010) - Artificial Turf Study - Leachate and Stormwater Characteristics.
- EPA (2009) - A Scoping-Level Field Monitoring Study of Synthetic Turf Fields and Playgrounds.
- Hofstra U (INTRON, March 2009) – Zinc adsorption to underlays beneath artificial turf. How long does the zinc from the rubber infill remain in the artificial turf field system?
- Hofstra U (INTRON, March 2009) – Zinc in drainage water under artificial turf fields with SBR. Measurements from 2008
- Hofstra U (INTRON, February 2007) – Environmental and health risks of rubber infill from car tyres as infill on artificial turf.
- Hofstra U (INTRON, March 2008) – Follow-up study of the environmental aspects of rubber infill - A laboratory study (perform weathering tests) and a field study rubber crumb from car tyres as infill on artificial turf.
- Koltz, Hans J. (IST Switzerland, 2006) - Investigation and assessment of synthetic sports surfaces in Switzerland including athletic and soccer facilities.
- Lim and Walker (New York State Department of Environmental Conservation, New York State Department of Health, 2009) - An assessment of chemical leaching, releases to air and temperature at crumb –rubber infilled synthetic turf fields.
- Milone and MacBroom, Inc. (2008) - Evaluation of the Environmental Effects of Synthetic Turf Athletic fields
- Nillson et al. (Danish Technological Institute. Danish Ministry of The Environment, 2008) - Mapping, emissions and environmental and health assessment of chemical substances in artificial turf. Survey of Chemical Substances in Consumer Products.
- Verschoor, A.J. (Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment 2007) - Leaching of Zinc from rubber infill in artificial turf (football pitches).

