

Gazons synthétiques utilisés pour les sports extérieurs à la Ville de Montréal :

Revue de la littérature et évaluation des risques toxicologiques

GARDER
notre monde
EN SANTÉ

Gazons synthétiques utilisés pour les sports extérieurs à la Ville de Montréal :

Revue de la littérature et évaluation des risques toxicologiques

Monique Beausoleil, M.Sc., toxicologue

Karine Price, M.Sc., toxicologue

Caroline Muller, M.Sc., toxicologue

2008

**Agence de la santé
et des services sociaux
de Montréal**

Québec 

Une réalisation du secteur Vigie et protection
Direction de santé publique
Agence de la santé et des services sociaux de Montréal
1301, rue Sherbrooke Est
Montréal (Québec) H2L 1M3
Téléphone : 514 528-2400
www.santepub-mtl.qc.ca

© Direction de santé publique
Agence de la santé et des services sociaux de Montréal (2008)
Tous droits réservés

ISBN 978-2-89494-721-0 (version imprimée)
ISBN 978-2-89494-722-7 (version PDF)
Dépôt légal - Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2008
Dépôt légal - Bibliothèque et Archives Canada, 2008

Prix : 5 \$

Mot du directeur

Depuis quelques années, on a vu apparaître de nouveaux terrains de sports dont la surface est en gazon synthétique. La Ville de Montréal possède une trentaine de ces gazons synthétiques majoritairement utilisés pour la pratique du soccer. À la demande de la Ville, la Direction de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de Montréal a effectué une revue critique des différentes études scientifiques disponibles.

Le présent document vise donc à faire le point sur les connaissances actuelles concernant les risques toxicologiques des gazons synthétiques pour les joueurs et à présenter l'opinion de la Direction de santé publique de Montréal quant à leur utilisation pour des sports d'équipe sur des terrains extérieurs.

Bonne lecture.

Le directeur de santé publique,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'R. Lessard', written in a cursive style.

Richard Lessard, M.D.

Sommaire

Depuis quelques années, on a vu apparaître de nouveaux terrains de sports dont la surface est en gazon synthétique. Ces gazons synthétiques sont constitués d'un tapis de fibres synthétiques tissées sur un canevas de base et généralement remplis de sable et/ou de petites granules de caoutchouc. On compte actuellement une trentaine de gazons synthétiques à la Ville de Montréal et ils sont principalement utilisés pour la pratique du soccer. La majorité d'entre eux font partie de la dernière génération de produits synthétiques composés *i)* de fibres de polyéthylène ou de polypropylène avec *ii)* des granulats de caoutchouc fabriqués à partir de pneus recyclés (SBRr) ou un mélange de granulats SBRr et de sable. Un seul terrain est aménagé en gazon de fibres de nylon.

Les terrains en gazon synthétique offrent de nombreux avantages comparativement au gazon naturel pour la pratique des sports d'équipe extérieurs. Ils sont plus résistants, plus faciles et moins coûteux à entretenir. Ils n'ont pas besoin d'arrosage ni d'engrais ou de pesticides comme le gazon naturel. Ils sont toujours en bon état et leur surface absorbante aide à prévenir les blessures chez les joueurs. Les terrains en gazon synthétique permettent ainsi un plus grand nombre d'heures d'utilisation sur des revêtements de bonne qualité. Ils constituent donc un atout pour lutter contre l'obésité et favoriser la pratique régulière d'activités physiques chez les jeunes.

Cependant, il est important de s'assurer que les substances chimiques des nouveaux matériaux en gazon synthétique ne présentent pas de risques pour la santé des joueurs. Le présent document vise donc à faire le point sur les connaissances actuelles concernant les risques toxicologiques des gazons synthétiques pour les joueurs et à présenter l'opinion de la Direction de santé publique (DSP) de l'Agence de santé et des services sociaux de Montréal quant à leur utilisation pour des sports d'équipe sur des terrains extérieurs.

Pour ce faire, nous avons effectué une revue critique des différentes études scientifiques disponibles. Ces études sont principalement de deux types. Les premières ont pour objectif de mesurer les concentrations de substances chimiques associées aux matériaux des gazons synthétiques (*i)* dans les matériaux eux-mêmes, *ii)* extraites des matériaux dans l'eau et dans l'air en laboratoire, et *iii)* mesurées dans l'eau de pluie qui percole à travers les terrains de sports, dans l'air intérieur de gymnases ou dans l'air extérieur au-dessus des terrains. Les secondes études ont estimé les risques à la santé que ces substances chimiques peuvent présenter pour les joueurs à partir d'une approche d'analyse de risques toxicologiques. Ces deux types d'études portaient sur environ une centaine de substances chimiques : métaux, composés organiques volatiles, composés organiques semi-volatiles et hydrocarbures aromatiques polycycliques.

Bien que toutes les analyses des substances chimiques rapportées dans ces études aient été réalisées à partir de matériaux prélevés ailleurs qu'à Montréal, nous croyons que leurs résultats s'appliquent aux gazons synthétiques aménagés à la Ville de Montréal puisque les matériaux de base sont les mêmes, qu'ils sont offerts par les mêmes grands fournisseurs et qu'ils sont souvent fabriqués par les mêmes entreprises installées généralement à l'extérieur du Québec. Malgré la variation observée dans les concentrations rapportées par les différentes études, l'évaluation que nous en avons faite et les analyses de risques toxicologiques réalisées par différents auteurs ont généralement considéré les pires concentrations mesurées.

Les analyses de métaux ont identifié la présence un peu plus marquée de chrome, de cobalt et de plomb dans certains matériaux; cependant, ces métaux ne sont pas mobilisés par l'eau de pluie ni émis dans l'air. Aux États-Unis, une mesure de la concentration de plomb dans les poussières d'un gazon synthétique avec fibres de nylon est apparue élevée alors que d'autres mesures de la quantité de plomb sur les surfaces du même type de gazons respectaient les valeurs-limites du *United States Environmental*

Protection Agency pour les surfaces intérieures de résidences (plancher et seuil de fenêtres) où vivent des enfants. Le *Center for Disease Control and Prevention* américain a recommandé de mesurer le plomb dans les poussières des gazons de 1^{ère} génération uniquement lorsque les fibres de nylon sont usées et en mauvais état et lorsqu'elles contiennent des poussières visibles. Une visite au seul terrain de sports de la Ville de Montréal dont les fibres du gazon synthétique sont en nylon nous a permis de constater que les fibres très courtes et remplies de sable de ce gazon de 3^{ème} génération sont en bon état et ne contiennent pas de poussières visibles. Enfin, les concentrations de zinc mesurées dans l'ensemble des matériaux sont également plus élevées; ce zinc est mobilisable dans l'eau lors des expérimentations en laboratoire mais beaucoup moins par l'eau de pluie sur les terrains eux-mêmes. Toutefois, ce métal est peu toxique pour l'humain et les concentrations mesurées dans l'eau sont généralement inférieures à la valeur-limite permise dans l'eau potable au Canada. Toutes les analyses de risques toxicologiques indiquent que les métaux ne représentent pas de risques significatifs pour la santé humaine. Certaines mises en garde ont toutefois été émises en regard des impacts du zinc sur l'environnement.

On retrouve différents composés organiques dans les matériaux puisque ceux-ci sont fabriqués à partir du pétrole (plastique et caoutchouc). Ces composés organiques peuvent être mobilisés dans l'eau en laboratoire par des méthodes d'extraction agressives mais très peu par l'eau de pluie sur les terrains eux-mêmes. Les composés organiques volatiles peuvent également être émis dans l'air par les différents matériaux; leurs concentrations mesurées sous forme de composés organiques volatiles totaux (COVt) peuvent être suffisamment élevées dans l'air intérieur de certains gymnases pour entraîner de l'inconfort et la perception d'odeurs chez certaines personnes, mais elles sont beaucoup trop faibles pour causer des effets néfastes sur la santé des joueurs. D'ailleurs, de tels niveaux sont fréquemment observés dans l'air intérieur d'autres milieux tels les résidences, les écoles et les bureaux. Les concentrations mesurées dans l'air extérieur au-dessus des terrains en gazon synthétique se sont révélées semblables aux concentrations mesurées en bruit de fond. Toutes les analyses de risques toxicologiques ont utilisé les concentrations maximales des différents composés organiques volatiles et confirment que les risques à la santé sont faibles pour les joueurs qui pratiquent leur sport à l'intérieur, et encore moindres à l'extérieur.

Plusieurs mesures de différents composés organiques semi-volatiles (COsV) ont été réalisées au niveau des matériaux des gazons synthétiques (phénols, alkylphénols, BPC, amines, nitrosamines, benzothiazoles, phtalates). Les concentrations mesurées dans les matériaux étaient généralement faibles, et lorsqu'elles étaient un peu plus élevées dans certains matériaux (certains alkylphénols, aniline et benzothiazoles), les teneurs mesurées dans l'eau ou dans l'air intérieur des gymnases étaient très faibles. Les nitrosamines n'ont pas été détectées dans l'air extérieur au-dessus des terrains en gazons synthétiques. Toutes les analyses de risques toxicologiques indiquent que ces substances ne représentent pas de risques significatifs pour la santé des utilisateurs de terrains synthétiques.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont très présents dans les granulats SBRr en raison de l'utilisation d'huiles aromatiques de pétrole comme plastifiants et adoucisseurs lors de la fabrication des pneus. Ils sont détectés dans les granulats SBRr mais se retrouvent très peu dans l'eau lors des extractions en laboratoire puisqu'ils sont généralement peu solubles. Les concentrations mesurées dans l'air intérieur des gymnases avec granulats SBRr peuvent à l'occasion dépasser les concentrations moyennes mesurées dans l'air extérieur et s'approcher des concentrations maximales mesurées à l'occasion dans l'air extérieur de Montréal lorsque la qualité de l'air est moins bonne. Le naphtalène et les méthylnaphtalènes représentent plus du tiers des HAP mesurés dans l'air intérieur en raison de leur volatilité plus élevée. Cependant, les concentrations de HAP mesurées dans l'air au-dessus d'un terrain en gazon synthétique extérieur sont semblables aux concentrations moyennes mesurées dans l'air extérieur de Montréal. Toutes les analyses de risques toxicologiques réalisées démontrent que les HAP des matériaux de gazons synthétiques ne représentent pas de risques significatifs pour la santé humaine.

Plusieurs chercheurs ont exprimé des interrogations quant au lien possible entre la présence de substances allergènes associées aux granulats SBRr (latex et additifs) d'une part, et des réactions allergiques respiratoires et de contact chez les joueurs d'autre part. Plusieurs données semblent indiquer que ce lien serait plutôt faible : les allergènes du latex sont probablement détruits lors de la vulcanisation des pneus, des tests de sensibilisation aux granulats SBRr effectués chez des animaux se sont avérés négatifs et on n'a observé aucune augmentation des cas d'allergie au latex chez la population qui vit près des grandes routes où les poussières aériennes contiennent du caoutchouc en provenance de l'usure des pneus. Toutefois, des auteurs soulignent qu'on ne peut exclure la possibilité de développer une allergie ou de présenter des symptômes d'allergie chez les personnes déjà sensibilisées en présence de granulats de caoutchouc. Soulignons que la population est déjà en contact avec de nombreux produits à base de caoutchouc présents dans notre environnement (ballon, semelle de chaussures, gants).

Les analyses de risques toxicologiques recensées dans la littérature ont été réalisées par des organismes reconnus qui ont considéré différentes substances chimiques, différentes voies d'exposition à ces substances et différentes valeurs toxicologiques de référence. Toutes indiquent que l'exposition aux substances chimiques lors de la pratique de sports sur des gazons synthétiques est faible et que les risques à la santé pour les joueurs ne sont pas préoccupants. Bien qu'il existe des différences entre les approches d'analyse de risques retenues dans ces études et celle généralement utilisée au Québec, nous sommes en accord avec leurs conclusions, d'autant plus que les données d'exposition par inhalation utilisées dans ces études proviennent de l'étude réalisée à l'intérieur en gymnase, ce qui surestime beaucoup l'exposition des joueurs qui pratiquent leur sport à l'extérieur. Même les quelques pays qui ont choisi de ne pas favoriser les granulats SBRr pour l'aménagement des nouveaux gazons synthétiques considèrent que les risques à la santé reliés à ces matériaux sont très faibles et précisent que leur choix est basé uniquement sur des objectifs environnementaux.

Au cours de notre revue de la littérature scientifique, nous avons constaté que les températures mesurées au niveau des gazons synthétiques extérieurs au cours des journées très chaudes pouvaient atteindre des niveaux importants et s'ajouter au stress thermique de la pratique de sports comme le soccer chez les joueurs. Il serait intéressant de documenter cette problématique au niveau des terrains extérieurs montréalais, en ciblant, en plus des mesures réalisées au niveau des matériaux, l'évaluation des charges thermiques chez les joueurs sous différentes conditions.

A la lumière de l'ensemble des informations tirées de la littérature scientifique, la DSP considère que les risques à la santé pour les joueurs qui utilisent les gazons synthétiques ne sont pas significatifs et qu'ils peuvent continuer à pratiquer leurs sports sur ce type de terrains extérieurs en toute sécurité¹.

¹ Notre évaluation ne portait pas sur les gymnases avec du gazon synthétique mais les quelques données disponibles dans la littérature scientifique pour ce genre d'installations intérieures indiquent qu'il n'y aurait pas de risques significatifs sur la santé des joueurs bien qu'à l'occasion, la qualité de l'air pourrait être jugée de piètre qualité par les utilisateurs.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. DESCRIPTION DES GAZONS SYNTHÉTIQUES	3
1.1 TYPES DE GAZONS SYNTHÉTIQUES.....	3
1.2 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES GAZONS SYNTHÉTIQUES	4
1.3 MATÉRIAUX UTILISÉS DANS LES GAZONS SYNTHÉTIQUES	5
1.3.1 <i>Matériaux des fibres et des trames</i>	5
1.3.2 <i>Matériaux des granulats</i>	5
1.4 TYPES DE GAZONS SYNTHÉTIQUES AMÉNAGÉS À LA VILLE DE MONTRÉAL	8
2. MÉTHODOLOGIE UTILISÉE POUR ÉVALUER LES DONNÉES DE LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE SUR LES GAZONS SYNTHÉTIQUES.....	9
2.1 ÉTUDES PORTANT SUR LA MESURE DES CONCENTRATIONS DE SUBSTANCES CHIMIQUES ASSOCIÉES AUX MATÉRIAUX	9
2.1.1 <i>Type de substances chimiques évaluées</i>	9
2.1.2 <i>Méthodes d'échantillonnage et d'analyse utilisées</i>	10
2.1.3 <i>Critères de comparaison retenus</i>	11
2.2 ÉTUDES D'ANALYSE DE RISQUES TOXICOLOGIQUES	13
3. RISQUES À LA SANTÉ ASSOCIÉS AUX MATÉRIAUX DES GAZONS SYNTHÉTIQUES.....	15
3.1 MESURES DES CONCENTRATIONS DE SUBSTANCES CHIMIQUES ASSOCIÉES AUX MATÉRIAUX	15
3.1.1 <i>Métaux</i>	15
3.1.1.1 Concentrations de métaux mesurées dans les matériaux	15
3.1.1.2 Émissions et concentrations de métaux dans l'eau.....	16
3.1.1.3 Émission des métaux dans les poussières et dans l'air	17
3.1.2 <i>Composés organiques</i>	21
3.1.2.1 Composés organiques totaux	21
3.1.2.2 Composés organiques volatiles	21
3.1.2.3 Composés organiques semi-volatiles	24
3.1.2.4 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).....	26
3.1.3 <i>Présence de caoutchouc associé aux granulats SBRr</i>	35
3.2 ANALYSES DE RISQUES TOXICOLOGIQUES	36
3.3 CONTRAINTES THERMIQUES	41
4. POSITION DES DIFFÉRENTES ORGANISATIONS QUANT AUX RISQUES TOXICOLOGIQUES RELIÉS AUX MATÉRIAUX DES GAZONS SYNTHÉTIQUES	43
CONCLUSION	47
RÉFÉRENCES	49
ANNEXE 1: RÉSUMÉ DES ÉTUDES SCIENTIFIQUES PORTANT SUR LES MESURES DES CONCENTRATIONS DE SUBSTANCES CHIMIQUES ASSOCIÉES AUX MATÉRIAUX DES GAZONS SYNTHÉTIQUES	55
ANNEXE 2: RÉSUMÉ DES ANALYSES DE RISQUES À LA SANTÉ HUMAINE RELIÉS AUX MATÉRIAUX DES GAZONS SYNTHÉTIQUES	63

Liste des tableaux

Tableau 1. Matériaux utilisés pour les granulats des gazons synthétiques	6
Tableau 2. Proportion des matières contenues dans les pneus	6
Tableau 3. Substances chimiques détectées en fonction des sources potentielles lors de la fabrication des pneus.....	7
Tableau 4. Caractéristiques des 32 gazons synthétiques aménagés à la Ville de Montréal.....	8
Tableau 5. Classes de substances chimiques	10
Tableau 6. Normes internationales concernant les impacts des gazons synthétiques sur l'environnement et la santé, et valeurs-limites pour les eaux souterraines de la Politique des sols du MDDEP	12
Tableau 7. Mesure des concentrations de métaux associés aux gazons synthétiques.....	19
Tableau 8. Concentrations de plomb mesurées dans les poussières de gazons synthétiques extérieurs et dans l'air intérieur des gymnases	20
Tableau 9. Mesures des concentrations de composés organiques (totaux, aliphatiques et aromatiques) associés aux gazons synthétiques	29
Tableau 10. Mesures des concentrations de composés organiques volatiles associés aux gazons synthétiques	30
Tableau 11. Mesures des concentrations de composés organiques semi-volatiles associés aux gazons synthétiques	31
Tableau 12. Mesures des concentrations de composés organiques semi-volatiles associés aux gazons synthétiques : phtalates	32
Tableau 13. Mesure des concentrations de hydrocarbures aromatiques polycycliques associés aux gazons synthétiques	33
Tableau 14. Proportion de caoutchouc dans l'air intérieur de gymnases avec des gazons synthétiques ..	36
Tableau 15. Résumé des analyses de risques toxicologiques portant sur les matériaux des gazons synthétiques	40
Tableau 16. Concentrations des différentes substances organiques volatiles mesurées dans l'air intérieur des gymnases norvégiens	57

Liste des figures

Figure 1. Schéma d'un gazon synthétique de 3 ^{ème} génération.....	4
Figure 2. Photographie des matériaux d'un gazon synthétique avec granulats SBRr	7

Abréviations et unités

Abréviations

ACE :	acénaphène	ETP-S :	élastomère thermoplastique - copolymère styrène et polyoléfines thermoplastiques
ACEL :	acénaphylène	ETP-V :	élastomère thermoplastique - EPDM et polyoléfines thermoplastiques
ADN :	acide désoxyribonucléique	ETPn :	élastomère thermoplastique neuf
ANT :	anthracène	FL :	fluorène
As :	arsenic	FLUO :	fluoranthène
ATSDR :	<i>Agency for Toxic Substances and Disease Registry</i>	h :	heure
Ba :	baryum	HAP :	hydrocarbure aromatique polycyclique
BaA :	benzo(a)anthracène	Hg :	mercure
BaP :	benzo(a)pyrène	H ₂ S :	sulfure d'hydrogène
BbF :	benzo(b)fluoranthène	HT :	hydrocarbures totaux
BbjkF :	benzo(b,j,k)fluoranthène	IND :	indéno(1,2,3-cd)pyrène
BbkF :	benzo(b,k)fluoranthène	INERIS :	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
BBP :	benzylbutyle	IPPD :	isopropylparaphénylène diamine
BEHP :	bis(2-ethylhexyl)phthalate	isoNP :	isononylphénol
BghiP :	benzo(g,h,i)pyrène	j :	jour
BHA :	hydroxyanisole butylé	LDM :	limite de détection de la méthode d'analyse
BkF :	benzo(k)fluoranthène	MEK :	méthyléthylcétone
BPC :	biphényle polychloré	MDDEP :	Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs
BTEX :	benzène, toluène, éthylbenzène et xylène	Mg :	magnésium
BTX :	benzène, toluène et xylène	MIBK :	méthyl isobutyl cétone
Cd :	cadmium	Mn :	manganèse
CEC :	<i>Commission of European Communities</i>	ms :	mois
CDC :	<i>Center for Disease Control and Prevention</i>	MSSS :	Ministère de la Santé et des Services Sociaux
CHR :	chrysène	NA :	naphtalène
Co :	cobalt	NDBA :	N-nitrosodibutylamine
COsV :	composés organiques semi-volatiles	NDEA :	N-nitrosodiéthylamine
COsVt :	composés organiques semi-volatiles totaux	NDMA :	N-nitrosométhylamine
COV :	composés organiques volatiles	NDPA :	N-nitrosodipropylamine
COVt :	composés organiques volatiles totaux	Ni :	nickel
Cr :	chrome	NIPHRH :	<i>Norwegian Institute of Public Health et Radium Hospital</i>
CrVI :	chrome VI	NMOR :	N-nitrosomorpholine
Cu :	cuivre	4-n-NP :	4-n-nonylphénol
DBaH :	dibenzo(a,h)anthracène	NOAEL :	<i>No Observed Adverse Effect Level</i>
DBP :	dibutyle phtalate	NP :	nonylphénol
DEC :	<i>New York state Department of Environmental Conservation</i>	NPyR :	N-nitrosopyrrolidine
DEHP :	di-2-éthylhexyle phtalate	NpiP :	N-nitrosopipéridine
DEP :	di-éthyle phtalate	OEHA :	<i>Office of Environmental Health Hazard Assessment</i>
DIBP :	di-isobutyle phtalate	PA :	polyamide
DIDP :	di-isodécyle phtalate	Pb :	plomb
DINP :	di-isononyl phtalate	PE :	polyéthylène
DMP :	di-méthyle phtalate	PET :	polyéthylène téréphtalate
DMSO :	di-méthylsulfoxyde	pH :	potentiel hydrogène
DOP :	di-n-octyle phtalate	PHE :	phénanthrène
DSP :	Direction de santé publique de l'Agence de santé et des services sociaux de Montréal	PM _{2,5} :	particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm
DOC :	<i>diluted organic bound carbon</i>	PM ₁₀ :	particules en suspension de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm
EOX :	<i>extractable organic bound halogenes</i>		
EPDM :	<i>ethylene propylene diene monomer</i>		
EPDMn :	<i>ethylene propylene diene monomer neuf</i>		
EPDMr :	<i>ethylene propylene diene monomer recyclé</i>		
ETP :	élastomère thermoplastique		

PP : polypropylène
 PPD : para-phénylène diamine
 PR : plastique recyclé
 PTFE : polytétrafluoréthylène
 PUR : polyuréthane
 PYR : pyrène
 RfC : concentration de référence
 RfD : dose de référence
 SBR : *styrene butadiene rubber*

SBRn : *styrene butadiene rubber* neuf
 SBRr : *styrene butadiene rubber* recyclé
 Se : sélénium
 sem : semaine
 Sn : étain
 t/min : tours/minute
 4-t-OP : 4-tert-octyl phénol
 U.S.EPA : *United States Environmental Protection Agency*
 VTR : valeur de référence toxicologique
 Zn : zinc

Unités

C_{10-50} : hydrocarbures comprenant 10 à 50 carbones
 cm^2 : centimètre carré
 g : gramme (1/1000 kg)
 kg : kilogramme
 L : litre
 mg : milligramme (1/1000 g)
 mg/Kg : milligramme par kilogramme
 mg/Kg p.c/j : milligramme par kilogramme de poids corporel par jour
 mg/L : milligramme par litre
 mg/m^3 : milligramme par mètre cube
 mm : millimètre
 ng : nanogramme (1/1000 μg)
 ng/L : nanogramme par litre
 ng/m^3 : nanogramme par mètre cube

ng/Kg p.c/j : nanogramme par kilogramme de poids corporel par jour
 μg : microgramme (1/1000 mg)
 $\mu g/L$: microgramme par litre
 $\mu g/m^3$: microgramme par mètre cube
 $\mu g/mL$ air/Kg : microgramme par millilitre par air par kilogramme de matériau
 $\mu g/pied$: microgramme/pied
 $\mu g/pied^2$: microgramme/pied au carré
 % : pourcentage
 °C : degrés Celsius
 Σ : la somme (résultat de l'addition)

Introduction

Depuis quelques années, on a vu apparaître de nouveaux terrains de sports dont la surface est constituée d'un gazon synthétique. Les terrains en gazon synthétique offrent de nombreux avantages comparativement au gazon naturel pour la pratique des sports d'équipe extérieurs. Ils sont plus résistants, plus faciles et moins coûteux à entretenir. Ils n'ont pas besoin d'arrosage ni d'engrais ou de pesticides comme le gazon naturel. Ils sont toujours en bon état et leur surface absorbante aide à prévenir les blessures chez les joueurs. Les terrains en gazon synthétique permettent ainsi un plus grand nombre d'heures d'utilisation sur des revêtements de bonne qualité. Ils constituent donc un atout pour lutter contre l'obésité et favoriser la pratique régulière d'activités physiques chez les jeunes.

Cependant, des citoyens et des organismes de différents pays ont questionné l'innocuité de certains matériaux utilisés dans la fabrication de ces gazons synthétiques. Pour répondre à ce questionnement, de nombreuses organisations - des universités, des instituts de santé publique, des fédérations sportives, des entreprises qui fabriquent ces gazons synthétiques - ont réalisé des études scientifiques visant à évaluer les impacts potentiels des matériaux sur la santé des joueurs et sur l'environnement.

La Ville de Montréal compte actuellement plus d'une trentaine de terrains de sports avec une surface en gazon synthétique et elle prévoit en aménager plusieurs autres au cours des prochaines années. À l'automne 2007, elle a demandé à la Direction de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de Montréal (DSP) une opinion en regard des risques que les matériaux des gazons synthétiques extérieurs pouvaient présenter pour la santé humaine.

Le présent document vise donc à faire le point sur les connaissances actuelles concernant les risques toxicologiques associés à l'exposition des joueurs aux matériaux des gazons synthétiques. On y présente *i)* les différents types de gazons synthétiques disponibles sur le marché et ceux aménagés dans les parcs de la ville de Montréal, *ii)* la description de la méthodologie que nous avons utilisée pour faire une revue critique des différentes études scientifiques, *iii)* les résultats des différentes études scientifiques qui ont mesuré les concentrations de substances chimiques des matériaux des gazons synthétiques (métaux, composés organiques volatiles, composés organiques semi-volatiles et hydrocarbures aromatiques polycycliques) et celles qui ont réalisé des analyses de risques toxicologiques pour les utilisateurs de gazons synthétiques, *iv)* la position officielle de différentes organisations quant à l'innocuité des gazons synthétiques ainsi que *v)* la conclusion que nous avons tirée de l'ensemble de ces informations.

Notre évaluation a porté strictement sur les risques toxicologiques des substances chimiques contenues ou émises par les gazons synthétiques utilisés pour les sports extérieurs, bien que certaines informations utilisées proviennent d'études sur les gazons synthétiques intérieurs ou sur les granulats placés sous les modules de jeux dans les parcs.

1. Description des gazons synthétiques

1.1 Types de gazons synthétiques

Le premier gazon synthétique au monde a été installé en 1966 à l'Astrodome de Houston, au Texas. Au Québec, c'est en 1976 que le premier gazon synthétique a été installé au centre Claude-Robillard de Montréal pour les jeux olympiques.

Ces gazons synthétiques faisaient partie de la 1^{ère} génération de gazons synthétiques. Ils étaient constitués d'un tapis de fibres synthétiques très courtes et tissées très densément sur un canevas de base, puis d'un coussin résilient préfabriqué permettant d'absorber les chocs, le tout reposant sur une fondation granulaire, généralement perméable ou bien drainée. Il n'y avait pas de granulats entre les fibres de gazon. Aujourd'hui, cette génération de gazons synthétiques n'est pratiquement plus utilisée pour le soccer et le football car elles ne reproduisent pas les conditions de jeu d'un gazon naturel et sont très abrasives ce qui peut causer des brûlures importantes lors des chutes ou des glissades (Gionet, 2005).

La 2^{ème} génération de gazons synthétiques est faite d'un tapis de fibres synthétiques plus longues et plus espacées, tissées sur un canevas de base et rempli d'une mince couche de sable. Sous ce tapis, on retrouve une sous-couche résiliente mise en place sur une fondation granulaire semblable à celle utilisée pour les surfaces de première génération. Les joueurs jouent surtout sur la couche de remplissage. Le rendement sur le plan sportif est similaire à celui des surfaces de 1^{ère} génération et la présence de sable les rend très abrasives à l'occasion de chutes ou de glissades, sans toutefois causer des brûlures. Ces gazons synthétiques ne sont pratiquement plus utilisés pour la pratique du soccer depuis la venue des revêtements de 3^{ème} génération (Gionet, 2005).

La 3^{ème} génération de gazons synthétiques est apparue sur le marché mondial en 1995 (Moretto, 2007). Ces gazons sont composés d'un tapis de fibres encore plus longues et plus espacées que celles des générations précédentes et tissées sur un canevas de base (Figure 1). Ce tapis est rempli de petites granules en caoutchouc ou d'un mélange de granules de caoutchouc et de sable sur une épaisseur d'environ 4 cm, éliminant ainsi l'utilité des sous-couches nécessaires aux générations précédentes. Les fibres se présentent sous forme de monofilament ou elles sont fibrilisées (pré-découpées sur le sens longitudinal) afin de simuler les brins de gazon naturel et de mieux stabiliser les granulats de remplissage (Gionet, 2005). Les performances sportives de ces revêtements avoisinent celles d'un gazon naturel régulièrement entretenu (Moretto, 2007). De plus, ils sont très sécuritaires pour les joueurs (Gionet, 2005).

On retrouve également des terrains de sports ayant des surfaces mixtes : une bande centrale de gazon synthétique de 3^{ème} génération couvre le centre du terrain et le devant des buts, alors que les deux bandes latérales du terrain sont en gazon naturel (Gionet, 2005).

Les différents types de gazons synthétiques doivent être aménagés sur des terrains bien drainés afin d'éviter les accumulations d'eau et ainsi lui permettre de conserver ses propriétés. Par contre, il est

important qu'une certaine quantité d'humidité soit présente dans les gazons synthétiques afin d'éviter l'augmentation de charges électrostatiques (Kolitzus, 2007).

On retrouve sur le marché plusieurs grandes compagnies qui fabriquent des gazons synthétiques, dont AstroTurf, Edel Grass, FieldTurf, Mondo, Playfield International, Sportexe, etc².

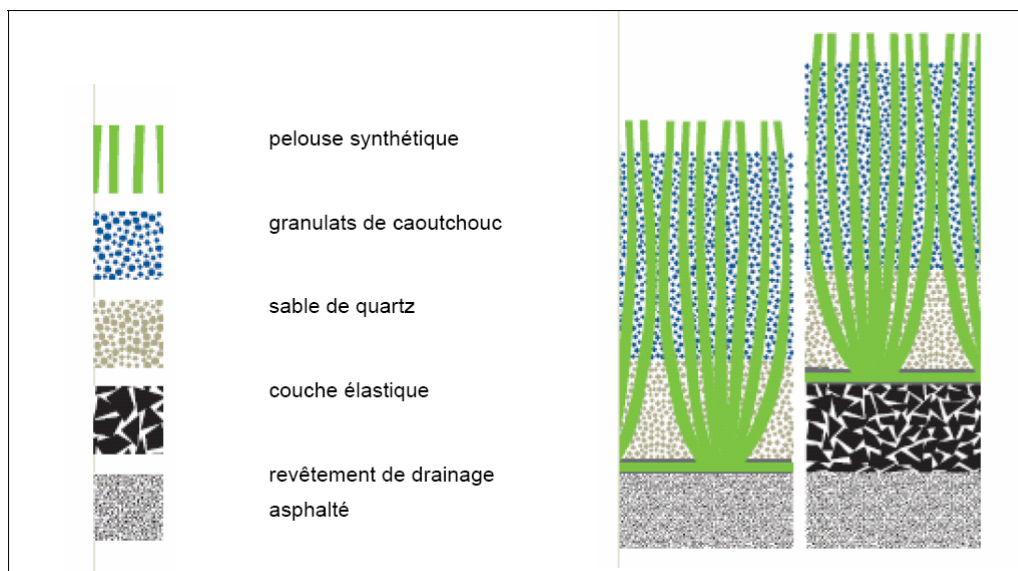


Figure 1. Schéma d'un gazon synthétique de 3^{ème} génération

Source : <http://www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/03458/index.html?lang=fr>

1.2 Avantages et inconvénients des gazons synthétiques

Les gazons synthétiques présentent de nombreux avantages par rapport aux terrains de sports en gazon naturel. Ils sont toujours en bon état car ils sont peu affectés par les conditions climatiques alors que les gazons naturels sur-utilisés présentent de grandes surfaces de terrain dénudées (dures et poussiéreuses durant les périodes sèches ou boueuses lors des périodes humides) qui sont alors moins sécuritaires pour les joueurs. Les gazons synthétiques nécessitent moins d'entretien que les gazons naturels (moins d'arrosage, moins d'engrais et de pesticides, etc)³. Ils ont une durée de vie de 10 à 15 ans. Contrairement aux premières générations, les gazons synthétiques de 3^{ème} génération offrent maintenant un excellent rendement sportif et ne sont plus aussi abrasifs pour les joueurs lors des chutes (Gionet, 2005).

De plus, il faut souligner que les gazons synthétiques ont un potentiel d'utilisation beaucoup plus grand que les gazons naturels. Selon monsieur Claude Roy de la Direction des sports, des parcs et des espaces verts de la Ville de Montréal, ils permettraient une utilisation de 10 à 15 fois plus longue que celle sur un

² Informations disponibles sur les sites Internet suivants : <http://www.astroturf.com>, <http://www.edelgrass.us/home4.html>, <http://www.fieldturf.com>, <http://www.mondousa.com>, <http://www.playfield.org>, <http://www.sportexe.com>.

³ Les opérations d'entretien consistent à brosser régulièrement les fibres afin de les redresser et à égaliser les bosses et les dépressions de granulats créées par le jeu, à décompacter les granulats une ou deux fois par saison afin qu'ils conservent leurs caractéristiques originales et à réparer et remplacer les zones de gazon abîmées (Montfort-Windels, 2008).

gazon naturel bien entretenu. Or, la disponibilité des installations sportives est un facteur important afin que les jeunes puissent pratiquer régulièrement des activités physiques (Comité scientifique de Kino-Québec, 2000).

Les gazons synthétiques ont cependant l'inconvénient d'être très coûteux à aménager et leur installation nécessite une expertise technique spécialisée. Les gazons de 3^{ème} génération avec granulats de caoutchouc peuvent faire augmenter la température des surfaces de jeux de façon significative lors des périodes de grande chaleur. De plus, les granules SBRr ont tendance à se retrouver dans les souliers des joueurs (Gionet, 2005) et peuvent dégager une odeur de « caoutchouc » lors des journées chaudes et humides.

1.3 Matériaux utilisés dans les gazons synthétiques

1.3.1 Matériaux des fibres et des trames

Les fibres des gazons synthétiques de 1^{ère} génération peuvent être fabriquées de nylon alors que celles des autres générations sont généralement faites de polyéthylène (PE), polypropylène (PP) ou polyamide (PA). Les fibres de nylon sont les plus abrasives, et le coefficient de frottement des fibres PP est plus élevé que celui des fibres PE. Les fibres peuvent être traitées avec des thermoplastiques tel que du polyéthylène téréphtalate (PET) et du polytétrafluoréthylène (PTFE), du silicone ou un quelconque agent assouplissant pour réduire leur caractère abrasif (Kolitzus, 2007)⁴.

Les matériaux utilisés comme base pour la couche de tapis sont généralement du polyester ou du PP, partiellement renforcé de fibre de verre. L'insertion des fibres est maintenue en place par une deuxième base qui est faite en latex ou en polyuréthane (PUR)⁵ (Kolitzus, 2007).

1.3.2 Matériaux des granulats

Les fibres des gazons synthétiques de 2^{ème} et 3^{ème} génération sont remplies de sable ou d'un mélange sable/granulats. Le poids du sable permet de tenir le canevas de plastique en place tandis que les granulats fournissent l'élasticité. L'épaisseur de la couche de granulats peut varier mais elle est généralement d'environ 3 cm (Keml, 2006).

Les granulats permettent de conférer au gazon synthétique une apparence et une performance au jeu similaire à celle du gazon naturel. Ils sont faits de caoutchouc ou de plastique provenant de matériaux neufs ou recyclés. Les granulats de matériaux neufs sont cependant plus dispendieux. Le Tableau 1 indique les principaux types de granulats disponibles.

⁴ Ce sont tous des polymères, c'est-à-dire des molécules composées d'un multiple de petites molécules appelées monomères. Les monomères sont liés ensemble par une opération chimique de polymérisation. Le PE et le PP sont très utilisés pour les emballages alimentaires (sacs, bouteilles, etc), le polyester sert surtout à fabriquer des textiles (Wikipedia, consulté le 21 juillet 2008), le PET est utilisé pour les textiles et les emballages jetables alors que le PTFE est appliqué comme recouvrement anti-adhésif sur les poêles et autres ustensiles de cuisine (Kolitzus, 2007).

⁵ Le polyuréthane est également un polymère qu'on retrouve souvent sous forme de mousse en ameublement (siège et dossier) (Wikipedia, consulté le 21 juillet 2008).

Tableau 1. Matériaux utilisés pour les granulats des gazons synthétiques

Matériau	Composition	Type
SBR	Copolymère de butadiène et de styrène <i>styrene-butadiene rubber</i> = SBR	SBRr : SBR recyclé (pneus recyclés) SBRn : SBR neuf
EPDM	<i>ethylene propylene diene monomer</i>	EPDMr: EPDM recyclé (matériaux recyclés) EPDMn: EPDM neuf
ETP	Élastomère thermoplastique	ETP-V : EPDM et polyoléfines thermoplastiques ETP-S : copolymère styrène et polyoléfines thermoplastiques
PR	Plastique recyclé	Polyoléfine ⁶

Granulats SBR

Les principaux granulats actuellement utilisés dans les tapis de 3^{ème} génération sont des granulats de caoutchouc produits à partir de pneus recyclés car ils présentent l'avantage d'être moins coûteux que d'autres types de granulats et parce que le recyclage des pneus est favorisé plutôt que leur disposition à l'enfouissement (Kolitzus, 2007).

Les pneus sont composés d'environ 40% de caoutchouc, dont une partie provient directement des arbres (caoutchouc naturel) et une autre partie est fabriquée à partir du pétrole (le principal caoutchouc synthétique est un copolymère⁷ de styrène et de butadiène (*styrene-butadiene rubber* = SBR)⁸) (Tableau 2).

Tableau 2. Proportion des matières contenues dans les pneus

MATIÈRES	POURCENTAGE
Noir de carbone	28 %
Caoutchouc synthétique	27 %
Caoutchouc naturel	14 %
Structure d'acier	10 %
Huiles	10 %
Tissus de fibres	4 %
Produits pétrochimiques divers	4 %
Soufre et autres additifs	3 %

Source : Liu, H.S. et coll., 2000 cités par Vertubleu Enr, 2001

Les pneus de caoutchouc sont fabriqués en mélangeant différents ingrédients selon le type de caoutchouc désiré et en donnant une forme précise à ce mélange. Des cordes de renforcement composées de toile et de métal, les ceintures d'acier, sont ajoutées afin de fournir plus de résistance et de stabilité lors du roulement. La vulcanisation est la dernière étape qui vise à convertir le mélange de caoutchouc, qui est essentiellement plastique, en un matériau élastique. Ce procédé requiert l'utilisation de différents types

⁶ Les polyoléfines sont fabriquées à partir d'un seul monomère qui est un oléfine, c'est-à-dire un hydrocarbure qui compte une double liaison entre deux atomes de carbone comme l'éthylène (polyéthylène) ou le propylène (polypropylène).

⁷ On distingue les homopolymères qui sont constitués d'un seul type de monomères (par exemple, le polyéthylène est composé uniquement d'éthylène) des copolymères où la polymérisation se fait sur deux ou plusieurs polymères (par exemple le copolymère styrène-butadiène est composé de monomères styrène et butadiène).

⁸ Les élastomères sont des polymères « élastiques » et la plupart d'entre eux sont des polymères organiques (à base de carbone). Parmi les élastomères les plus courants, on compte le latex (caoutchouc naturel), le polyuréthane et le copolymère de styrène et de butadiène (Wikipédia, 15 juillet 2008).

de produits chimiques qui incluent des agents de vulcanisation, des accélérateurs, des activateurs, des antiozonants, des antioxydants, des retardateurs et des plastifiants (Keml, 2006; Hofstra, 2007; Recyc-Québec, 2007; TRC, 2008). Le Tableau 3 présente les différentes substances chimiques détectées dans les pneus en fonction des sources potentielles lors de leur fabrication.

Tableau 3. Substances chimiques détectées en fonction des sources potentielles lors de la fabrication des pneus

Sources potentielles	Substances chimiques détectées
Métaux	
Oxyde de zinc utilisé comme activateur de la vulcanisation	zinc
Composante des ceintures et des billes d'acier	fer, manganèse et chrome
Catalyseur de la synthèse du caoutchouc	baryum
COV	
Utilisé dans la production des antioxydants	MIBK
Noir de carbone utilisé comme matière première	naphtalène
Utilisation des huiles de procédés comme adoucisseurs	toluène, benzène, acétone, MIBK
COsV	
Utilisation des huiles de procédés comme plastifiants et adoucisseurs	HAP
Utilisés comme accélérateur de la vulcanisation et pour lier le métal au caoutchouc	benzothiazoles
Ajouté aux pneus pour inhiber la dégradation du caoutchouc	aniline
Utilisation des huiles de procédés comme adoucisseurs ou traitement au phénol/formaldéhyde	phénol
Utilisés pour inhiber la vulcanisation durant la production de pneus et la décomposition du produit fini	diiiphénylnitrosamine/diméthylinitrosamine

Source: Informations de OEHA, 2007 colligées par TRC, 2008

Lors du recyclage, les morceaux de pneus sont déchiquetés et on en extrait les morceaux de métal à l'aide d'aimants et la fibre par aspiration. Les saletés sont enlevées par un lavage à l'eau (Recyc-Québec, 2007). Lorsqu'il ne reste que le caoutchouc, celui-ci est broyé mécaniquement, à température ambiante ou à très faible température de façon à produire des « granules cryogéniques » qui ont l'avantage d'avoir une meilleure définition de leur diamètre et ainsi de limiter la production de petites poussières (Kolitzus, 2007). Le diamètre aérodynamique des granules varie généralement de 0,5 à 3 mm pour une même surface de gazon synthétique (Figure 2) (Plessier et Lund, 2004). Les granulats SBR peuvent également être recouverts de polyuréthane afin d'améliorer la couleur (Kolitzus, 2007).



Figure 2. Photographie des matériaux d'un gazon synthétique avec granulats SBR

Source : http://www.nytimes.com/2007/10/28/nyregion/nyregionspecial2/28turfwe.html?_r=1&oref=slogin

Granulats EPDM

Il existe également des granulats EPDM produits à partir d'un caoutchouc synthétique formé de terpolymères d'éthylène, de propylène et de diène (ethylene-propylene-diene monomer = EPDM). Ce caoutchouc est utilisé pour la fabrication des tuyaux de jardin, des machines à laver ou des géo-membranes. Les granulats EPDM peuvent être fabriqués à partir de matériaux neufs - ils sont plus dispendieux mais les propriétés des granules peuvent alors être déterminées pour une application spécifique – ou de produits recyclés tels les joints de machines à laver, de portières de véhicules, etc (Kolitzus, 2007).

Granulats ETP

Les granulats formés d'élastomère thermoplastique (ETP) sont relativement nouveaux dans le domaine des terrains de sports synthétiques. On distingue deux types de granulats ETP, les granulats ETP-V (mélange de EPDM et de polyoléfines thermoplastiques) et les granulats ETP-S (mélange de styrènes copolymères et de polyoléfines thermoplastiques) (Kolitzus, 2007).

Granulats PR

Il existe également des granulats de plastique recyclé qui sont fabriqués à partir d'un seul monomère oléfine.

1.4 Types de gazons synthétiques aménagés à la Ville de Montréal

On compte actuellement plus d'une trentaine de terrains de sports aménagés en gazon synthétique à la Ville de Montréal et il s'en ajoute quelques-uns chaque année. Le Tableau 4 présente les caractéristiques de ces terrains. La majorité d'entre eux sont des gazons synthétiques de 3^{ème} génération dont les fibres sont en PE et les granulats en SBRr ou SBRr/sable (c'est-à-dire une couche inférieure de sable et une couche supérieure de granulats SBRr). Notre évaluation portera donc principalement sur ces matériaux.

Tableau 4. Caractéristiques des 32 gazons synthétiques aménagés à la Ville de Montréal

Sports	Complet ou mixte	Génération	Fibres	Granulats
16 soccer 1 football 4 soccer/football 7 mini-soccer 1 micro-soccer 2 tennis 1 aire de jeux	19 complets 13 mixtes	28: 3 ^o génération 3: 2 ^o génération 1: 1 ^o génération	27 PE 4 PP 1 nylon	18 SBRr 8 SBRr/sable 4 sable 2 aucun

2. Méthodologie utilisée pour évaluer les données de la littérature scientifique sur les gazons synthétiques

Nous avons évalué les données de la littérature scientifique concernant les risques à la santé des matériaux des gazons synthétiques de trois façons.

Dans un premier temps, nous avons extrait les résultats des mesures de substances chimiques associées aux matériaux des gazons synthétiques et nous les avons présentés dans des tableaux en fonction de différentes classes de substances chimiques : métaux, composés organiques volatiles, composés organiques semi-volatiles et hydrocarbures aromatiques polycycliques. Puis, nous les avons comparés à différentes valeurs-limites afin de porter un jugement sur les risques que ces substances pourraient représenter pour les joueurs qui pratiquent leurs sports sur des gazons synthétiques (Section 3.1 de ce document). Seules les données tirées d'études portant sur les matériaux des gazons synthétiques, et quelques fois celles des études portant sur les granulats utilisés sous les modules de jeux dans les parcs, ont été retenues⁹.

Dans un deuxième temps, nous avons revu les analyses de risques toxicologiques réalisées spécifiquement pour les utilisateurs de gazons synthétiques et nous en avons présenté les grandes lignes. Une comparaison entre les différentes approches retenues par les auteurs et l'approche normalement utilisée au Québec pour l'analyse des risques toxicologiques est présentée (Section 3.2).

Finalement, nous avons rapporté les conclusions de plusieurs organisations reconnues quant aux risques potentiels des substances chimiques associées aux gazons synthétiques sur la santé des utilisateurs ainsi que leurs recommandations quant à l'utilisation des différents matériaux pour l'aménagement des gazons synthétiques (Section 4).

2.1 Études portant sur la mesure des concentrations de substances chimiques associées aux matériaux

2.1.1 Type de substances chimiques évaluées

Les études scientifiques n'ont pas toutes mesuré les mêmes substances chimiques, et ce même lorsqu'elles portaient sur les mêmes types de matériaux. Le Tableau 5 présente les grandes catégories de substances chimiques susceptibles d'être associées aux matériaux des gazons synthétiques.

⁹ Nous nous sommes cependant assurés que les résultats des études portant strictement sur les granulats SBRr des gazons synthétiques (présentés aux tableaux 7 à 14) soient cohérents avec les résultats recensés par l'OEHA, 2007 à partir des études portant plus largement sur la réutilisation des pneus recyclés.

Tableau 5. Classes de substances chimiques

Groupe	Classes	Exemples de sous-classes ou de substances
Métaux	éléments essentiels	chrome, manganèse, zinc
	métaux lourds	arsenic, cadmium, plomb
	autres	baryum, fer
Composés organiques volatiles	composés totaux	Hydrocarbures totaux, COVt, COsVt
	aliphatiques	alcane (butane, propane, pentane) alcènes (butadiène, propylène)
	aromatiques	benzène, toluène, éthylbenzène, xylène, alkylbenzènes, alkyltoluènes
	aldéhydes	acétaldéhyde, formaldéhyde
	cétones	MIBK, MEK
	alcools	2-butoxyéthanol
	hydrocarbures chlorés	trichlorométhane, trichloroéthène
	HAP volatiles	naphtalène, méthylnaphtalènes
	hydrocarbures azotés	aniline, nitrosamines, benzothiazoles
Composés organiques semi-volatiles	phtalates	BBP, DBP, DEP, DEHP, DIDP, DINP, DMP, DOP
	phénols	4-t-octylphénol, iso-nonylphénol
	autres	BPC
	HAP cancérigènes	benzo(a)pyrène, benzo(a)anthracène
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	HAP non cancérigènes	acénaphthène, fluoranthène, phénanthrène, pyrène

2.1.2 Méthodes d'échantillonnage et d'analyse utilisées

Dans la littérature consultée, les substances ont été échantillonnées et analysées de façons différentes selon les objectifs visés par les chercheurs.

Certaines études visaient à mesurer les concentrations de substances chimiques présentes dans les matériaux (mesurées en mg/kg de matériau). Les résultats obtenus permettent d'identifier la présence d'une substance chimique dans un matériau mais ne fournissent pas d'information sur la capacité de cette substance à se dégager des matériaux et à exposer les joueurs.

D'autres études ont mesuré les concentrations de substances chimiques qui pouvaient être extraites des matériaux dans l'eau (en mg/L d'eau) dans certaines conditions de laboratoire plus ou moins agressives (acidité, agitation, durée). Les données obtenues permettent d'avoir une idée de l'impact des matériaux sur l'environnement (contamination de l'eau) mais ne sont généralement pas appropriées pour quantifier l'exposition des joueurs (certaines exemptions simulant des liquides biologiques tels la sueur ou le milieu gastrique seront détaillées plus loin).

Certaines études ont plutôt mesuré les concentrations de substances chimiques qui percolaient à travers les gazons synthétiques et se retrouvaient dans l'eau présente sous les terrains de sports (en mg/L d'eau). Bien que ces concentrations ne représentent pas vraiment l'exposition des joueurs puisqu'ils ne sont pas en contact avec cette eau, elles permettent de mieux représenter les conditions réelles sur le terrain et sont généralement utilisées pour évaluer les impacts des matériaux des gazons synthétiques sur l'environnement et l'écosystème.

Des chercheurs ont mesuré les concentrations de substances chimiques émises dans l'air par les matériaux. Les matériaux ont été placés dans un enclos, maintenus à une température et un taux d'humidité donnés, et les concentrations de substances accumulées dans cet enclos ont ensuite été mesurées en mg/m³ d'air. Quelques fois, elles ont été converties en mg de substances émises par kg de matériau (mg/kg de matériau). Ces données peuvent être comparées à des taux d'émission permis pour

les matériaux de construction ou utilisées pour modéliser les concentrations de substances chimiques attendues dans un gymnase intérieur où l'on retrouve ces matériaux (en mg/m³), ce qui représente alors l'exposition des joueurs.

Quelques études ont mesuré les concentrations de substances chimiques présentes dans l'air intérieur des gymnases avec gazon synthétique ou dans l'air extérieur au-dessus des terrains de sports (en mg/m³). Ces concentrations peuvent alors être utilisées directement pour évaluer l'exposition des joueurs. Il faut cependant tenir compte que d'autres facteurs que les émissions de substances chimiques par les matériaux peuvent faire varier ces concentrations, tels les vents à l'extérieur ou le volume et le taux de ventilation des gymnases.

Bien que toutes les analyses des études consultées aient été réalisées sur des matériaux prélevés ailleurs qu'à Montréal, nous croyons que leurs résultats s'appliquent aussi aux gazons synthétiques aménagés à la Ville de Montréal. En effet, les matériaux qui composent les gazons synthétiques sont les mêmes (les granulats SBRr proviennent des pneus qui sont produits de façon semblable), ils sont offerts par les mêmes grands fournisseurs et ils sont fabriqués par les mêmes entreprises généralement situées à l'extérieur du Québec. Même s'il existe une variation dans les concentrations des mêmes substances chimiques mesurées pour un même matériau dans les différentes études, l'évaluation que nous en avons faite et les résultats des analyses de risques toxicologiques réalisées par différents auteurs ont généralement considéré les pires concentrations mesurées.

2.1.3 Critères de comparaison retenus

Les concentrations de substances chimiques associées aux matériaux des gazons synthétiques doivent ensuite être comparées à des valeurs-limites basées sur la protection de la santé de la population en général afin d'être en mesure de porter un jugement sur les niveaux de risques que les gazons synthétiques peuvent présenter.

Trois pays européens ont développé des normes quant à la compatibilité environnementale des matériaux utilisés pour l'aménagement des gazons synthétiques. Il s'agit de la norme allemande *DIN 18035-7*, 2002-06, la norme suisse *ESSM*, 1997 et la norme autrichienne *OISS*, 2005 (Hametner et Muller, 2006; Institut Fresenius, 2006)^{10, 11}. Ces trois normes présentent une valeur pour le carbone organique dilué (DOC) établie pour indiquer la présence de composés organiques dans les matériaux et non pas comme limite de nocivité. Lorsque cette valeur de DOC est dépassée, il peut alors être pertinent de mesurer les composés organiques halogénés (EOX) dans les matériaux, particulièrement ceux qui sont plus dangereux pour la santé (les BPC par exemple). Ces normes présentent également des valeurs-limites pour des métaux (cadmium, chrome, étain, mercure, plomb et zinc) et les HAP extraits dans l'eau (Tableau 6).

¹⁰ La norme allemande *DIN 18035-7 – Sports grounds – Part 7 : Synthetic turf areas*, 06 : 2002, la norme suisse *ESSM Guideline – Sport grounds, guideline for environmental compatibility of elastics synthetic coverings on open air sports grounds* 1997 : 03 et la norme autrichienne *OISS - Requirements on synthetic turf areas*, version 2005 : 01. Nous n'avons trouvé aucune norme en Amérique du Nord ni au Canada qui vise à évaluer le degré de toxicité des gazons synthétiques.

¹¹ Selon Koltz, 2006, la norme suisse serait en cours de révision afin que la méthode d'échantillonnage et d'analyse pour les substances chimiques extraites dans l'eau en laboratoire soit modifiée et propose plutôt de mesurer les concentrations de substances chimiques sur le terrain avec des échantillonneurs d'eau de percolation placés sous les gazons synthétiques.

L'analyse du Tableau 6 suggère que les valeurs-limites des trois normes pour les substances chimiques extraites dans l'eau sont basées sur la protection de la ressource-eau puisqu'elles sont très semblables aux valeurs-limites québécoises pour les eaux souterraines tirées de la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés* du MDDEP, 1998 (soit pour la consommation d'eau potable ou pour la résurgence dans les eaux de surface), sauf pour le mercure dont une valeur est beaucoup plus élevée. Les valeurs-limites de ces normes semblent donc avoir été établies de façon à protéger l'environnement et l'écosystème.

Tableau 6. Normes internationales concernant les impacts des gazons synthétiques sur l'environnement et la santé, et valeurs-limites pour les eaux souterraines de la Politique des sols du MDDEP

Normes	DIN 18035-7, 2002-06 Allemagne			ESSM 105 Suisse, 1997	OISS, 2005 Autriche	Politique des sols, 1998 Québec	
	origine	48h lixiviât neutre	48 h lixiviât acide			Eau potable	Eaux de surface ¹
Paramètres	mg/kg	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
DOC		20/40		15	20		
EOX	100				100		
Cd			0,005	0,005	0,003	0,005	0,0021
Cr			0,05	0,05	0,3	0,05	
CrVI			0,008		0,008		0,016
Sn			0,05	0,5	0,05		
Hg			0,001	1	0,001	0,001	0,0013
Pb			0,04	0,05	0,03	0,01	0,034
Zn		0,5	3	0,2	0,5	5	0,067
HAP					0,002	0,00001 BaP	0,005 BaP ²

Source : Hametner et Muller, 2006

¹ Résurgence dans les eaux de surface ou infiltration dans les eaux d'égout

² Les BaA, BaP, BbKf, CHR, DBaH et IND ont tous un critère de 0,005 mg/L chacun.

Nous avons également indiqué les valeurs-limites recommandées par une norme LAGA allemande et qui concernent des concentrations de métaux dans les matériaux. Ces valeurs-limites sont tirées d'un rapport de Tencate thiolon, 2008. Nous n'avons cependant aucune information sur cette norme ni sur la portée de ces valeurs-limites. Ces informations ne sont donc présentées qu'à titre d'information.

Nous avons également utilisé d'autres valeurs-limites qui ont été établies pour des milieux différents. Ainsi, nous avons comparé les concentrations de substances chimiques mesurées dans les matériaux des gazons synthétiques avec certaines valeurs-limites pour d'autres produits de consommation comme celles du plomb pour les peintures et les revêtements pour les jouets ou encore celles des phtalates pour les hochets et autres objets portés à la bouche par les très jeunes enfants. Nous avons également comparé les concentrations de substances chimiques mesurées dans les matériaux des gazons synthétiques avec les valeurs-limites permises pour un usage résidentiel ou commercial/industriel des sols selon la *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés* du MDDEP, 1998. Cependant, nous n'avons utilisé ces critères qu'à titre indicatif car ces valeurs-limites ne s'appliquent pas aux matériaux des gazons synthétiques. Si les concentrations mesurées dans les matériaux des gazons synthétiques excèdent les valeurs-limites pour un usage résidentiel des sols, nous avons alors vérifié la possibilité que les joueurs soient exposés à des niveaux significatifs de substances chimiques via les différentes voies d'exposition (ingestion, inhalation et contact cutané).

Les concentrations de substances chimiques extraites dans l'eau et celles mesurées sous les terrains de sports ont été comparées avec les valeurs-limites recommandées pour l'eau potable, les eaux de surface, les eaux souterraines ou la vie aquatique par le gouvernement du Québec ou du Canada. Les concentrations mesurées dans l'air intérieur des gymnases ou dans l'air extérieur au-dessus des terrains de sports ont, quant à elles, été comparées à des concentrations normalement mesurées et avec des valeurs-limites permises dans l'air intérieur et extérieur.

2.2 Études d'analyse de risques toxicologiques

Toute substance chimique peut causer des effets sur la santé lorsqu'elle est présente en quantité suffisante. La gravité de ces effets s'étale depuis « aucun effet observé » lorsque les concentrations sont très faibles, jusqu'à la mort dans les cas d'exposition à de très très fortes quantités. Entre ces deux extrêmes, il existe toute une gamme d'effets sur la santé qu'on classe généralement en « effets aigus » c'est-à-dire des effets qui apparaissent lors d'une courte exposition à de fortes concentrations de substances chimiques (par exemple : irritation des yeux et des muqueuses, nausées et vomissements, toux et difficultés à respirer) et en « effets chroniques » c'est-à-dire des effets qui apparaîtront après une longue exposition à des concentrations moins élevées de substances chimiques (par exemple : atteinte au foie ou aux reins après des années d'exposition en milieu de travail). Ces effets chroniques peuvent être des « effets autres que le cancer » ou des « effets cancérigènes ».

La présence d'une substance chimique ne représente pas nécessairement un risque inacceptable pour la santé. En effet, nous sommes tous exposés à divers degrés aux substances chimiques via l'inhalation de l'air extérieur ou intérieur, l'ingestion d'eau et d'aliments, ainsi que l'ingestion involontaire et le contact cutané avec les poussières, les sols et l'ensemble des produits de consommation; c'est ce qu'on appelle l'exposition « bruit de fond ». La comparaison entre l'exposition associée à une source en particulier, comme celle des matériaux des gazons synthétiques, et celle du bruit de fond permet de mettre en perspective le niveau de risque que cette nouvelle source peut présenter.

Dans le scénario des joueurs de soccer sur des gazons synthétiques extérieurs, les voies d'exposition potentielles seraient les suivantes : *i*) ingestion accidentelle de poussières ou de granulats du terrain par la voie main-bouche (l'ingestion directe de poussières ou de granulats surestime certainement l'exposition des joueurs qui sont généralement âgés de plus de 5 ans et qui n'ont plus le comportement de tout porter à leur bouche), *ii*) inhalation des poussières et des vapeurs dans l'air extérieur (l'utilisation des concentrations mesurées à l'intérieur en gymnase surestime de beaucoup l'exposition des joueurs sur des terrains extérieurs) et *iii*) contact cutané avec les poussières et les granulats (il s'agit souvent de la voie d'exposition la plus faible car les substances chimiques sont généralement peu mobilisées à partir des matériaux et faiblement absorbées par la peau).

C'est dans cette optique que des auteurs ont réalisé des analyses de risques toxicologiques pour les joueurs qui pratiquent leur sport sur ces gazons synthétiques. Ce type d'études consiste à estimer, par des calculs, les doses de substances chimiques auxquelles les joueurs sont exposés lors de la pratique de leur sport (en mg de substance par kg de poids corporel par jour (mg/kg p.c./j)) en considérant toutes les voies d'exposition. Cette exposition est ensuite comparée à des valeurs de référence toxicologiques (VRT),

tant pour les substances ayant des effets autres que le cancer que pour les substances ayant un effet cancérogène¹².

Quelques études ont simulé le comportement de l'organisme humain vis-à-vis les matériaux. Par exemple, Nilsson et coll., 2005 ont évalué *in vitro* le relâchement des substances chimiques de morceaux de pneus dans une eau qui ressemble à la sueur et Hofstra, 2007 a simulé la migration des HAP à travers la peau en laboratoire. Ce type d'études permet de mieux caractériser l'exposition des joueurs aux substances chimiques des matériaux via une voie d'exposition difficile à estimer avec précision par des calculs mathématiques dans l'analyse de risques toxicologiques.

Enfin, de rares études ont mesuré les métabolites de certaines substances chimiques des matériaux des gazons synthétiques dans l'urine de joueurs avant et après une activité intense sur un terrain de sports synthétique et ont comparé ces niveaux avec les niveaux moyens de métabolites généralement observés dans la population en général.

¹² Les lignes directrices du ministère de la Santé et des Services sociaux pour l'analyse de risques toxicologiques considère que l'exposition bruit de fond + l'exposition à l'étude ne doivent pas dépasser la VRT pour les effets autres que le cancer et que le risque cancérogène associé à l'exposition à l'étude ne doit pas dépasser 1×10^{-6} , soit un excès de risque de cancer par 1 million d'individus (MSSS, 2002).

3. Risques à la santé associés aux matériaux des gazons synthétiques

3.1 Mesures des concentrations de substances chimiques associées aux matériaux

Nous avons retenu une quinzaine d'études scientifiques ayant mesuré les concentrations de substances chimiques associées aux matériaux des gazons synthétiques en Amérique du Nord et en Europe et qui présentent suffisamment d'information sur les méthodes d'analyses utilisées (l'annexe 1 présente le détail de ces études). Les résultats de ces mesures sont présentés ci-après en commençant par les métaux, puis les composés organiques, les composés organiques semi-volatiles et finalement les hydrocarbures aromatiques polycycliques.

3.1.1 Métaux

3.1.1.1 Concentrations de métaux mesurées dans les matériaux

Parmi les différents métaux mesurés dans les matériaux des gazons synthétiques, on remarque que le chrome, le cobalt, le plomb et le zinc apparaissent plus élevées que certaines valeurs-limites (indiqué en gris au Tableau 7).

Ainsi, les concentrations de chrome mesurées dans les fibres de nylon d'une étude (454 à 630 mg/kg de TSI Testing Services inc pour Astroturf, 2008) et dans les granulats EPDM d'une autre étude (5 200 mg/kg de Plessier et Lund, 2004) sont plus élevées que la norme LAGA (citée par Tencate thiolon, 2008) pour les matériaux (100 mg/kg) et la valeur-limite permise pour un usage résidentiel des sols (250 mg/kg) (MDDEP, 1998)¹³.

Les concentrations de cobalt mesurées dans les granulats SBRr par IBV, 2007 (211 mg/kg) et par RAMP, 2007 (jusqu'à 14 mg/kg) sont plus élevées que la valeur-limite permise pour un usage résidentiel des sols (50 mg/kg) (MDDEP, 1998).

Les concentrations de plomb mesurées dans les fibres de nylon des gazons de 1^{ère} génération peuvent atteindre 3 400 et 4 100 mg/kg selon une étude menée au New Jersey alors que celles mesurées dans les fibres de PE et de PP des gazons de 2^{ème} et 3^{ème} génération sont très faibles ou non-détectées (Bresnitz, 2008a et New Jersey Department of Health and Senior Services, 2008a). Ces valeurs sont plus élevées que la norme LAGA (85 mg/kg), que la valeur-limite actuelle pour les peintures intérieures et les revêtements pour les jouets d'enfants (600 mg/kg selon Gouvernement du Canada, 2005) ainsi que les valeurs-limites permises pour un usage résidentiel des sols (500 mg/kg) et un usage commercial/industriel

¹³ Les valeurs-limites de la *Politique des sols* du MDDEP ne sont présentées qu'à titre indicatif. Si les concentrations mesurées dans les matériaux des gazons synthétiques excèdent les valeurs-limites pour un usage résidentiel des sols, nous avons alors vérifié la possibilité que les joueurs soient exposés à des niveaux significatifs de substances chimiques via les différentes voies d'exposition (ingestion, inhalation et contact cutané).

(1 000 mg/kg) (MDDEP, 1998). Elles seraient plutôt du même ordre que l'ancienne valeur-limite pour les peintures intérieures en vigueur avant 2005 (5 000 mg/kg) (Santé Canada, 2004).

La presque totalité des études indiquent des concentrations de zinc dans les fibres de PE/PP (3 300 mg/kg) et dans les différents types de granulats (174 à 27 300 mg/kg) plus élevées que la norme LAGA (140 mg/kg) et que les valeurs-limites permises pour un usage résidentiel des sols (500 mg/kg) et un usage commercial/industriel (1 500 mg/kg).

Soulignons que des analyses faites par Verna, 2006 en Italie avaient démontré des concentrations non négligeables de baryum, de cobalt, de cuivre et de magnésium dans certains granulats SBRr et ETP. Cependant, comme cette étude n'est disponible qu'en italien, sous forme de présentation PowerPoint, qu'aucune information n'est disponible sur les méthodes d'analyse des substances chimiques dans les matériaux et qu'aucun suivi ni étude scientifique subséquente ne semblent avoir été réalisés depuis, nous n'avons pas considéré les concentrations mesurées dans notre évaluation.

3.1.1.2 Émissions et concentrations de métaux dans l'eau

Même si les teneurs de chrome, de cobalt et le plomb sont relativement élevées dans les matériaux, ces métaux semblent peu mobilisés dans l'eau tel qu'indiqué au Tableau 7. Ainsi, le chrome très présent dans les granulats de EPDM (5 200 mg/kg) est très peu mobilisé dans l'eau (< 0,002 mg/L) (Plessier et Lund, 2004). Il en est de même pour le cobalt (211 mg/kg dans les granulats SBRr et seulement 0,006 mg/L dans l'eau (LUT, 2004 cité par VROM, 2000). C'est également le cas pour le plomb (2 394 à 3 318 mg/kg et <0,042 mg/L dans l'eau), quoique la méthode d'extraction dans l'eau utilisée dans cette étude semble être moins agressive que celle proposée dans les normes européennes pour les gazons synthétiques (TSI Testing Services inc pour Astroturf, 2008).

Cependant, la présence élevée du zinc dans les matériaux demeure significative lors des tests d'extraction dans l'eau en laboratoire. En effet, les concentrations de zinc extraites dans l'eau à partir des granulats SBRr selon différentes méthodologies (certaines peu agressives et d'autres très agressives) (0,59 à 7,05 mg/L) apparaissent plus élevées que les valeurs-limites des normes pour les gazons synthétiques (0,5 et 3 mg/L). Elles demeurent cependant généralement en-dessous de la valeur-limite recommandée pour l'eau potable au Canada (5 mg/L) (Santé Canada, 2008).

Sur le terrain, les concentrations de zinc recueillies dans l'eau de pluie qui a percolé à travers un gazon synthétique de 3^{ème} génération (moins de 0,25 mg/L) sont beaucoup plus faibles que celles obtenues par des méthodes plus agressives en laboratoire et citées ci-haut (0,59 à 7,05 mg/L) (Moretto, 2007). Moretto, 2007 a observé une atténuation très rapide des taux de relargage du zinc et des autres métaux avec le temps alors que Verschoor, 2007 a constaté que les concentrations de zinc relâchées dans l'eau par les granulats SBRr augmentent au fur et à mesure que ces matériaux vieillissent.

Toutefois, si certains auteurs s'interrogent sur les impacts potentiels du zinc relâché par les matériaux des gazons synthétiques sur l'environnement (Kopangen, 2005; Verschoor, 2007), tous s'accordent pour dire que ce métal ne présente pas de risque pour la santé des joueurs compte tenu de la faible toxicité humaine de ce métal (il s'agit d'un élément essentiel pour l'humain) et que les concentrations de zinc extraites dans l'eau ou ayant percolé à travers les matériaux sont généralement inférieures à la teneur maximale de zinc recommandée pour l'eau potable (5 mg/L) (Hofstra, 2007; OEHA, 2007 ; Johns, 2008).

3.1.1.3 Émission des métaux dans les poussières et dans l'air

Les métaux présents dans des matériaux des gazons synthétiques ne peuvent s'évaporer dans l'air comme certains composés organiques volatiles. Cependant, avec l'usure, des particules peuvent se détacher du matériau, se mêler aux poussières et être remises en suspension dans l'air. Si ces particules sont suffisamment petites, elles peuvent être inhalées; on considère généralement que les particules dont le diamètre est inférieur à 0,01 mm peuvent pénétrer dans les poumons.

Il existe peu d'études portant sur les concentrations de métaux mesurées dans les poussières en provenance des gazons synthétiques; nous n'avons retrouvé que des données portant sur le plomb. Au New-Jersey, Bresnitz, 2008a a mesuré une concentration de 3 742 mg/kg de plomb dans un échantillon de poussières d'un gazon synthétique avec des fibres de nylon (Bresnitz, 2008a) (Tableau 8). Ce plomb était présent sous forme de chromate de plomb et des tests de biodisponibilité *in vitro* ont démontré que les taux d'absorption du plomb à partir de ces poussières lors de l'ingestion chez l'humain seraient semblables à ceux du plomb des poussières de maisons ou des sols lorsqu'on utilise la même méthode d'analyse (Bresnitz, 2008b)¹⁴. Cette présence de plomb dans les fibres et dans les poussières a conduit le New Jersey Department of Health and Senior Services à recommander la fermeture de trois terrains de sports avec du gazon synthétique en 2007-2008.

Ce résultat de la concentration de plomb dans les poussières du terrain de sport est inhabituel. En effet, les poussières sur un terrain contiennent plus de plomb (3 742 mg/kg) que celles des fibres du gazon d'où elles proviennent (2 394 à 3 318 mg/kg). Normalement, le plomb des fibres usées se mêlerait aux autres poussières en provenance des retombées atmosphériques qui, elles, en contiennent peu. Cela ferait diminuer la concentration de plomb dans les poussières par rapport à celles des fibres, et non pas le contraire. Des communications disponibles sur Internet semblent indiquer que le terrain de sport en question serait entouré d'un ancien secteur industriel. Il est possible que des émissions en provenance de ce secteur industriel aient pu contribuer à la concentration de 3 742 mg/kg mesurée sur le terrain. De plus, des tests réalisés dans le sang d'enfants qui avaient joué sur ce terrain de sport ont démontré des niveaux plus faibles ou égaux à ceux d'enfants qui n'avaient pas été exposés à ce gazon synthétique (A-Turf inc, 2008; Gill et Hainsey, 2008).

Dans l'état voisin, la problématique de plomb dans les fibres de nylon a été évaluée différemment. Le New York City Department of Health and Mental Hygiene, 2008b a plutôt mesuré les quantités de plomb dans les poussières présentes sur les surfaces des terrains de sports à partir de la même méthodologie d'échantillonnage et d'analyse que celle utilisée pour évaluer l'impact du plomb dans des maisons où résident des enfants (méthode *EPA 40 CFR-745.65 (b)* du U.S.EPA, 2007). Il a ainsi démontré que les quantités de plomb dans les poussières de quatre gazons synthétiques avec fibres de nylon (10 à 18 µg/pied)¹⁵ n'étaient pas plus élevées que les limites recommandées par l'*EPA 40 CFR-745.65 (b)* sur les surfaces résidentielles (plancher, seuil de fenêtre) (U.S.EPA, 2007) (Tableau 8).

Il faut également considérer que les poussières sur les gazons synthétiques sont présentes à l'extérieur, que les enfants qui jouent sur des terrains de sports sont généralement âgés de 5 ans et plus, qu'ils ne sont présents que quelques heures par semaine sur les terrains de sports et que leur contact avec la poussière de ces terrains est relativement faible.

¹⁴ C'est-à-dire 15 à 50% dans des conditions acides semblables à celles de l'estomac et 10% dans des conditions à celles de l'intestin.

¹⁵ La concentration de plomb mesurée dans les fibres d'un de ces gazons variait de 3 692 à 5 284 mg/kg.

Une seule étude a mesuré les teneurs de plomb dans l'air intérieur de gymnases munis de gazons synthétiques de 3^{ème} génération en Europe (0,1 et <1 ng/m³ selon IVL, 2004 cité par Keml, 2006). Ces concentrations se sont avérées beaucoup plus faibles que les concentrations moyennes de plomb mesurées dans l'air extérieur de l'île de Montréal (Ville de Montréal et Direction de l'environnement, 2004) (Tableau 8).

Gazons synthétiques utilisés pour les sports extérieurs à la Ville de Montréal
Revue de la littérature et évaluation des risques toxicologiques

Tableau 7. Mesure des concentrations de métaux associés aux gazons synthétiques

CONCENTRATION DANS LES MATÉRIAUX (mg/kg)	As	Ba	Cd	Cr	Co	Cu	Mn	Hg	Ni	Pb	Se	Zn	Auteurs
Fibres nylon										3400 à 4100 ¹			Bresnitz, 2008 et NJDHSS, 2008
Fibres nylon				454 à 630						2 394 à 3 318			TSI, 2008
Fibres nylon/PE										1000 ²			Bresnitz, 2008
Fibres PE ou PP										faible			Bresnitz, 2008
Fibres PE	< 3		< 0,1	< 2		59		< 0,03	< 1	< 2		3 100	Plessier et Lund, 2004
Fibres PE/PP	< 2		< 0,1	< 2		68		< 0,03	< 1	< 2		3 300	Plessier et Lund, 2004
Granulats SBR ³	<3		1 à 2	< 2		20 à 70		< 0,03 à 0,04	< 5	15 à 20		7 300 à 17 000	Plessier et Lund, 2004
Granulats SBRr			< 2	< 2		32				<10		174	Edeskar, 2004 cité par Keml, 2006
Granulats SBRr	<0,5	3	0,8	1				<0,007		6 à 83	<0,5	13 200 à 27 300	Mondo, 2008
Granulats SBRr (camion/auto)		4			211	34				18		16 642	IBV, 2007
Granulats SBRr			0,6	1,5	7 à 141		7,5			67			RAMP, 2007
Granulats 50%SBRr/50%EPDM			< 0,1	2		4		< 0,005		1		18 000	Stockholm City 2004 cité par Keml, 2006
Granulats EPDM	<2		< 0,5	5 200		< 3		< 0,03	< 5	8		9 500	Plessier et Lund, 2004
Granulats EPDMr	<0,4	<2	<0,4	<0,8				<0,007		<0,4	<0,4	32	Mondo, 2008
Granulats PR	<0,4	28	<0,4	2				<0,006		0,7	0,7	2	Mondo, 2008
Norme LAGA			0,8	100				0,3		85		140	Tencate Thiolon, 2008
Peintures/revêtements pour jouets										600			Gouvernement du Canada, 2005
Peintures (avant 2005)										5 000			Santé Canada, 2004
Critère A (bruit de fond)	6	200	1,5	85	15	40	770	0,2	50	50	1	110	MDDEP, 1998
Valeur-limite sols résidentiel	30	500	5	250	50	100	1 000	2	100	500	3	500	MDDEP, 1998
Valeur-limite sols comm/industriel	50	2 000	20	800	300	500	2 200	10	500	1 000	10	1 500	MDDEP, 1998
ÉMISSION DANS L'EAU (mg/kg de matériau)													
Granulats SBRr												4,6 à 57	Hofstra, 2007
Fragments de pneus recyclés (max)	0,13	1,7	0,27	0,5	0,1	4,9	5,8	0,0001	12	0,92	0,4	2 320	OEHA, 2007
ÉMISSION DANS L'EAU (µg/L)													
Fibres nylon	<50	2 à 5	<6	<8						<42	<75		TSI, 2008
Fibres PE PE/PP												860 - 1 000	Plessier et Lund, 2004
Granulats SBRr												590 - 2 290	Plessier et Lund, 2004
Granulats SBRr			0,004							0,1	12	1 000	EHHI, 2007
Granulats SBRr (pH:4,2)			0,01							0,2	13	2 750	EHHI, 2007
Granulats SBRr (camion/auto)												310	IBV, 2007
Granulats SBRr	2		0,1	6	6	6 à 383	6 à 56					1 310 à 7 050	LUT, 2004 cité par VROM, 200
Granulats SBR + EPDM								<0,02	1 à 4	8 à 49		3 à 20	Kolitzus, 2006
Granulats EPDM				< 2								80	Plessier et Lund, 2004
CONCENTRATION DANS L'EAU (µg/L)													
Gazon avec granulats SBRr (terrain)	0 à 20					0 à 70				0 à 25		0 à 250	Moretto, 2007
Gazon avec granulats EPDM (terrain)	0 à 20					0 à 45				0 à 25		0 à 250	Moretto, 2007
Gazon avec granulats ETP (terrain)	0 à 20					0 à 45				0 à 25		0 à 250	Moretto, 2007
Norme - gazon synthétique			5	50				1		40		500 ou 3 000	DIN18035-7
Valeur-limite eau consommation	25	1 000	5	n.d	n.d	1 000	50	1	20	10	10	5 000	MDDEP, 1998
Valeur-limite eaux souterraines	340	5 300	2,1	16	500	7,3	n.d	0,13	260	34	20	67	MDDEP, 1998
Valeur-limite pour l'eau surface	0,018	1 000	5	50		1 000	50	0,002	20	10	10	5 000	MDDEP, 2007
Norme réseau pluvial	1 000	1 000	100	1 000		1 000		1	1 000	100		1 000	Ville de Montréal, 1986
Norme réseau égout sanitaire	1 000		2 000	5 000		5 000		50	5 000	2 000		10 000	Ville de Montréal, 1986
Valeur-limite pour l'eau potable	10	1 000	5			1 000	50	1		10	10	5 000	Santé Canada, 2008

¹ La poussière des tapis synthétiques et des fibres synthétiques étaient de 3742 mg/kg. Il s'agit d'un parc situé près d'une cour de ferraille au New Jersey

² La concentration de plomb dans la fibre de nylon seulement était de 3500 mg/kg.

³ La première valeur correspond aux particules grossières (Ø=2-4 mm) et la deuxième aux fines particules.

Tableau 8. Concentrations de plomb mesurées dans les poussières de gazons synthétiques extérieurs et dans l'air intérieur des gymnases

	<i>Fibres (mg/kg)</i>	<i>Granulats (mg/kg)</i>	<i>Poussières (mg/kg)</i>	<i>Poussières micro-vacuum (µg/pied²)</i>	<i>Poussières essuyage (µg/pied²)</i>	<i>Concentration dans l'air (ng/m³)</i>	<i>Auteurs</i>
CONCENTRATION DANS LES POUSSIÈRES DES TERRAINS EXTÉRIEURS							
Terrains de sports en gazon synthétique avec fibres de nylon	2 394 à 3 318		3 742				Bresnitz, 2008
Gazon 1 ^{ère} génération	3 200 à 5 300			<77 à 214	10 à 18		New York City DHMH, 2008
Gazon 1 ^{ère} génération	<350			<77	<8 à 12		New York City DHMH, 2008
Gazon 3 ^{ème} génération	<15 à 294	<16 à 59			<8 à 13		New York City DHMH, 2008
Valeur-limite de l'EPA 40 CFR-745.65(b) pour les planchers					40		U.S.EPA, 2007
Valeur-limite de l'EPA 40 CFR-745.65(b) pour les rebords intérieurs des fenêtres					250		U.S.EPA, 2007
CONCENTRATION DANS L'AIR INTÉRIEUR							
Gazon avec granulats SBRr						0,1 et <1	IVL, 2004 cité par Keml, 2006
Concentration moyenne (maximale) dans l'air ambiant de la Ville de Montréal						10 (29)	Ville de Montréal, 2003

3.1.2 Composés organiques

Cette section du document présente les concentrations de composés organiques associés aux matériaux des gazons synthétiques selon la classification suivante :

- les composés organiques totaux dans les matériaux,
- les composés organiques volatiles :
 - les composés organiques volatiles totaux (COVt),
 - les principaux composés aromatiques volatiles (BTEX et alkylbenzènes) et
 - les aldéhydes, les cétones et les composés organiques chlorés
- les composés organiques semi-volatiles (COsV) :
 - les phénols,
 - les BPC,
 - les composés à base d'azote et de soufre,
 - les phtalates, et finalement
- les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

3.1.2.1 Composés organiques totaux

Une grande proportion des matériaux des gazons synthétiques est constituée de composés organiques puisqu'ils sont fabriqués à partir de matières organiques telles que le pétrole et le caoutchouc.

Les concentrations de carbone organique dissous (DOC) extraites dans l'eau en laboratoire à partir de granulats SBRr indiquent des valeurs (34 à 56 mg/L selon Plessier et Lund, 2004 et 12 mg/L selon l'IBV, 2007) semblables aux valeurs-limites recommandées pour les gazons synthétiques (15 à 40 mg/L) (Tableau 9) alors que celle des granulats EPDM est plus élevée (170 mg/L selon Plessier et Lund, 2004). Soulignons cependant que la méthode d'analyse utilisée par Plessier et Lund, 2004 est différente de celle des normes et pourrait contribuer à cette différence.

Sur le terrain, les concentrations de composés organiques totaux mesurées dans l'eau recueillie directement sous les gazons ($< 0,05$ mg/L en hydrocarbures totaux selon Moretto, 2007) sont beaucoup plus faibles que les concentrations extraites en laboratoire (voir ci-haut) et que la valeur-limite permise pour les eaux souterraines par la *Politique des sols* du Ministère de l'Environnement du Québec, 1998 (3,5 mg/L en C_{10} - C_{50}), et ce pour tous les types de granulats.

3.1.2.2 Composés organiques volatiles

Selon une revue des différentes études portant spécifiquement sur la fabrication des pneus et sur la réutilisation des pneus recyclés, l'OEHA, 2007 a identifié une vingtaine de COV extraits dans l'eau ou dans l'air en quantité plus importante que les autres. Les deux COV les plus importants étaient le MIBK (1,15 mg/kg de pneus) et le naphthalène¹⁶ (1,1 mg/kg de pneus) tandis que les autres COV extraits à des

¹⁶ Le naphthalène et les méthyl-naphthalènes font partie de la famille des HAP. Toutefois, en raison de leur volatilité plus grande que celle des autres HAP, ils sont captés lors de l'échantillonnage des COVt.

taux supérieurs à 0,001 mg/kg de pneus étaient l'acétone, le toluène, le benzène, les hydrocarbures pétroliers totaux, les HAP, le MEK et le 2-méthylnaphtalène. Toutes ces substances, mis à part le 2-méthylnaphtalène, proviennent des huiles de pétrole et du goudron de houille utilisés dans la production des pneus.

Composés organiques volatiles totaux (COVt)

Moretto, 2007 a mesuré les quantités de COVt émises par des gazons synthétiques complets dans des enclos installés en laboratoire à partir de la méthodologie utilisée pour déterminer les taux d'émission des matériaux de construction en France. Il a observé que les concentrations de COVt émises diminuaient de façon importante au cours des 28 jours d'expérimentation. Il a également noté que les émissions des gazons avec granulats EPDMn ($490 \mu\text{g}/\text{m}^3$ après 28 jours) étaient plus élevées que celles des gazons synthétiques avec granulats SBRr ($134 \mu\text{g}/\text{m}^3$ après 28 jours) et avec granulats ETP ($118 \mu\text{g}/\text{m}^3$ après 28 jours), comparativement aux émissions des gazons sans granulats ($8,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ après 28 jours, qualifiées de très faibles comparativement aux émissions de d'autres matériaux de construction comme les parquets). Toutefois, ces valeurs ne peuvent pas être utilisées pour évaluer l'exposition des joueurs. Elles doivent absolument être transformées à l'aide de modèles mathématiques afin d'estimer les concentrations attendues dans l'air intérieur des gymnases et ensuite permettre d'évaluer les risques pour la santé des joueurs (voir l'analyse des risques toxicologiques de l'INERIS qui a utilisé ces résultats à la section 3.2).

NILU, 2006 a mesuré les concentrations de COVt dans l'air intérieur de trois gymnases norvégiens qui abritent des terrains de sports avec gazon synthétique. Les concentrations de COVt mesurées dans l'air intérieur de deux gymnases avec des granulats SBRr (150 à $715 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et 234 à $390 \mu\text{g}/\text{m}^3$) étaient plus élevées que celles mesurées dans un gymnase avec des granulats ETP (136 à $161 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Ces concentrations de COVt se situeraient dans l'étendue des concentrations mesurées dans l'air intérieur de différents environnements (maisons, bureaux, écoles) qui varie généralement entre 500 à $1\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO, 1997 et Mosqueron et Nedellec, 2001). La présence de concentrations élevées de COVt peut être associée à la perception d'odeurs et à la sensation de manque d'apport d'air frais. La présence importante de certaines substances dans ces COVt peut être associée à des symptômes tels l'irritation des yeux et des voies respiratoires supérieures, la rhinite, la congestion nasale, des éruptions cutanées, des céphalées, des nausées, une sensation de sécheresse, la dyspnée. La Commission of European Communities (CEC) a émis des valeurs-limites concernant les COVt dans l'air intérieur : des concentrations inférieures à $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ constitueraient une zone de confort; certains individus pourraient ressentir de l'inconfort à des concentrations situées entre 200 et $3\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$; des concentrations supérieures à $3\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ seraient associées à de l'inconfort; au-dessus de $25\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, des effets toxiques pourraient être appréhendés (CEC, 1992 cité par Nguyen et coll., 2007).

À la lumière de ces valeurs-limites, les concentrations de COVt mesurées dans l'air intérieur des gymnases norvégiens ne sont pas associées du tout à des niveaux toxiques. Les concentrations de COVt dans l'air intérieur du gymnase avec des granulats ETP demeureraient dans la zone de confort pour l'ensemble de la population tandis que celles des deux autres gymnases avec granulats SBRr pourraient amener de l'inconfort ou la perception d'odeurs chez certaines personnes. Ces résultats sont différents de ceux de l'étude de Moretto, 2007 qui indiquent plutôt que les émissions de COVt émises par les granulats SBRr seraient semblables à celles des granulats ETP.

Dans l'air intérieur, la comparaison entre différentes concentrations de COVt dans l'air doit être faite avec précaution car les méthodes d'échantillonnage et d'analyses peuvent varier et ne pas mesurer exactement les mêmes substances chimiques. De plus, les caractéristiques des bâtiments (volumes et taux de ventilation) peuvent influencer les concentrations de COVt mesurées dans l'air intérieur de façon aussi importante que les émissions des matériaux elles-mêmes.

Composés organiques aromatiques (BTEX et alkylbenzènes)

Les principaux représentants des composés organiques aromatiques sont le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et le xylène (BTEX). Ils s'agit de substances qu'on retrouve partout dans notre environnement en raison de l'utilisation de l'essence, de solvants (peintures et dissolvants) et autres produits semblables.

Les concentrations de BTX et de styrène (un autre aromatique) mesurées dans les granulats SBRr (0,01 à 0,3 mg/kg (IBV, 2007; RAMP, 2007) sont plus faibles que les valeurs-limites pour un usage résidentiel des sols (0,5 à 5 mg/kg) (MDDEP, 1998) (Tableau 9).

Des tests d'émissions dans l'air réalisés en laboratoire en portant des granulats à 70°C pendant 30 minutes ont démontré que les granulats SBRr émettent plus de toluène, d'éthylbenzène, de xylène et d'autres alkylbenzènes (<0,8 à 102 mg/kg de matériaux) que les granulats EPDM (<5 à 9,4 mg/kg de matériaux) (Plessier et Lund, 2004). Ces valeurs ne peuvent cependant pas être utilisées telles quelles pour exprimer l'exposition des joueurs à ces substances.

NILU, 2006 a mesuré des concentrations de BTEX dans l'air intérieur des trois gymnases norvégiens (<1 à 85 µg/m³ pour des gazons synthétiques avec granulats SBRr et ETP) qui sont plus faibles ou semblables aux concentrations normalement mesurées dans des résidences (0,6 à 96 µg/m³) et beaucoup plus faibles que les valeurs-limites québécoises pour l'air extérieur basées sur la protection de la santé humaine (10 à 1 000 µg/m³ selon le MDDEP, 2002).

Les concentrations de BTEX mesurées dans l'air extérieur au-dessus d'un gazon synthétique avec granulats SBRr (<0,01 à 7,9 µg/m³ selon l'IBV, 2007) sont très semblables aux concentrations moyennes annuelles mesurées dans l'air extérieur à Montréal (0,6 à 7,4 µg/m³) et bien moindres que les valeurs-limites québécoises pour l'air extérieur basées sur la protection de la santé humaine (10 à 1 000 µg/m³ selon le MDDEP, 2002). Soulignons que les BTEX ont été prélevés à l'aide de capteurs passifs, mais le détail des méthodes d'échantillonnage et d'analyse n'est pas présenté dans la présentation de l'IBV, 2007.

Aldéhydes, cétones et composés organiques chlorés

Les aldéhydes sont des composés organiques qui sont formés par la combustion incomplète de carburants ainsi que du bois. Il existe peu de données concernant les concentrations d'aldéhydes associées aux matériaux des gazons synthétiques. Seul NILU, 2006 a mesuré des concentrations d'acétaldéhyde et de formaldéhyde dans l'air intérieur des gymnases norvégiens (<1 à 6 µg/m³) qui sont plus faibles que les concentrations mesurées dans l'air intérieur de résidences québécoises (1 à 48 µg/m³ d'acétaldéhyde selon Santé Canada, 1989 et 10 à 90 µg/m³ de formaldéhyde selon Gilbert et coll., 2006), et bien moindres que les valeurs-limites pour l'air intérieur (50 à 9 000 µg/m³ de Santé Canada, 1989) et

celles pour l'air extérieur basées sur la protection de la santé humaine ($37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durant 15 minutes pour le formaldéhyde selon le MDDEP, 2002) (Tableau 10).

RAMP, 2007 a mesuré $1 \text{ mg}/\text{kg}$ d'acétone et $0,3$ à $11 \text{ mg}/\text{kg}$ de MIBK dans les granulats de SBRr. L'OEHHA, 2007 a démontré que les concentrations de cétones (acétone, MEK et MIBK) extraites dans l'eau à partir des pneus usagés ou recyclés étaient relativement élevées ($0,02$ à $1,15 \text{ mg}/\text{kg}$ de pneus). Cependant, dans les gymnases norvégiens, NILU, 2006 a mesuré des concentrations de MIBK de <1 à $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui est beaucoup plus faible que la valeur-limite de $3\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ basée sur la protection de la santé proposée par le U.S.EPA, 2003.

Les composés organiques chlorés ne sont pas très présents dans les matériaux des gazons synthétiques. Ainsi, les concentrations de trichloroéthène et de chloroforme mesurées dans les granulats SBRr varient de $0,008$ à $0,7 \text{ mg}/\text{kg}$ (IBV, 2007; RAMP, 2007), ce qui est moindre que les critères pour un usage résidentiel des sols de $5 \text{ mg}/\text{kg}$ (MDDEP, 1998). Plessner et Lund, 2004 ont démontré que certaines substances comme le cis-1,2-dichloroéthène et le trichlorométhane peuvent être extraites des granulats SBR et EPDM dans l'eau lorsqu'on les chauffe à 70°C pendant 30 minutes, mais NILU, 2006 n'a pas détecté ces substances dans l'air intérieur des trois gymnases ($<1 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

3.1.2.3 Composés organiques semi-volatiles

L'OEHHA, 2007 a également identifié 14 COsV extraits en quantité plus importante dans l'eau à partir des produits de pneus recyclés. Il s'agissait principalement de trois benzothiazoles extraits à plus de $1 \text{ mg}/\text{kg}$ de pneus et des substances suivantes détectées à plus de $0,001 \text{ mg}/\text{kg}$ de pneus : l'aniline, le phénol, le 4-(phénylamino)-phénol, le phénoxazine et le 2(3H)-benzothiazolone.

Phénols

Moretto, 2007 a mesuré les concentrations de phénols dans l'eau qui percolait à travers des gazons synthétiques et elles étaient toutes inférieures à $20 \mu\text{g}/\text{L}$ peu importe le type de granulats (la méthode d'analyse utilisée en laboratoire n'est cependant pas indiquée) (Tableau 11). Cette valeur est plus faible que la valeur-limite de $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ recommandée pour l'indice phénolique afin de protéger les eaux souterraines selon la *Politique des sols* du MDDEP, 1998.

Les alkylphénols sont utilisés comme additifs pour les pneus, à titre d'anti-oxydants. Ils n'ont pas de liaison chimique avec le caoutchouc et peuvent donc s'en défaire. Ce sont des substances persistantes dans l'environnement qui s'accumulent chez les organismes vivants (Swedish Chemicals Inspectorate, 2006). Les nonylphénols, un sous-groupe des alkylphénols, sont présents en faibles concentrations dans l'air ambiant, l'eau, le sol et les sédiments. La nourriture constitue la principale source d'exposition de la population à ces substances (Environnement Canada, 2001). Les concentrations d'alkylphénols mesurées dans les matériaux des gazons synthétiques par Plessner et Lund, 2004 sont généralement faibles ($<0,005$ à $1 \text{ mg}/\text{kg}$) comparativement à la valeur limite de $5,7 \text{ mg}/\text{kg}$ recommandée pour un usage agricole/résidentiel des sols (CCME, 2007), sauf pour les granulats SBRr où les concentrations d'iso-nonylphénol et de 4-t-octylphénol sont plus élevées (9 à $34 \text{ mg}/\text{kg}$). Toutefois les concentrations extraites

dans l'eau en laboratoire par ces auteurs ($<0,02$ à $4 \mu\text{g/L}$)¹⁷ sont plus faibles que les concentrations mesurées dans l'eau potable au Canada ($0,1$ à $10 \mu\text{g/L}$) (Environnement Canada, 2000).

BPC

Plessier et Lund, 2004 est le seul auteur à avoir mesuré les concentrations de biphényles polychlorés (BPC) dans les matériaux des gazons synthétiques (Tableau 11)¹⁸. Les sommes des concentrations des différents BPC¹⁹ mesurées dans les fibres et les granulats sont inférieures aux limites de détection (de $0,05$ et $0,17 \text{ mg/kg}$ selon le congénère de BPC), sauf dans le cas d'un type de granulats SBRr où elle était de $0,4 \text{ mg/kg}$; cette dernière valeur est inférieure à la valeur-limite pour un usage résidentiel des sols (1 mg/kg) (MDDEP, 1998).

De même, les concentrations de BPC extraites dans l'eau en laboratoire étaient toutes inférieures aux limites de détection de $0,01 \mu\text{g/L}$ de la méthode d'analyse ainsi qu'à la valeur-limite pour les eaux souterraines selon la *Politique des sols* du MDDEP, 1998 ($0,5$ et $0,012 \mu\text{g/L}$, respectivement).

Composés organiques à base d'azote et de soufre

Lors de la fabrication des pneus, des composés organiques à base d'azote et de soufre sont ajoutés pour la vulcanisation. À partir de sa revue des études portant sur la réutilisation des pneus recyclés, l'OEHHA, 2007 a identifié quatre substances à base d'azote et de soufre qui peuvent être extraites des pneus à des concentrations plus importantes. Il s'agit des benzothiazoles (2 à 100 mg/kg de pneus) et de l'aniline ($0,7 \text{ mg/kg}$ de pneus). L'EHHI, 2007 a également identifié en laboratoire du benzothiazole ($900 \mu\text{g/mL}$ air/kg de pneus) et du BHA²⁰ ($53 \mu\text{g/mL}$ air/kg de pneus) (Tableau 11). On ne peut cependant pas considérer ces valeurs pour estimer l'exposition des joueurs.

Van Bruggen et coll., 2007 ont mesuré les nitrosamines (utilisés pour inhiber la vulcanisation durant la production des pneus et la décomposition du produit fini) dans les granulats SBRr, extraites dans l'eau en laboratoire et dans l'air au-dessus des plusieurs terrains extérieurs en gazon synthétique. Ils ont mesuré des concentrations de $<0,0002$ à $0,004 \text{ mg/kg}$ dans l'eau, ce qui est plus faible que la norme hollandaise de ces substances dans les produits de consommation comme les ballons, et n'ont pas détecté de nitrosamines ni dans les matériaux ni dans l'air extérieur.

NILU, 2006 a mesuré les benzothiazoles dans l'air intérieur des trois gymnases norvégiens. Les concentrations de benzothiazole gazeux étaient plus élevées dans les gymnases avec des granulats SBRr (4 à $32 \mu\text{g/m}^3$) que dans le gymnase avec des granulats ETP (3 à $4 \mu\text{g/m}^3$). Les concentrations des composés de benzothiazoles ainsi que celles des composés de la vulcanisation adsorbés aux PM_{10} étaient très faibles (moins de $0,0006 \mu\text{g/m}^3$). Nous n'avons pas trouvé de valeurs-limites pour ces substances

¹⁷ Les concentrations d'alkylphénols extraites dans l'eau présentées en $\mu\text{g/L}$ dans le document de Plessier et Lund, 2004 devraient plutôt être en ng/L selon Kopangen, 2005.

¹⁸ Les BPC ne sont pas un composant du caoutchouc et n'ont jamais été identifiés dans les autres études scientifiques portant sur les matériaux des gazons synthétiques (TRC, 2008).

¹⁹ Les molécules de BPC mesurées étaient les BPC(7), BPC28, BPC52, BPC101, **BPC118**, **BPC138**, **BPC153** et **BPC180** (les molécules en gras font partie des huit molécules de BPC sur 209 molécules possibles qui sont présentes dans les tissus de tous les êtres humains en raison de leur grande persistance) (Carrier, 1991).

²⁰ Le BHA, hydroxyanisole butylé, serait l'antioxydant le plus utilisé dans l'industrie alimentaire (Wikipédia, 2008).

dans la littérature. Cependant, le potentiel allergisant du benzothiazole a été évalué par le NIPHRH, 2006 dans son analyse de risques toxicologiques (voir section 3.2)²¹.

Phtalates

Les phtalates font partie d'une famille de produits chimiques utilisés en industrie et présentes dans de nombreux produits de consommation courante (cosmétiques, adhésifs, produits flexibles en PVC, etc). La proportion de phtalates peut atteindre 50% dans certains produits comme les sacs de plastiques, les emballages alimentaires, les rideaux de douche, etc (Gouvernement du Canada, 2000).

Les phtalates ne sont cependant pas très présents dans les matériaux de gazons synthétiques. Ainsi, Plessier et Lund, 2004 ont mesuré des concentrations dans les matériaux de gazons synthétiques (<1 à 78 mg/kg) qui sont inférieures à la valeur-limite permise dans les hochets et autres objets portés à la bouche par les très jeunes enfants par Santé Canada, 2006 ($1\,000 \text{ mg/kg}$) (Tableau 12). De même, les concentrations de phtalates extraites dans l'eau en laboratoire à partir de ces matériaux par ces mêmes auteurs ($<0,1$ à $8,3 \text{ } \mu\text{g/L}$) ne sont pas plus élevées que les concentrations mesurées dans l'eau potable au Canada (<1 à $8 \text{ } \mu\text{g/L}$) (Gouvernement du Canada, 1994b; Gouvernement du Canada, 1994a; Gouvernement du Canada, 2000) et bien inférieures aux concentrations permises pour les eaux de surface ($1,8$ à $313\,000 \text{ } \mu\text{g/L}$ selon le MDDEP, 2008).

Bien que les concentrations de phtalates mesurées dans l'air intérieur des trois gymnases norvégiens ($<0,005$ à $0,5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ pour la phase gazeuse et la phase particulaire selon NILU, 2006) soient plus élevées que les concentrations mesurées dans l'air extérieur ($<0,005$ à $0,007 \text{ } \mu\text{g/m}^3$), elles demeurent du même ordre que celles mesurées dans l'air intérieur de résidences montréalaises et californiennes ($0,14$ à $3,1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) (Gouvernement du Canada, 1994a, Gouvernement du Canada, 2000 et Gouvernement du Canada, 1994b).

3.1.2.4 Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Les HAP sont des substances peu volatiles et peu solubles dans l'eau, à l'exception du naphthalène et des méthyl-naphthalènes. On retrouve des HAP un peu partout dans notre environnement puisque ces substances sont produites lors de la combustion incomplète du charbon, du pétrole et de toutes autres matières organiques. De faibles concentrations sont donc présentes dans l'air et dans l'alimentation, en particulier dans les viandes et les poissons cuits ou fumés.

Au niveau toxicologique, on distingue deux classes de HAP : les HAP qui ont démontré un potentiel d'effets cancérigènes chez l'animal et les autres HAP. Parmi les HAP cancérigènes, le benzo(a)pyrène (BaP) est souvent utilisé comme HAP de référence puisqu'il possède le potentiel cancérigène le plus élevé des HAP. Les concentrations de HAP peuvent être évaluées individuellement ou en considérant la somme des 16 HAP retenus par le U.S.EPA comme polluants prioritaires ou encore en considérant la somme de l'ensemble des HAP mesurés.

²¹ Le NIPHRH, 2006 ont considéré que le benzothiazole pouvait causer des réactions allergiques. Ils ont fait 5 scénarios d'exposition par inhalation chez les enfants, les jeunes et les adultes en contact avec cette substance lors de leur entraînement et des matches. Ils ont utilisé un NOAEL tiré d'une étude d'exposition intraveineuse chez la souris comme VTR. Les facteurs de sécurité entre l'exposition des joueurs et la VTR varient de 8 600 à 30 000.

Dans les matériaux de gazons synthétiques, les concentrations de HAP dans les fibres et dans les granulats EPDM ($<0,05$ à $7,9$ mg/kg) sont faibles par rapport aux valeurs-limites pour un usage résidentiel des sols du MDDEP, 1998 (1 à 10 mg/kg pour chacun des HAP) (Tableau 13). Toutefois, les concentrations de certains HAP mesurées dans les granulats SBRr sont plus élevées que ces valeurs-limites, alors que la somme des concentrations des 16 HAP mesurées dans ces matériaux (20 à 76 mg/kg) n'est pas supérieure à la somme des valeurs-limites pour un usage résidentiel des sols pour ces 16 HAP (78 mg/kg).

La présence un peu plus importante des HAP dans les granulats de SBRr serait attribuable à l'ajout d'huiles aromatiques lors de la fabrication des pneus afin d'améliorer certaines performances, ce qui n'est pas le cas pour la fabrication de l'EPDM (Willoughby, 2006; Office fédéral de la santé publique de la Confédération suisse, 2006; OEHA, 2007). L'Union européenne a décidé en 2005 d'introduire des limites pour les concentrations de HAP dans les nouveaux pneus fabriqués et cette nouvelle législation sera en application en 2010 (Keml, 2006). Les granulats fabriqués à partir de caoutchouc neuf, rarement utilisés pour les gazons synthétiques, contiennent environ 50 fois moins de HAP (Office fédéral de la santé publique de la Confédération suisse, 2006).

Les HAP présents dans les granulats SBRr ne sont cependant pas facilement extraits dans l'eau. Ainsi, les concentrations de HAP relâchées dans l'eau en laboratoire selon Plessner et Lund, 2004 sont inférieures à la valeur-limite de $2 \mu\text{g/L}$ recommandée par la norme OISS, 2005 spécifiquement pour les matériaux des gazons synthétiques (Hametner et Muller, 2006).

La somme des concentrations de tous les HAP est plus élevée dans l'air intérieur des deux gymnases avec des granulats SBRr (ΣHAP : 184 et 369 ng/m^3) que dans le gymnase avec des granulats ETP (ΣHAP : 125 ng/m^3) (NILU, 2006). Le naphthalène et les méthyl-naphthalènes représentent 33 à 43% de la somme des concentrations de tous les HAP, en raison de leur présence plus importante dans les matériaux et de leur volatilité beaucoup plus élevée que celle des autres HAP.

Les sommes des concentrations de tous les HAP mesurées dans les deux gymnases avec granulats SBRr (ΣHAP : 184 et 369 ng/m^3) sont plus élevées que la médiane des ΣHAP mesurées durant 24 heures dans l'air de Montréal (ΣHAP : 103 ng/m^3), et l'une d'elle (ΣHAP : 396 ng/m^3) est semblable à la concentration maximale mesurée à Montréal lorsque la qualité de l'air est moins bonne (ΣHAP : 394 ng/m^3) (Germain, 1997). Les concentrations de certains HAP mesurées individuellement dans les gymnases avec granulats SBRr, tels l'acénaphthène, l'acénaphthylène, le fluorène, le naphthalène et les méthyl-naphthalènes, se comportent également de la même façon que les ΣHAP en comparaison avec les concentrations médianes et maximales mesurées dans l'air extérieur de Montréal. Il faut cependant considérer que d'autres facteurs ont pu influencer les concentrations mesurées, comme le volume du gymnase, le taux de ventilation des gymnases, etc.

Les concentrations de HAP mesurées dans l'air extérieur sur un terrain de sports avec gazon synthétique et granulats SBRr ($\Sigma 16\text{HAP}$ variant de $2,6$ à 16 ng/m^3 selon l'IBV, 2007) sont semblables aux concentrations moyennes mesurées dans l'air ambiant de Montréal (19 à 25 ng/m^3) (Ville de Montréal, 2006). Des mesures de HAP ont également été faites dans l'air extérieur au-dessus de deux terrains de football de New York (J.C.Broderick & Associates, 2007a et J.C.Broderick & Associates, 2007b). Cependant, bien que toutes les concentrations des 16 HAP mesurées au-dessus des terrains de sports et loin de ces terrains soient inférieures à la limite de détection de 600 ng/m^3 , cette valeur est trop élevée

pour être comparée aux concentrations normalement mesurées dans l'air extérieur (de l'ordre de quelques ng/m³).

Tableau 9. Mesures des concentrations de composés organiques (totaux, aliphatiques et aromatiques) associés aux gazons synthétiques

CONCENTRATION DANS LES MATÉRIAUX (mg/kg)	DOC	HT	COVt	hexa décane	benzène	toluène	éthyl benzène	xylène	styrène	autres alkylbenzènes	Auteurs
Granulats SBRr (70%cam/30%auto)					0,01	0,06		0,04	0,02		IBV, 2007
Granulats SBRr						0,02	0,3	0,1			RAMP, 2007
Valeur-limite usage résidentiel des sols					0,5	3	5	5	5		MDDEP, 1998
Valeur-limite usage commercial/industriel des sols					5	30	50	50	50		MDDEP, 1998
ÉMISSION DANS L'EAU (mg/kg de matériau)											
Fragments de pneus recyclés (valeur maximale)					0,2	0,28					OEHA, 2007
ÉMISSION DANS L'EAU (mg/L)											
Granulats SBRr	34 à 56										Plesser et Lund, 2004
Granulats SBRr	12										IBV, 2007
Granulats EPDM	170										Plesser et Lund, 2004
CONCENTRATION DANS L'EAU (mg/L)											
Granulats SBRr		<0,05									Moretto, 2007
Granulats EPDM		<0,05									Moretto, 2007
Granulats ETP		<0,05									Moretto, 2007
Sans granulats		<0,05									Moretto, 2007
Normes pour les gazons synthétiques	15 à 40										Section 2.1.3
Valeur-limite pour l'eau souterraine (Politique)		3,5									MDDEP, 1998
ÉMISSION DANS L'AIR (µg/kg matériau)											
Granulats SBR						28 à 80	7,8 à 18	45 à 72		<0,8 à 102 ¹	Plesser et Lund, 2004
Granulats EPDM						9	<5	<5		<5 à 9,4 ²	Plesser et Lund, 2004
ÉMISSION DANS L'AIR (µg/mL d'air/kg)											
Granulats SBRr				6							EHHI, 2007
ÉMISSION DANS L'AIR (µg/m³ éprouvette)											
Gazon synthétique avec granulats SBRr			134								Moretto, 2007
Gazon synthétique avec granulats EPDMn			490								Moretto, 2007
Gazon synthétique avec granulats ETP			118								Moretto, 2007
Gazon synthétique sans granulats			8,3								Moretto, 2007
CONCENTRATION DANS L'AIR INTÉRIEUR (µg/m³)											
Gazon avec granulats SBRr (installés depuis 1 an et faible ventilation)			150 à 715		2	30 à 85	4 à 7	<4		tableau 16	NILU, 2006
Gazon avec granulats SBRr (récemment installés)			234 à 390		2,4	15	3	<2		tableau 16	NILU, 2006
Gazon avec granulats ETP			136 à 161			17 à 19	2	<1		tableau 16	NILU, 2006
Concentrations dans des résidences					0,6 à 32	1,2 à 96		0,7 à 37			Hocomb et Seabrook, 1995
Concentrations dans des maisons, bureaux, écoles			500 à 1 000								WHO, 1997
Norme C.E.C. pour les milieux non occupationnels			3								C.E.C. cité par Nguyen et coll., 2007
CONCENTRATIONS DANS L'AIR EXTÉRIEUR (µg/m³)											
Granulats SBRr (70%cam/30%auto)					<0,01 à 0,4	0,7 à 3,1	0,9 à 2,2	5,6 à 7,9			IBV, 2007
Concentration moyenne dans l'air extérieur (24h)			~ 100		0,9 à 3,6	3 à 7,4	0,6 à 2,6	2,4 à 5,7			Ville de Montréal, 2006
Valeur-limite pour l'air extérieur					10 (24h)	400 (1an)	200 (1an)	1000 (1an)			MDDEP, 2002

¹ propylbenzène: <0,8 à 15 µg/kg; isopropylbenzène: <5 à 12 mg/kg; n-butylbenzène: 21 à 31 mg/kg; 1,2,4-triméthylbenzène: 83 à 102 mg/kg; 1,3,5-triméthylbenzène: 18 à 23 mg/kg et p-isopropyltoluène: 8,6 à 23 mg/kg

² propylbenzène: 5 mg/kg; isopropylbenzène: <5 mg/kg; nbutylbenzène: <5; 1,2,4-triméthylbenzène: 9,4 mg/kg; 1,3,5-triméthylbenzène: <5 mg/kg; p-isopropyltoluène: <5 mg/kg

³ Zone de confort: <200 µg/m³; zone d'inconfort possible: 200 à 3000 µg/m³; zone d'inconfort: 3000 à 25000 µg/m³; zone toxique: >25000 µg/m³

Tableau 10. Mesures des concentrations de composés organiques volatiles associés aux gazons synthétiques

CONCENTRATION DANS LES MATÉRIAUX (mg/kg)	acétaldéhyde	formaldéhyde	acétone	MEK	MIBK	trichloro- méthane	cis 1,2- dichloroéthène	trichloro- éthène	Chloro- forme	Auteurs
Granulats SBRr			1		0,3 à 11			0,03	0,7	RAMP, 2007
Granulats SBRr (70%cam/30%auto)								0,008		IBV, 2007
Valeur-limite usage résidentiel des sols								5	5	MDDEP, 1998
Valeur-limite usage commercial/industriel des sols								50	50	MDDEP, 1998
ÉMISSION DANS L'EAU (mg/kg de matériau)										
Fragments de pneus recyclés (valeur maximale)			0,1	0,02	1,15					OEHA, 2007
ÉMISSION DANS L'AIR (µg/kg matériau)										
Granulats SBR						<5 à 8	<5 à 32			Plessier et Lund, 2004
Granulats EPDM							10			Plessier et Lund, 2004
CONCENTRATION DANS L'AIR INTÉRIEUR (µg/m³)										
Gazon avec granulats SBRr (installés depuis 1 an et faible ventilation)	<1 à 4	<1 à 5			2 à 13	<1	<1	<1		NILU, 2006
Gazon avec granulats SBRr (récemment installés)	3	6			11 à 13	<1	<1	<1		NILU, 2006
Gazon avec granulats ETP	3	5			<1	<1	<1	<1		NILU, 2006
Concentration mesurée dans des maisons au Canada	1 à 48	10 à 90								Gilbert et coll., 2006
Valeur-limite pour l'air intérieur	9 000	50 (8hres) 123 (1hre)								Santé Canada, 1989
Concentration 24h maximale dans l'air extérieur (Montréal, 1995-99)		12								MDDEP, 2002
Concentration annuelle moyenne dans l'air extérieur (Montréal, 2006)	2	3								Ville de Montréal 2006
Valeur-limite pour l'air extérieur		37 (15 min)								MDDEP, 2002
Valeur-limite selon le U.S.EPA (RfC)					3 000					U.S.EPA, 2003

Tableau 11. Mesures des concentrations de composés organiques semi-volatiles associés aux gazons synthétiques

CONCENTRATION DANS LES MATÉRIAUX (mg/kg)	phénols	Σ NP	4-n-NP	isoNP	4-t-OP	Σ congénères BPC ¹	aniline	Nitrosamines	BHA	benzo-thiazole	2-hydroxy-benzothiazole	2-(4-morpholinyl)-benzothiazole	Σ composés de vulcanisation ¹	Auteurs
Fibres PE			<0,005	<0,05	<0,005	<0,175								Plessier et Lund, 2004
Fibres PE/PP			<0,005	0,2	0,04	<0,175								Plessier et Lund, 2004
Granulats SBRr (n=3)			<0,005	9 à 22	20 à 34	n.d. à 0,404								Plessier et Lund, 2004
Granulats SBRr (n=6)								n.d. *						van Bruggen et coll., 2007
Granulats EPDM			<0,005	1	<0,05	<0,175								Plessier et Lund, 2004
Valeur-limite usage résidentiel des sols						1								MDDEP, 1998
Valeur-limite usage commercial/industriel des sols						10								MDDEP, 1998
Valeur-limite usage agricole/résidentiel des sols		5,7												CCME, 2007a
Valeur-limite usage commercial/industriel des sols		14												CCME, 2007a
ÉMISSION DANS L'EAU (mg/kg de matériau)														
Fragments de pneus recyclés (valeur maximale)							0,7			100	36	2		OEHA, 2007
Granulats SBRr (n=6)								<0,0002 à 0,004 ³						van Bruggen et coll., 2007
Produits de consommation (ballons de caoutchouc)								0,01						van Bruggen et coll., 2007
ÉMISSION DANS L'EAU (µg/L)														
Granulats SBRr			<0,02 à 0,04	0,6 à 1	3 à 4	<0,01								Plessier et Lund, 2004
Granulats EPDM						<0,01								Plessier et Lund, 2004
CONCENTRATION DANS L'EAU (µg/L)														
Gazon avec granulats SBRr, EPDM, ETP et sans granulats	<20													Moretto, 2007
Concentration mesurée dans l'eau potable		0,1 à 10												Gouvernement du Canada, 1994ab et 2000
Valeur-limite pour l'eau souterraine (eau de consommation)						0,5								MDDEP, 1998
Valeur-limite pour l'eau souterraine (résurgence)	500					0,012								MDDEP, 1998
Limite protection vie aquatique		1												CCME, 2007b
ÉMISSION DANS L'AIR (µg/mL d'air/kg)														
Granulats SBRr					0,02				53	900				EHHL, 2007
CONCENTRATION DANS L'AIR INTÉRIEUR (µg/m³)														
Gazon avec granulats SBRr (installés 1 an et faible ventilation)										4 à 21 ²	0,0003 ³	0,00005 ³	0,0002 ³	NILU, 2006
Gazon avec granulats SBRr (récemment installés)										29 à 32 ²	0,0006 ³	0,00004 ³	0,0002 ³	NILU, 2006
Gazon avec granulats ETP										3 à 4 ²	<0,00003 ³	<0,0002 ³	<0,000005 ³	NILU, 2006
CONCENTRATION DANS L'AIR EXTÉRIEUR (µg/m³)														
Gazons avec granulats SBRr (n=5)								n.d. ^{6 **}						van Bruggen et coll., 2007

¹ Les BPC suivants sont généralement présents dans les tissus humains en raison de leur persistance: BPC118, BPC138, BPC153 et BPC180 (n.d.: <0,05 et <0,17 selon les congénères)

² Benzothiazole en phase gazeuse

³ Substances adsorbées aux PM₁₀

⁴ Ces composés comprennent: 2-aminobenzothiazole, 2-méthylthiobenzothiazole, N-isopropyl-N-phényl-p-phénylendiamine, N-cyclohexyl-2-benzothiazole sulphenamide, 2-(4-morpholinyl)benzothiazole,

⁵ Nitrosamines mesurées: NDMA (N-nitrosodiméthylamine), NDEA (N-nitrosodiéthylamine) et NMOR (N-nitrosomorpholine)

⁶ Nitrosamines mesurées: NDMA (N-nitrosodiméthylamine), NMEA (N-nitrosométhyléthylamine), NDEA (N-nitrosodiéthylamine), NDPA (N-nitrosodipropylamine), NMOR (N-nitrosomorpholine), NPyR (N-nitrosopyrrolidine), NpiP (N-nitrosopiperidine) et NDPA (N-nitrosodibu

* Limite de détection non présentée

** Limite de détection variait de 0,008 à 0,02 µg/m³

Tableau 12. Mesures des concentrations de composés organiques semi-volatiles associés aux gazons synthétiques : phtalates

CONCENTRATION DANS LES MATÉRIAUX (mg/kg)	Σphtalates¹	BBP²	DBP³	DIBP³	DEHP²	DMP²	DEP⁴	DIDP²	DINP²	DOP²	Auteurs
Fibres PE		<1	<1		1,7	<1	<1	<1	<1	<1	Plesser et Lund, 2004
Fibres PE/PP		<1	1		8	1,2	<1	<1	5,5	<1	Plesser et Lund, 2004
Granulats SBRr (n=3)		1,3 à 2,8	2,6 à 3,9		21 à 29	<1	<1	<1	57 à 78	<1	Plesser et Lund, 2004
Granulats EPDM		<1	1,6		3,9	3,4	1,5			3,2	Plesser et Lund, 2004
Hochet et autres jouets					1 000				1 000		Santé Canada, 2006
Valeur-limite usage résidentiel des sols		60	70 000		60	60	60	60	60	60	MDDEP, 1998
Valeur-limite usage commercial/industriel des sols		60	70 000		60	280	280	60	60	280	MDDEP, 1998
ÉMISSION DANS L'EAU (µg/L)											
Granulats SBRr		<0,1 à 0,3	2,1 à 3,3		5,1 à 5,6	0,6 à 1,6	6,6 à 8,3	<1 à 1	2,2 à 2,7	2,9 à 4,4	Plesser et Lund, 2004
Concentration mesurée dans l'eau potable		<1 à 2,8	<1 à 7,2		<1 à 8						Gouvernement du Canada, 1994a et b et 2000, MDDEP
Valeur-limite pour l'eau souterraine (résurgence)			1 900								MDDEP, 1998
Valeur-limite pour l'eau de surface		3 000	2 700		1,8	313 000	23 000				MDDEP, 2008
CONCENTRATION DANS L'AIR INTÉRIEUR (µg/m³)											
Gazon avec granulats SBRr (installés depuis 1 an et faible ventilation)	0,5	0,005	0,4	0,1	0,03	0,04	0,02			<0,005	NILU, 2006
Gazon avec granulats SBRr (récemment installés)	0,1	0,004	0,1	0,02	0,02	0,05	0,01			<0,005	NILU, 2006
Gazon avec granulats TP	0,2	0,004	0,2	0,05	0,02	0,02	0,03			<0,005	NILU, 2006
Concentration dans l'air extérieur - région des Grands Lacs			<0,005		<0,005						Gouvernement du Canada, 1994a et b
Concentration dans l'air extérieur - Californie (90 ^e centile)		0,007									Gouvernement du Canada, 2000
Concentration dans l'air intérieur de 9 maisons montréalaises			2,85		3,1						Gouvernement du Canada, 1994a et b
Concentration dans l'air intérieur de maisons californiennes (90 ^e centile)		0,14									Gouvernement du Canada, 2000

¹ Somme des phtalates mesurés dans la phase gazeuse et adsorbés aux PM₁₀

² Phtalates adsorbés aux PM₁₀

³ Phtalates en phase gazeuse

⁴ Phtalates adsorbés aux PM₁₀ et en phase gazeuse

Tableau 13. Mesure des concentrations de hydrocarbures aromatiques polycycliques associés aux gazons synthétiques

CONCENTRATION DANS LES MATÉRIAUX (mg/kg)	Σ HAP	Σ 16HAP	BaA	BaP	BbF	BkF	BghiP	CHRY	DBahA	IND	ACE	ACEL	ANT	FLUO	FL	NA	PHE	PYR	Auteurs
Fibres PE		<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	Plessier et Lund, 2004
Fibres PE/PP		<2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	Plessier et Lund, 2004
Granulats SBRr		51 à 76	1,4 à 1,9	2,4 à 3,1	2,2 à 3,9	0,4 à 1,5	3,4 à 5,8	2,2 à 4,2	<0,2 à 0,4	0,8 à 1,4	<0,2 à 0,3	0,6 à 1	0,6 à 0,8	7,8 à 11	0,4 à 0,7	0,3 à 0,7	4,8 à 5,9	23 à 37	Plessier et Lund, 2004
Granulats SBRr		62		3															Keml, 2006
Granulats SBRr		20 à 40																	Hofstra, 2007
Granulats SBRr			1,26	3,6 à 8,6	0,2 à 3,4	1,8 à 7,3		1,3 à 7,6	0,3 à 3,5										Crain et Zhang, 2006 et 2007
Granulats SBRr														7,4				14 à 20	Mondo, 2008
Granulats 50%SBR / 50%EPDM		20		1,4															Keml, 2006
Granulats SBRr (70%cam/30%auto)	192																		IBV, 2007
Granulats EPDM		1	<0,8	0,12	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	0,12	<0,8	0,19	0,43	0,16	Plessier et Lund, 2004
Granulats EPDM (n=5)		0,14 à 3,8		<0,1															
Granulats EPDM																		7,9	Mondo, 2008
Concentration mesurée dans l'asphalte routier		50 - 122		<6															ATSDR, 1995
Valeur-limite pour un usage résidentiel des sols		78	1	1	1	1	1	1	1	1	10	10	10	10	10	5	5	10	MDDEP, 1998
Valeur-limite pour un usage comm/industriel des sols		780	10	10	10	10	10	10	10	10	100	100	100	100	100	50	50	100	MDDEP, 1998
ÉMISSION DANS L'EAU (mg/kg de matériaux)																			
Fragments de pneus recyclés (valeur maximale)																1,1 ¹			OEHA, 2007
ÉMISSION DANS L'EAU (µg/L)																			
Granulats SBRr		0,44 à 0,87	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02 à 0,03	<0,01 à 0,3	0,03	0,06	0,04	<0,01 à 0,2	0,2	0,1	Plessier et Lund, 2004
Granulats SBRr (n=2)		<4,4 à <12		<0,01															LUT, 2004 cité par RIVM, 2006
Norme OISS		2																	Hametner et Muller, 2006
Valeur-limite pour l'eau de consommation				0,01															MDDEP, 1998
Valeur-limite pour l'eau souterraine			4,9	4,9	4,9	4,9		4,9	4,9	4,9	67		11000000	2,3	1400000	340	30	1100000	MDDEP, 1998
Laits et produits laitiers au Québec			0,17	0,04	0,04	0,03	0,06	0,29	0,04	0,04	0,6		0,04	0,3	0,43	0,94	0,82	1	Fouchécourt et coll., 2005
CONCENTRATION DANS L'AIR INTÉRIEUR (ng/m ³) ⁵																			
Gazon avec granulats 50%SBR/50%EPDM				0,2 - 0,7															IVL, 2004 cité par Keml, 2006
Gazon avec granulats SBRr (depuis 1 an et faible ventilation)	184	106	0,7	1,2	2		1		0,1	1	6	32	2	3	10	21 ²	20	4	NILU, 2006
Gazon avec granulats SBRr (installé récemment)	369	205	0,4	0,6	1		0,8		0,1	0,7	14	78	1	3	19	56 ³	25	4	NILU, 2006
Gazon avec granulats ETP	125	53	0,2	0,4	0,8		0,7		0,1	0,4	5	6	1	2	8	11 ⁴	14	3	NILU, 2006
Gazons avec granulats SBRr, EPDM, ETP ou aucun granulat	100																		Moretto, 2006
CONCENTRATION DANS L'AIR EXTÉRIEUR (ng/m ³)																			
Gazons avec granulats SBRr (70% camion/30% automobile)		2,6 à 16																	IBV, 2007
Gazons avec granulats SBRr (70% camion/30% automobile)			<600	<600	<600	<600	<600	<600	<600	<600	<600	<600	<600	<600	<600	<600	<600	<600	J.C. Broderick & Associates, 2007
Concentration 24 hres Montréal, 1989-1990	103	97	1	1	4	2	3	3	0,4	1	2	12	6	10	12	0,2	32	8	
médiane (maximum)	(394)	(366)	(8)	(8)	(19)	(6)	(14)	(14)	(3)	(42)	(12)	(100)	(19)	(28)	(46)	(58)	(120)	(28)	Germain, 1997
Concentration annuelle Montréal, 2006																			
moyenne (maximum)	23 à 30	19 à 25	0,3 (2)	0,2 (2)	1 (5)	0,3 (1)	0,5 (2)	1 (3)		0,1 (0,2)	1,5 (4)	2 (16)	0,7 (3)	3 (8)	3 (8)	0,2 (0,6)	11 (23)	2 (7)	Ville de Montréal, 2006

¹ 2-méthylnaphtalène: 0,5 mg/kg matériau

² méthylnaphtalènes: 38 ng/m³

³ méthylnaphtalènes: 100 ng/m³

⁴ méthylnaphtalènes: 41 ng/m³

⁵ Les concentrations représentent la somme des HAP mesurés dans la phase gazeuse et dans la phase particulaire

3.1.3 Présence de caoutchouc associé aux granulats SBRr

Plusieurs chercheurs se sont intéressés à la présence d'allergènes dans les granulats SBRr. En effet, on y retrouve du latex et d'autres composés allergènes provenant d'additifs utilisés lors de la fabrication des pneus (thiurames, mercaptobenzothiazoles, thiourées, dérivés de la para-phénylenediaminePPD)²² (Dermaptène.com, 2008). Les impacts de la présence du caoutchouc dans les granulats SBRr sur les allergies ne fait pas l'unanimité chez les chercheurs.

Certains considèrent que la présence de latex, de caoutchouc et autres substances reliées dans les granulats SBRr a un fort potentiel de causer des dermatites allergiques de contact chez 6 à 12% de la population qui est déjà allergique au caoutchouc et que le risque est probablement plus élevé pour les enfants que les adultes en raison de leur participation plus importante à des activités extérieures (ledoux, 2007). Son analyse n'est cependant pas basée sur des données concrètes mais uniquement en raison de la présence de latex dans le caoutchouc et le pourcentage de la population qui est allergique au latex (TRC, 2008).

D'autres estiment que la vulcanisation devrait avoir détruit les allergènes du latex (Anderson et coll., 2006). Des tests de sensibilisation aux granulats SBRr et EPDM ont été réalisés chez l'animal selon un protocole standard reconnu par le U.S.EPA, 1998 afin d'identifier les sensibilisants de contact. Aucune sensibilisation n'a été observée chez l'animal, ce qui a amené les auteurs à conclure que les granulats SBRr et EPDM ne devraient pas causer de sensibilisation de la peau chez l'enfant ni de réactions cutanées chez les enfants déjà sensibilisés au latex (OEHHA, 2007). Hofstra, 2007 est d'avis qu'il est peu probable que les substances contenues dans le caoutchouc des granulats SBRr, spécialement les amines aromatiques, causent de l'irritation cutanée aux personnes non sensibilisées mais qu'on ne peut exclure que des personnes puissent devenir sensibilisées à cause de l'exposition à ces granulats. Soulignons que le caoutchouc est un matériau utilisé dans une foule d'objets usuels comme certains ballons de sports, des semelles de chaussures, des gants, des tapis, etc.

NILU, 2006 a également identifié la présence de caoutchouc dans les poussières de l'air intérieur des trois gymnases norvégiens. Il a ainsi constaté que de 32 à 40% des particules de moins de 10 µm de diamètre (PM₁₀)²³ mesurées dans l'air des gymnases avec granulats SBRr était constitué de caoutchouc comparativement à seulement 3 à 5% des PM₁₀ pour le gymnase avec granulats ETP. La proportion de caoutchouc des PM₁₀ des gymnases avec SBRr est également plus élevée que celle normalement mesurée dans l'air extérieur en milieu urbain où la présence de caoutchouc est attribuable à l'usure des pneus des véhicules routiers (1 à 2% en moyenne et jusqu'à 7,5% près des grandes routes) (Hüglin, 2000 cité par NILU, 2006). Kim et coll., 1990, Miguel et coll., 1996 et Schauer et coll., 2002 cités par OEHHA, 2007 ont quant à eux rapporté des concentrations de 1 à 7 µg/m³ de particules dérivés des pneus dans l'air ambiant des villes. Cependant, aucune augmentation des allergies au latex n'a été observée chez la population qui habite près des grandes routes, ce qui devrait être considéré comme un facteur rassurant (NIPHRH, 2006). Comme il n'y a toutefois aucune donnée sur la

²² Chez les personnes sensibilisées, les manifestations allergiques reliées au latex sont essentiellement de type immédiat (urticaire, rhinoconjonctivite, crise d'asthme, voire choc anaphylactique) tandis les composés de la vulcanisation produisent plutôt de l'irritation et de l'hypersensibilité retardée, qu'on appelle des dermatites de contact (Willoughby, 2006).

²³ Les PM₁₀ regroupent les particules dont le diamètre est inférieur à 10 µm, c'est-à-dire celles qui sont capables de pénétrer dans les poumons.

présence ou l'absence d'allergènes du latex dans la poussière, ces auteurs ne peuvent éliminer la possibilité de développer une allergie au latex ou que les personnes déjà sensibilisées puissent présenter des symptômes d'allergie. Williams et coll., 1995 cité par Anderson et coll., 2006 ont suggéré que les poussières de caoutchouc pourraient contribuer aux maladies pulmonaires reliées à la pollution de l'air.

Aucune mesure n'a été effectuée dans l'air l'extérieur au-dessus des terrains de sports, mais on peut supposer que la proportion de caoutchouc y est beaucoup moins élevée que celle dans l'air intérieur compte tenu de la dilution dans l'air ambiant.

Tableau 14. Proportion de caoutchouc dans l'air intérieur de gymnases avec des gazons synthétiques

Type de granulats	Particules dérivées des pneus ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀		Auteurs
		Poussières ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Proportion de caoutchouc	
Granulats SBR		32 - 40	23 - 28 %	NILU, 2006
Granulats ETP		31	3%	NILU, 2006
Écoles, garderies, résidences - concentrations moyennes - concentrations maximales		21 84		NILU, 2006
Concentrations 24h moyennes		12 à 22		Ville de Montréal, 2006
Concentrations 24h maximales		40 à 75		Ville de Montréal, 2006
Concentration dans l'air extérieur	1 à 7			Auteurs cités par OEHHA, 2007
Proportion dans l'air extérieur			1 à 2 %	Auteurs cités par NILU, 2006
Proportion près grandes routes			7,5%	Huglin, 2000 cité par NILU, 2006

3.2 Analyses de risques toxicologiques

Nous avons recensé 7 analyses de risques toxicologiques associées aux matériaux des gazons synthétiques (la première porte sur les pneus utilisés comme tels dans les parcs et les tuiles installées sous les modules de jeux alors que les autres concernent les gazons synthétiques) (l'annexe 2 fournit plus de détails sur ces études).

Nilsson et coll., 2005 n'ont considéré que l'exposition des joueurs aux substances semi-volatiles via le contact de la sueur avec des pneus usagés et recyclés utilisés comme jeux dans des parcs (pneus à enjamber, balançoires, tuiles au sol sous les modules de jeux). Ils ont évalué *in vitro* le relâchement des substances chimiques de morceaux de pneus dans une eau qui ressemble à la sueur. Ils ont détecté des concentrations mesurables de fluoranthène, de pyrène et de deux amines aromatiques (6PPD et IPPD) alors que les autres HAP et amines aromatiques n'étaient pas détectés. Ils ont ensuite utilisé ces données afin d'évaluer l'exposition d'un enfant par contact cutané (200 cm² sur les bras, mains, jambes et pieds) durant une année à raison d'une heure par jour et 5 jours par semaine. Cette exposition a ensuite été comparée aux plus faibles *no observed adverse effect levels* (NOAELs)²⁴. Les auteurs concluent qu'il n'y a pas de risques à la santé à partir du contact cutané avec ces substances

²⁴ Un NOAEL sont est un niveau d'exposition expérimentale pour lequel aucun effet néfaste sur la santé n'est observé chez une population exposée à des substances chimiques comparativement à une population non exposée.

chimiques présentes dans les matériaux des pneus usagés et recyclés. Les facteurs de sécurité pour ces quatre substances variaient de 10 000 à 1 000 000.

Le NIPHRH, 2006 ont évalué les risques à la santé en considérant 9 scénarios chez des jeunes et des adultes qui pratiquent leur sport dans des gymnases intérieurs avec des granulats SBRr. Ils ont considéré une seule voie d'exposition à la fois (ingestion ou inhalation ou contact cutané). Les pires scénarios ont été envisagés en tenant compte d'un d'entraînement intensif (fréquence et durée de matchs), de taux d'exposition élevés (1 g de SBRr par match et par entraînement, des taux d'inhalation à l'effort et des contacts cutanés élevés avec les granulats), des pires concentrations de substances chimiques mesurées par NILU, 2006 et un taux d'absorption de 100%. Les niveaux d'exposition de toutes les substances (COV, phtalates, alkylphénols, BPC et HAP) sont tous inférieurs aux plus petits NOAELs (facteurs de sécurité de 100^{25} à 300 000) et l'estimateur de risque cancérigène pour le benzène est de 2×10^{-6} . Les auteurs concluent qu'il n'y a pas de risque élevé pour la santé de tous les groupes de joueurs. Toutefois, en raison des concentrations de COVt, la qualité de l'air pourrait être perçue comme moins bonne sans que cela présente de risque à la santé. De plus, ils ne peuvent éliminer la possibilité d'impacts au niveau des allergènes aériens. Le NIPHRH, 2006 considèrent qu'il n'est pas nécessaire de remplacer les granulats SBRr actuellement en place mais recommande que les granulats SBRr ne soient plus utilisés lors du remplacement des granulats (aucune précision n'est donnée sur le type de granulats à utiliser).

L'OEHHA, 2007 a réalisé une analyse de risques à la santé en considérant un enfant de 3 ans qui ingérerait 10 g de SBRr une fois dans sa vie. Il a utilisé les pires concentrations de 49 substances relâchées dans l'eau tirées de la littérature sur les pneus et les concentrations extraites à partir de granulats SBRr incubés dans une solution semblable à la solution gastrique (métaux, COV, COsV et HAP). Il a considéré un taux d'absorption de 100%. L'exposition de l'enfant à toutes ces substances a été ensuite comparée aux doses de référence (RfD)²⁶ du U.S.EPA. Les niveaux de risques calculés sont très faibles, tant au niveau des effets autres que le cancer que pour les effets cancérigènes (As, Cd, Pb, benzène, trichloroéthylène, aniline et naphtalène : $< 1 \times 10^{-6}$).

OEHHA, 2007 a également analysé les risques à la santé chez des enfants de 1 à 12 ans en considérant l'ingestion involontaire de poussières de granulats SBRr lors du transfert main-bouche à partir des concentrations de substances chimiques détectées dans les poussières essuyées sur une grande surface de granulats SBRr. L'exposition des jeunes aux quantités de substances chimiques détectées (zinc et 4 HAP) est inférieure aux VTR, sauf pour un HAP, le chrysène, dont le risque cancérigène est de $2,9 \times 10^{-6}$. L'auteur souligne que le risque cancérigène associé au bruit de fond pour cette substance est déjà 3 fois plus élevé que ce niveau.

L'INERIS (Institut national de l'Environnement Industriel et des Risques cité par Moretto, 2007) a évalué les risques à la santé des joueurs associés aux gazons synthétiques de 3^{ème} génération (granulats SBRr, EDMNn et ETP) en considérant la voie d'inhalation seulement dans un petit gymnase peu ventilé. Il a utilisé les concentrations de COV (y compris les aldéhydes) modélisées à partir des

²⁵ Les facteurs de sécurité de 100 ont été observés pour l'acide benzoïque et le formaldéhyde. Toutefois, les NOAELs retenus pour ces substances étaient du même ordre de grandeur que les RfD du U.S.EPA.

²⁶ Une dose de référence est un estimé de la dose d'exposition quotidienne à une substance chimique qui ne devrait pas produire d'effets néfastes sur la santé des individus, incluant les personnes plus sensibles, durant toute une vie. Elle considère uniquement des effets chroniques autres que le cancer et est généralement calculée en divisant un NOAEL par un facteur de sécurité.

émissions de COV mesurées en laboratoire (23°C) durant 28 jours selon la méthode d'échantillonnage et d'analyse recommandée pour les matériaux de construction et les meubles par Moretto, 2007²⁷. Les scénarios considèrent les activités des sportifs amateurs et des sportifs de haut niveau (8 heures/jour et 365 jours/année) (enfants et adultes) et les travailleurs qui installent ces gazons. L'auteur conclut que les risques associés aux émissions des différents COV des matériaux des gazons synthétiques ne sont pas préoccupants pour la santé des joueurs qui pratiquent leur sport dans des gymnases et des travailleurs-installateurs (sauf dans les petits gymnases mal ventilés²⁸), et encore moins sur des terrains de sports extérieurs.

Hofstra, 2007 a comparé l'exposition des joueurs aux substances chimiques des matériaux des gazons synthétiques par rapport à d'autres types d'exposition²⁹. Ainsi, il a estimé que les concentrations de métaux et de phtalates des granulats SBRr respectaient les valeurs-limites européennes pour les jouets et que par conséquent l'ingestion involontaire de ces granulats par les joueurs ne représentait pas de risques à la santé pour les joueurs. Il a également évalué l'exposition des joueurs aux HAP par contact cutané de deux façons. Une simulation en laboratoire de la migration des HAP à travers la peau l'a amené à estimer l'exposition au BaP des joueurs de soccer à 0,12 ng/kg p.c./jour alors que l'apport de 1 ng/kg p.c./jour est jugé un « niveau de risque négligeable ». De plus, des mesures d'un métabolite urinaire du pyrène (1-hydroxypyrene) chez des joueurs avant et après un entraînement intensif sur des gazons synthétiques n'ont pas démontré de façon claire une exposition supplémentaire aux HAP.

Johns, 2008 a réalisé une analyse de risques à la santé associés aux gazons synthétiques avec granulats SBRr. Le scénario retenu considère un enfant (8 à 10 ans) et un jeune (11 à 18 ans) qui jouent sur ce type de terrains pendant 3 heures/jour et 261 jours/an, et ce durant 3 ou 7 ans, respectivement. Les jeunes ingèrent des particules de SBRr, inhalent des COV et sont exposés par contact cutané aux substances chimiques du lixiviat des SBRr. Les taux d'exposition retenus sont ceux du U.S.EPA. Les concentrations d'exposition retenues sont les valeurs les plus élevées parmi les données de Plesser et Lund, 2004, de NIPHRH, 2006 et de l'OEHHA, 2007. Les résultats indiquent que les risques d'effets autres que le cancer sont inférieurs aux VTR et le risque cancérigène est d'environ 2×10^{-6} à cause de la présence de benzène et de HAP dans l'air intérieur. L'auteur a alors considéré que les faibles risques associés à ce scénario intérieur conservateur faisait en sorte que les risques des terrains de sports synthétiques extérieurs étaient négligeables.

Le Tableau 15 présente les principaux éléments des cinq analyses de risques toxicologiques réalisées pour des utilisateurs de gazons synthétiques pour des terrains sportifs. Toutes ces études concluent que les risques toxicologiques reliés aux gazons synthétiques sont plus faibles que les VTR retenues et que par conséquent, l'utilisation de ces terrains de sports extérieurs n'est pas préoccupante du point de vue de la santé pour les joueurs.

De façon générale, ces analyses de risques ont considéré des scénarios d'exposition importants (en terme d'heures de jeux ou parce que les concentrations de substances chimiques mesurées à l'intérieur des gymnases ont été utilisées pour représenter l'exposition des joueurs à l'extérieur), des

²⁷ Les substances évaluées étaient : acétaldéhyde, aniline, benzène, cyclohexane, cyclohexanone, 1,2-dichlorobenzène, éthylbenzène, formaldéhyde, isopropylbenzène, MIBK, naphtalène, phénol, styrène, trichloroéthylène, toluène et xylène.

²⁸ Dans de tels cas, l'auteur recommande de garantir un taux minimal de renouvellement d'air de 2 volumes/heure lors de la pose de ces gazons.

²⁹ Il y a peu d'information disponibles concernant les données utilisées par Hofstra, 2007 car le rapport original est en néerlandais et seul un résumé de ce rapport est disponible en anglais.

concentrations de substances chimiques élevées (généralement les pires concentrations mesurées dans certaines études-clés), des taux d'exposition conservateurs (taux d'ingestion ou d'inhalation par exemple) et des taux d'absorption des substances chimiques de 100% (ce qui est généralement plus élevé que dans la réalité). On note cependant certaines différences avec la méthodologie d'analyse de risques toxicologiques généralement utilisée au Québec³⁰ : certains études n'ont considéré qu'une seule voie d'exposition à la fois plutôt que de comparer l'exposition de toutes les voies avec les VTR, certaines n'ont considéré qu'une seule voie d'exposition seulement et considéraient que les autres voies d'exposition étaient négligeables, certaines n'ont pas considéré des substances chimiques qui sont associées aux matériaux des gazons synthétiques (par exemple, ne pas tenir compte de l'exposition aux HAP) et certaines ont comparé l'exposition des joueurs aux NOAELs plutôt qu'avec les RfC ou RfD.

L'analyse faite par Johns, 2008 est probablement celle qui s'approche le plus du type d'analyses réalisées au Québec : toutes les voies d'exposition ont été considérées conjointement, les taux d'exposition du U.S.EPA et les VTR retenus par l'auteur ressemblent à ceux des *Lignes directrices* du MSSS, 2002. Les principales différences sont que toutes les substances chimiques n'ont pas été retenues et que l'exposition au bruit de fond n'est pas considérée lors de l'évaluation des risques autres que le cancer³¹. Les niveaux de risques évalués par Johns, 2008 pour un milieu intérieur sont très faibles, et seraient encore plus faibles pour les gazons synthétiques extérieurs.

³⁰ Au Québec, les analyses de risques toxicologiques suivent généralement les *Lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique pour la santé humaine dans le cadre de la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement et de l'examen des projets de réhabilitation de terrains contaminés* du MSSS, 2002.

³¹ Toutefois, les niveaux d'exposition aux substances chimiques associés aux scénarios des joueurs sont très faibles comparativement au bruit de fond.

Tableau 15. Résumé des analyses de risques toxicologiques portant sur les matériaux des gazons synthétiques

Auteurs	Scénario	Substances	Résultats	Commentaires
Niisson et coll., 2005	Exposition par contact cutané avec pneus et tuiles Enfant exposé 1 h/j, 5 j/sem durant 1 an VTR: plus faibles NOAELs	fluoranthène, pyrène, deux amines aromatiques (6PPD et IPPD) 200 cm ² de peau exposée	Toutes les expositions sont inférieures aux NOAELs Les facteurs de sécurité varient de 10 000 à 1 000 000	Une seule voie considérée Utilisation de données <i>in vitro</i>
NIPHRH, 2006	Scénario intérieur norvégien (gazon avec SBRr) Enfants, juniors, adolescents, adultes, travailleurs Une seule voie d'exposition à la fois Taux d'exposition très élevés (12-20 h/sem, 4-6 ms/an) Pires concentrations de NILU, 2006 VTR: plus faibles NOAELs	Ingestion de phtalates et alkylphénols Inhalation de COV, phtalates, alkylphénols, BPC, benzothiazoles, HAP phtalates, alkylphénols, BPC, HAP par contact 100% absorption	Exposition < VTR (benzène: 2×10^{-6}) Facteurs de sécurité: 100 à 300 000 Perception d'air de mauvaise qualité Faible risque d'allergie, mais manque de connaissances Ne pas changer les SBRr à l'intérieur Utiliser d'autres granulats à l'avenir	Une seule voie à la fois Utilisation des NOAELs HAP gazeux non considérés
OEHHA, 2007	Granulats SBRr sous les modules de jeux Enfant de 3 ans Ingestion de 10 g de granulats 1 fois dans la vie VTR: RfD	Pires concentrations lixiviables pour 49 substances à partir des pneus Concentrations lixiviables aux conditions gastriques 100% absorption	Risques autres que le cancer < 1 Risque cancérogène: 1×10^{-6}	Une seule voie considérée
OEHHA, 2007	Granulats SBRr sous les modules de jeux Enfants de 1 à 12 ans (2 h/j, 185 j/an) VTR: RfD	Ingestion involontaire main-bouche Concentrations d'un essuyage des surfaces Zinc et 4 HAP	Risques autres que le cancer < 1 Risque cancérogène dû au chrysène: $2,9 \times 10^{-6}$	Une seule voie considérée
INERIS, 2007	Scénario intérieur (petit gymnase) Gazon avec différents granulats Enfants et adultes + installateurs des gazons Taux d'exposition maximal: 8 h/j et 365 j/année	Inhalation de 16 COV (dont les aldéhydes)	Les risques non préoccupants à l'intérieur Sauf les installateurs dans petits gymnases	Une seule voie considérée Seuls les COV considérés
Hofstra, 2007	Comparaison avec exposition de la population Ingestion: avec valeurs-limites pour les jouets Inhalation: aucun détail Contact cutané: migration des HAP simulée en labo Mesure d'un métabolite urinaire des HAP chez joueurs	Ingestion: métaux, phtalates Inhalation: COV et poussières Contact cutané: HAP	Les risques sont faibles via toutes les voies d'exposition Importance de la ventilation en gymnase: fines particules	Analyse non classique
Johns, 2008	Scénario intérieur Enfant de 8 à 10 ans et jeunes de 11 à 18 ans 3 h/j, 261 j/année et 3 ou 7 ans Somme des 3 voies d'exposition Pires valeurs de NILU, Plesser et Lund, OHHEA Paramètres du U.S.EPA VTR: RfC, RfD et risques de cancer	Acétaldéhyde, arsenic, benzène, BaP, BEHP, MIBK, toluène, BPC, xylène, zinc, HAP	Risques autres que le cancer: < 0,05 Risques cancérogènes: 2×10^{-6} (benzène et HAP)	Analyse classique

3.3 Contraintes thermiques

Bien que le présent document visait à faire le point sur les impacts des substances chimiques associées aux matériaux des gazons synthétiques sur la santé humaine, nous avons constaté, au cours de nos lectures, que les températures mesurées dans les matériaux et à la surface des gazons synthétiques extérieurs pouvaient atteindre des niveaux importants au cours des journées chaudes de l'été.

La pratique estivale des sports extérieurs, et celle du soccer en particulier, implique un niveau d'activité intense chez les joueurs durant une saison où les conditions météorologiques (température et humidité relative élevées) exercent parfois une contrainte supplémentaire à l'effort physique déployé. Les joueurs, les responsables sportifs et les parents doivent être conscients des risques à la santé dus au stress thermique pendant les périodes de canicules. Les mesures de précautions (prendre fréquemment du repos, bien s'hydrater, etc) doivent être disponibles et utilisées par les joueurs, particulièrement par les jeunes enfants qui ont moins conscience des risques et qui physiologiquement sont moins résistants que les enfants plus vieux et les adultes (Committee on Sports Medicine and Fitness, 2000).

Selon la revue de la littérature effectuée par TRC, 2008, les gazons artificiels absorberaient la chaleur radiante du soleil de façon plus efficace que les surfaces de jeux en gazon naturel ou en asphalte. Lorsque cette chaleur se dissipe, la température de l'air ambiant au-dessus des terrains augmenterait et atteindrait des niveaux non négligeables (jusqu'à 10°C de plus que le gazon naturel selon Montfort-Windels, 2008). Quelques études ont mesuré les températures sur les terrains synthétiques, mais les mesures ont été prises principalement dans les granulats et à la surface du terrain. Peu de mesures ont été faites au-dessus du terrain afin de mieux documenter les contraintes thermiques des joueurs. Aucune mesure effectuée sur les terrains au Québec n'est rapportée dans la littérature consultée.

4. Position des différentes organisations quant aux risques toxicologiques reliés aux matériaux des gazons synthétiques

Nous rapportons ici les positions de différentes organisations relatives aux risques toxicologiques reliés aux matériaux des gazons synthétiques. Ces informations proviennent des sites Internet des organismes publics et des articles scientifiques publiés, et peuvent évoluer avec le temps.

Amérique du Nord :

- Le New Jersey Department of Health and Senior Services, 2008b avait recommandé la fermeture de trois terrains de sports en raison de la présence de plomb dans les fibres de nylon des gazons synthétiques et dans la poussière d'un de ces terrains. En juin 2008, il a également recommandé aux responsables des terrains de jeux de déterminer si les fibres de leurs gazons synthétiques pouvaient contenir du plomb et si tel était le cas, leur suggère, à titre préventif, de limiter l'accès de ces terrains aux utilisateurs, particulièrement aux enfants de moins de 7 ans. Si les terrains sont utilisés malgré tout, les utilisateurs sont invités à se laver minutieusement les mains et le corps après avoir joué sur le terrain, et leur vêtements de sports doivent être lavés séparément des autres vêtements. (Site Internet : <http://www.state.nj.us/health/artificialturf/index.shtml> consulté le 11 juillet 2008)
- Le New York City Department of Health and Mental Hygiene, 2008a considère peu probable que les faibles niveaux d'exposition aux différentes substances chimiques mesurées dans les gazons synthétiques puissent causer des effets sur la santé des joueurs. Quant à la présence de plomb associé à certaines fibres de nylon des gazons synthétiques, des mesures de plomb effectuées dans les poussières sur les gazons synthétiques concernés de leur territoire ont démontré que ce métal ne constitue pas un risque à la santé des joueurs. Le New York City Department of Health and Mental Hygiene, 2008a recommande un suivi ultérieur de ces terrains. Comme après toute activité extérieure, il recommande aux joueurs de se laver les mains avant de manger ou de boire. Lors des journées très chaudes, les utilisateurs sont invités à limiter leurs activités, à prendre du repos fréquemment et à boire de l'eau afin d'éviter les problèmes de santé reliés à la chaleur. (Site Internet : <http://www.state.nj.us/health/artificialturf/index.shtml> consulté le 11 juillet 2008)
- Une étude commandée par le New York City Department of Health and Mental Hygiene, 2008a sur les risques potentiels des granulats SBRr sur la santé et la sécurité a été réalisée par une firme privée, TRC, 2008. Les recommandations de cette étude portaient sur les points suivants : i) les industries qui produisent des granulats devraient fournir plus d'information sur leur contenu en substances chimiques et convenir d'utiliser des méthodes d'analyses constantes et validées ; cette information, en plus de l'information sur l'absorption de chaleur par les matériaux et les propriétés reliées aux blessures des gazons synthétique, permettrait de fournir une information complète aux éventuels acheteurs ; ii) obtenir des informations concernant les concentrations de substances chimiques mesurées sur les terrains de sports et en bruit de fond dans la ville de New York ; iii) des recommandations spécifiques concernant

les moyens de protection contre les contraintes thermiques sont présentées afin de réduire ce risque qui est jugé le plus important en lien avec l'utilisation des gazons synthétiques ; *iv*) les responsables de terrains de sports devraient adopter des protocoles pour les aider dans leur choix des gazons synthétiques. (site Internet : <http://www.nyc.gov/html/doh/html/eode/eode-turf.shtml> consulté le 23 juillet 2008)

- Le Connecticut Department of Public Health, 2007 considère qu'à partir des données disponibles, les risques de santé publique reliés aux substances chimiques des matériaux des gazons synthétiques apparaissent peu vraisemblables. Il considère que les sources d'exposition non reliées aux matériaux des gazons synthétiques sont plus importantes que celles des gazons synthétiques. Il ne juge pas nécessaire d'empêcher l'installation de nouveaux terrains, mais il reconnaît qu'il faut continuer à suivre les données scientifiques des études qui se poursuivent dans ce domaine. Il recommande aux villes d'évaluer la situation avant de décider d'installer des gazons synthétiques en terme de coût, d'entretien et d'acceptabilité du public. (Site internet : <http://www.ct.gov/> consulté le 11 juillet 2008)
- L'OEHA, 2007 a effectué une évaluation des risques à la santé associés aux granulats SBRr sous des modules de jeux et a considéré que les niveaux de risques étaient inférieurs aux niveaux généralement considérés acceptables. Cependant, cet organisme n'a pas émis de position en regard de l'utilisation de granulats SBRr. (Site Internet : <http://oehha.ca.gov/> consulté le 11 juillet 2008)
- En juin dernier, le CDC, 2008 a émis un avis qui indique que les gazons synthétiques dont les fibres sont faites de nylon ou de nylon/PE et qui sont usées sont susceptibles de se dégrader. La poussière produite sur ces terrains peut alors contenir du plomb. Dans l'objectif d'éliminer toute présence non essentielle de plomb, le CDC et son agence ATSDR recommandent de faire des mesures de la concentration de plomb dans les poussières des gazons synthétiques avec fibres de nylon ou fibres de nylon/PE qui sont abimées. Si ces poussières contiennent plus de 400 ppm de plomb, il recommande de ne pas permettre l'accès du terrain aux enfants de moins de 6 ans. Il ne recommande pas de faire de mesures dans les terrains où les gazons synthétiques avec fibres de nylon ou de nylon/PE ne sont pas abimées et ne contiennent pas de poussières visible, ni dans les terrains où les fibres des gazons artificiels sont en PE seulement. Le CDC reconnaît qu'il ne connaît pas actuellement les risques potentiels associés à l'exposition aux poussières des terrains abimés mais suggère des mesures préventives pour les responsables des terrains sportifs et le public, surtout les enfants de moins de 6 ans. (Site Internet : <http://www2a.cdc.gov/HAN/ArchiveSys/ViewMsgV.asp?AlertNum=00275> consulté le 11 juillet 2008)

Europe :

- Norvège : Dans une étude réalisée en gymnases intérieurs en 2006, le Norwegian Institute of Public Health et Radium Hospital, 2006 (NIPHRH) considéraient que l'utilisation de gazons synthétiques avec granulats de caoutchouc recyclé ne présentait aucune évidence de risques élevés pour la santé. Cependant, ils émettaient une réserve concernant le manque de connaissances concernant le développement d'asthme ou d'allergies respiratoires associés à la présence de latex dans le caoutchouc utilisé pour les granulats. Ils considéraient qu'il n'était pas nécessaire de remplacer les granulats déjà en place dans les gymnases mais

suggéraient que les granulats de caoutchouc recyclés ne soient pas utilisés lors du remplacement ou de l'ajout de granulats dans les aires de jeux intérieures. Aucune information concernant une position officielle n'est disponible sur le site Internet du Norwegian Institute of Public Health (Site Internet : <http://www.fhi.no/eway/?pid=238> consulté le 11 juillet 2008).

- Italie : À partir des concentrations de substances chimiques mesurées dans des granulats SBRr et ETP prélevés sur différents terrains de sports synthétiques et de la toxicité de ces substances, Verna, 2006, du ministère de la santé d'Italie, a proposé de faire d'autres types de mesures d'exposition des joueurs aux substances chimiques. Depuis, nous n'avons pas trouvé d'autres informations concernant de telles études en Italie.
- Suisse : L'Office fédéral de la santé publique de la Confédération suisse, 2006 a conclu que les résultats des études réalisées en Suède, Norvège et Allemagne conduisaient à affirmer que jouer sur un gazon synthétique avec granulats SBRr ne présentait pas de risques sanitaires particuliers. Ce constat est basé sur le fait que la charge en poussières fines et en HAP d'un gymnase fermé, équipé d'un gazon synthétique avec des granulats de caoutchouc provenant de pneus recyclés, est comparable à celle des rues d'une ville. Dans les cas des gazons synthétiques de terrains non fermés, les concentrations pourraient être plus faibles (Site Internet : <http://www.bag.admin.ch/index.html?lang=fr> consulté le 21 juillet 2008).
- Suède : KemI, 2006, une agence du ministère de l'environnement de la Suède, a recommandé que les granulats de pneus recyclés ne soient pas utilisés pour l'aménagement des nouveaux terrains de gazon synthétique en raison des substances chimiques qu'ils contiennent (HAP, phtalates et certains métaux). Il considère cependant que les granulats SBRr des terrains existants n'ont pas besoin d'être remplacés tant qu'ils demeurent en bon état puisque les risques à la santé et à l'environnement associés à ces matériaux sont faibles. Cette recommandation a été faite dans l'objectif global de réduire la présence des contaminants dans l'environnement. Avant la publication de cette recommandation, 91% des terrains de soccer synthétiques de Suède contenait des granulats SBRr alors que seulement 40% des nouveaux terrains aménagés en 2007 en contiennent (Site Internet : http://www.kemi.se/default_550.aspx, consulté le 17 juillet 2008).

Conclusion

Les analyses de métaux ont identifié la présence un peu plus marquée de chrome, de cobalt et de plomb dans certains matériaux; cependant, ces métaux ne sont pas mobilisés par l'eau de pluie ni émis dans l'air. Aux États-Unis, une mesure de la concentration de plomb dans les poussières d'un gazon synthétique avec fibres de nylon est apparue élevée alors que d'autres mesures de la quantité de plomb sur les surfaces du même type de gazons respectaient les valeurs-limites du *United States Environmental Protection Agency* pour les surfaces intérieures de résidences (plancher et seuil de fenêtres) où vivent des enfants. Le *Center for Disease Control and Prevention* américain a recommandé de mesurer le plomb dans les poussières des gazons de 1^{ère} génération uniquement lorsque les fibres de nylon sont usées et en mauvais état et lorsqu'elles contiennent des poussières visibles. Une visite au seul terrain de sports de la Ville de Montréal dont les fibres du gazon synthétique sont en nylon nous a permis de constater que les fibres très courtes et remplies de sable de ce gazon de 3^{ème} génération sont en bon état et ne contiennent pas de poussières visibles. Enfin, les concentrations de zinc mesurées dans l'ensemble des matériaux sont également plus élevées; ce zinc est mobilisable dans l'eau lors des expérimentations en laboratoire mais beaucoup moins par l'eau de pluie sur les terrains eux-mêmes. Toutefois, ce métal est peu toxique pour l'humain et les concentrations mesurées dans l'eau sont généralement inférieures à la valeur-limite permise dans l'eau potable au Canada. Toutes les analyses de risques toxicologiques indiquent que les métaux ne représentent pas de risques significatifs pour la santé humaine. Certaines mises en garde ont toutefois été émises en regard des impacts du zinc sur l'environnement.

On retrouve différents composés organiques dans les matériaux puisque ceux-ci sont fabriqués à partir du pétrole (plastique et caoutchouc). Ces composés organiques peuvent être mobilisés dans l'eau en laboratoire par des méthodes d'extraction agressives mais très peu par l'eau de pluie sur les terrains eux-mêmes. Les composés organiques volatiles peuvent également être émis dans l'air par les différents matériaux; leurs concentrations mesurées sous forme de composés organiques volatiles totaux (COVt) peuvent être suffisamment élevées dans l'air intérieur de certains gymnases pour entraîner de l'inconfort et la perception d'odeurs chez certaines personnes, mais elles sont beaucoup trop faibles pour causer des effets néfastes sur la santé des joueurs. D'ailleurs, de tels niveaux sont fréquemment observés dans l'air intérieur d'autres milieux tels les résidences, les écoles et les bureaux. Les concentrations mesurées dans l'air extérieur au-dessus des terrains en gazon synthétique se sont révélées semblables aux concentrations mesurées en bruit de fond. Toutes les analyses de risques toxicologiques ont utilisé les concentrations maximales des différents composés organiques volatiles et confirment que les risques à la santé sont faibles pour les joueurs qui pratiquent leur sport à l'intérieur, et encore moindres à l'extérieur.

Plusieurs mesures de différents composés organiques semi-volatiles (COsV) ont été réalisées au niveau des matériaux des gazons synthétiques (phénols, alkylphénols, BPC, amines, nitrosamines, benzothiazoles, phtalates). Les concentrations mesurées dans les matériaux étaient généralement faibles, et lorsqu'elles étaient un peu plus élevées dans certains matériaux (certains alkylphénols, aniline et benzothiazoles), les teneurs mesurées dans l'eau ou dans l'air intérieur des gymnases étaient très faibles. Les nitrosamines n'ont pas été détectées dans l'air extérieur au-dessus des terrains en gazons synthétiques. Toutes les analyses de risques toxicologiques indiquent que ces substances ne représentent pas de risques significatifs pour la santé des utilisateurs de terrains synthétiques.

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont très présents dans les granulats SBRr en raison de l'utilisation d'huiles aromatiques de pétrole comme plastifiants et adoucisseurs lors de la fabrication des pneus. Ils sont détectés dans les granulats SBRr mais se retrouvent très peu dans l'eau lors des extractions en laboratoire puisqu'ils sont généralement peu solubles. Les concentrations mesurées dans l'air intérieur

des gymnases avec granulats SBRr peuvent à l'occasion dépasser les concentrations moyennes mesurées dans l'air extérieur et s'approcher des concentrations maximales mesurées à l'occasion dans l'air extérieur de Montréal lorsque la qualité de l'air est moins bonne. Le naphthalène et les méthyl-naphtalènes représentent plus du tiers des HAP mesurés dans l'air intérieur en raison de leur volatilité plus élevée. Cependant, les concentrations de HAP mesurées dans l'air au-dessus d'un terrain en gazon synthétique extérieur sont semblables aux concentrations moyennes mesurées dans l'air extérieur de Montréal. Toutes les analyses de risques toxicologiques réalisées démontrent que les HAP des matériaux de gazons synthétiques ne représentent pas de risques significatifs pour la santé humaine.

Plusieurs chercheurs ont exprimé des interrogations quant au lien possible entre la présence de substances allergènes associées aux granulats SBRr (latex et additifs) d'une part, et des réactions allergiques respiratoires et de contact chez les joueurs d'autre part. Plusieurs données semblent indiquer que ce lien serait plutôt faible : les allergènes du latex sont probablement détruits lors de la vulcanisation des pneus, des tests de sensibilisation aux granulats SBRr effectués chez des animaux se sont avérés négatifs et on n'a observé aucune augmentation des cas d'allergie au latex chez la population qui vit près des grandes routes où les poussières aériennes contiennent du caoutchouc en provenance de l'usure des pneus. Toutefois, des auteurs soulignent qu'on ne peut exclure la possibilité de développer une allergie ou de présenter des symptômes d'allergie chez les personnes déjà sensibilisées en présence de granulats de caoutchouc. Soulignons que la population est déjà en contact avec de nombreux produits à base de caoutchouc présents dans notre environnement (ballon, semelle de chaussures, gants).

Les analyses de risques toxicologiques recensées dans la littérature ont été réalisées par des organismes reconnus qui ont considéré différentes substances chimiques, différentes voies d'exposition à ces substances et différentes valeurs toxicologiques de référence. Toutes indiquent que l'exposition aux substances chimiques lors de la pratique de sports sur des gazons synthétiques est faible et que les risques à la santé pour les joueurs ne sont pas préoccupants. Bien qu'il existe des différences entre les approches d'analyse de risques retenues dans ces études et celle généralement utilisée au Québec, nous sommes en accord avec leurs conclusions, d'autant plus que les données d'exposition par inhalation utilisées dans ces études proviennent de l'étude réalisée à l'intérieur en gymnase, ce qui surestime beaucoup l'exposition des joueurs qui pratiquent leur sport à l'extérieur. Même les quelques pays qui ont choisi de ne pas favoriser les granulats SBRr pour l'aménagement des nouveaux gazons synthétiques considèrent que les risques à la santé reliés à ces matériaux sont très faibles et précisent que leur choix est basé uniquement sur des objectifs environnementaux.

Au cours de notre revue de la littérature scientifique, nous avons constaté que les températures mesurées au niveau des gazons synthétiques extérieurs au cours des journées très chaudes pouvaient atteindre des niveaux importants et s'ajouter au stress thermique de la pratique de sports comme le soccer chez les joueurs. Il serait intéressant de documenter cette problématique au niveau des terrains extérieurs montréalais, en ciblant, en plus des mesures réalisées au niveau des matériaux, l'évaluation des charges thermiques chez les joueurs sous différentes conditions.

À la lumière de l'ensemble des informations tirées de la littérature scientifique, la DSP considère que les risques à la santé pour les joueurs qui utilisent les gazons synthétiques ne sont pas significatifs et qu'ils peuvent continuer à pratiquer leurs sports sur ce type de terrains extérieurs en toute sécurité³².

³² Notre évaluation ne portait pas sur les gymnases avec du gazon synthétique mais les quelques données disponibles dans la littérature scientifique pour ce genre d'installations intérieures indiquent qu'il n'y aurait pas de risques significatifs sur la santé des joueurs bien qu'à l'occasion, la qualité de l'air pourrait être jugée de piètre qualité par les utilisateurs.

Références

- A-Turf inc, 2008. Synthetic turf safety. 2 pages, www.generalmcclane.org/district/folders/gmfoundation/turf/turfsafety.pdf.
- Anderson, M. E. et coll., 2006. A case study of tire crumb use on playgrounds: risk analysis and communication when major clinical knowledge gaps exist - Commentary. *Environmental Health Perspectives*, 114: 1-3.
- Birkholz, D. A., Belton, K. L., et Guidotti, T. L., 2003. Toxicological evaluation for the hazard assessment of tire crumb for use in public playgrounds. *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 53: 903-7.
- Bresnitz, E. A., 2008a. Letter from New Jersey Department of Health and Senior Services to U.S. Consumer Product Safety Commission. New Jersey Department of Health and Senior Services. 2 pages, <http://www.state.nj.us/health/artificialturf/index.shtml>.
- Bresnitz, E. A., 2008b. Letter to the U.S. Consumer Product safety Commission. New Jersey Department of Health and Senior Services, http://www.state.nj.us/health/artificialturf/documents/cpsc_letter_0608.pdf.
- Carrier, G. 1991. Réponse de l'organisme humain aux BPC, dioxines et furannes, et analyse des risques toxicologiques, Le Passeur484 pages. ISBN 2-9801068-6-0.
- CCME, 2007. Recommandations canadiennes pour la qualité des sols - Environnement et santé humaine - Tableaux sommaires - Mise à jour 7.0 - Septembre 2007. Conseil canadien des ministres de l'environnement.
- CDC, 2008. Potential exposure to lead in artificial turf: public health issues, actions and recommandations. Centers for Disease Control and Prevention et Site consulté le 11 juillet 2008, <http://www2a.cdc.gov/HAN/ArchiveSys/ViewMsgV.asp?AlertNum=00275>.
- Comité scientifique de Kino-Québec, 2000. L'activité physique, déterminant de la santé des jeunes. Kino-Québec. 24 pages, <http://www.kino-quebec.qc.ca/scolaire.asp>.
- Committee on Sports Medicine and Fitness, 2000. Climatic heat stress and the exercising child and adolescent. *Pediatrics*, 106: 158-159.
- Connecticut Department of Public Health, 2007. Artificial turf fields: health questions. Site consulté le 11 juillet 2008, [http://www.ct.gov/dph/lib/dph/environmental_health/pdf/artificial_turf_\(2\).pdf](http://www.ct.gov/dph/lib/dph/environmental_health/pdf/artificial_turf_(2).pdf).
- Crain, W. et Zhang, J., 2006. Hazardous Chemicals in synthetic turf. *Rachel's Democracy and Health News*, 871.
- Crain, W. et Zhang, J., 2007. Hazardous chemicals in synthetic turf: follow-up analyses. *Rachel's Democracy and Health News*, 902.
- Dermaptène.com, 2008. Les principaux allergènes du caoutchouc. <http://www.dermaptene.com/index.php>.
- Deutsches Institut für Normung, 2006. DIN 18035-7: 2002-06 = Sports Grounds Part 7: Synthetic Turf Areas - Determination of Environmental Compatibility. http://www.iss.de/publications/UEP/UEP_DIN_18035-7eng.pdf.
- EHHI, 2007. Artificial turf - Exposures to ground-up rubber tires - Athletic fields - playgrounds - gardening mulch. Environment and Human Health inc. 36 pages, http://www.ehhi.org/reports/turf/turf_report07.pdf.

- Environnement Canada, 2000. Priority Substances List; Assessment Report; Nonylphenol and its Ethoxylates. 131 pages.
- Environnement Canada, 2001. Liste des substances d'intérêts prioritaire-rapport d'évaluation-Le nonylphénol et ses dérivés éthoxylés. 89 pages.
- Germain, A., 1997. Hydrocarbures aromatiques polycycliques. État de la situation au Québec de 1988 à 1994. Environnement Canada - Direction de la Protection de l'Environnement.
- Gilbert, N. L. et coll., 2006. Housing characteristics and indoor concentrations of nitrogen dioxide and formaldehyde in Québec City, Canada. Environ. Res., 102: 1-8.
- Gill, D. et Hainsey, M., 2008. Environmental Intelligence - The truth about lead in synthetic turf. Ezine articles, <http://ezinearticles.com/?Environmental-Intelligence---The-Truth-About-Lead-in-Synthetic-Turf&id=1281521>.
- Gionet, L., 2005. Guide d'aménagement et d'entretien des terrains de soccer extérieurs. Ville de Montréal et Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport. 77 pages.
- Gouvernement du Canada, 1994a. Liste des substances d'intérêt prioritaire - Rapport d'évaluation - Phtalate de bis(2-éthylhexyle). Environnement Canada et Santé Canada.
- Gouvernement du Canada, 1994b. Liste des substances d'intérêt prioritaire - Rapport d'évaluation - Phtalate de dibutyle. Environnement Canada et Santé Canada. 38 pages.
- Gouvernement du Canada, 2000. Liste des substances d'intérêt prioritaire - Rapport d'évaluation - Phtalate de butyle et de benzyle. Environnement Canada et Santé Canada. 62 pages.
- Gouvernement du Canada, 2005. Loi sur les produits dangereux - Règlement sur les revêtements. Gazette du Canada, 139.
- Hametner, C. et Muller, W., 2006. Environmental compatibility - recent developments. OFI inc.ISSS Technical Meeting 2006. 11 pages.
- Hofstra, U., 2007. Environmental and health risks of rubber infill - rubber crumb from car tyres as infill on artificial turf - summary. 7 pages.
- Hofstra, U., 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 - Summary. www.re-tyre.com/documents/SummaryEnvironmentalrisksofrubberinfill29-04-2008.doc.
- IBV, 2007. Study of the incidence of recycled rubber from tyres in environment and human health. Instituto de Biomechanica de Valencia.
- Institut Fresenius, 2006. Environmental compatibility concept according DIN 18035 - Test procedures and background (présentation). 13 pages.
- J.C.Broderick & Associates, 2007a. Ambient air sampling for PAH's - Comsewogue High School football field - Port Jeff Station, New York. 4 pages.
- J.C.Broderick & Associates, 2007b. Ambient air sampling for PAH's - Schreiber High School football field - Port Washington, New York. 4 pages.
- Johns, D. M., 2008. Initial evaluation of potential human health risks associated with playing on synthetic turf fields on Bainbridge Island. Windward Environmental LLC.

- Keml, 2006. Synthetic Turf from a chemical perspective-a status report. Swedish Chemicals Inspectorate. 27 pages.
- Kolitzus, H. J., 2006. Investigation and assessment of synthetic sports surfaces in Switzerland including athletic and soccer facilities. 10 pages, <http://www.iss.de/conferences/Dresden%202006/Technical/HJK%20Schweiz.pdf>.
- Kolitzus, H. J., 2007. Artificial turf surfaces for soccer. 29 pages, www.iss.de/publications/ArtificialTurf/Study%20KR%206943%20english070511.pdf.
- Kopangen, M., 2005. Environmental risk assessment of artificial turf systems. Norwegian Institute for Water Research. 19 pages, <http://www.iss.de/conferences/Dresden%202006/Technical/NIVA%20Engelsk.pdf>.
- Iedoux, T., 2007. Preliminary assessment of the toxicity from exposure to crumb rubber: its use playgrounds and artificial turf playing fields. 2 pages, <http://www.asgi.us/whitepaper%20-%20rubber.pdf>.
- MDDEP, 1998. Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés. ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. 124 pages, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique/resume.htm>.
- MDDEP, 2002. Critères de qualité de l'air - Fiches synthèse, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. Page consultée en août 2006., <http://www.mddep.gouv.qc.ca/air/criteres/fiches.pdf>.
- MDDEP, 2008. Critères de qualité de l'eau de surface. ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/criteres_eau/criteres.pdf.
- Ministère de l'Environnement du Québec, 1998. Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés. 124 pages, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique/resume.htm>.
- Montfort-Windels, F., 2008. Les brevets, sources d'innovation: le cas du gazon synthétique. InnovaTech, http://innovatech.be/dossiers/crif/gazon_synthetique.php.
- Moretto, R., 2007. Évaluation environnementale et sanitaire de l'utilisation de granulats d'élastomères (vierges et issus de pneumatiques usagés) comme remplissage des gazons synthétiques de troisième génération. 26 pages.
- Mosqueron, L. et Nedellec, V., 2001. Inventaire des données françaises sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments. Observatoire de la qualité de l'air intérieur. 173 pages.
- MSSS, 2002. Lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique pour la santé humaine dans le cadre de la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement et de l'examen des projets de réhabilitation de terrains contaminés. Ministère de la Santé et des Services sociaux. 90 pages, www.msss.gouv.qc.ca.
- New Jersey Department of Health and Senior Services, 2008a. New Jersey Investigation of Artificial turf and Human Health Concerns. New Jersey Department of Health and Senior Services. 2 pages, <http://www.state.nj.us/health/artificialturf/index.shtml>.
- New Jersey Department of Health and Senior Services, 2008b. Update: New Jersey Investigation of Artificial Turf and Human Health Concerns - June 2008. New Jersey Department of Health and Senior Services.
- New York City Department of Health and Mental Hygiene, 2008a. Fact sheet on crumb rubber used in synthetic turf. Site internet consulté le 10 juillet 2008, <http://www.nyc.gov/html/doh/html/eode/eode-turf.shtml>.
- New York City Department of Health and Mental Hygiene, 2008b. Lead Hazard risk assessment of synthetic turf playing fields. The City of New York Department of Health and Mental Hygiene, [http://www.syntheticurfCouncil.org/associations/7632/files/NYC_Lead_Risk_Report_-_4-15-08\[1\].pdf](http://www.syntheticurfCouncil.org/associations/7632/files/NYC_Lead_Risk_Report_-_4-15-08[1].pdf).

- Nguyen, V. H., Beaudry, C., Renzi, P., et Donnini, G., 2007. La qualité de l'air intérieur - Aspects techniques, médicaux et juridiques - 3^e édition. Éditions Yvon Blais. 406 pages.
- Nilsson, N. H., Feilberg, A., et Pommer, K., 2005. Emissions and evaluation of health effects of PAH's and aromatic mines from tyres. Danish Ministry of the Environment, <http://www.mst.dk/Udgivelser/Publications/2005/05/87-7614-652-9.htm>.
- NILU, 2006. Measurement of air pollution in indoor artificial turf halls. Norwegian Pollution Control Authority.
- NIPHRH, 2006. Artificial turf pitches - an assessment of the health risks for football players. 34 pages.
- Norwegian Institute of Public Health et Radium Hospital, 2006. Artificial turf pitches - an assessment of the health risks for football players. 34 pages.
- OEHHA, 2007. Evaluation of health effects of recycled waste tires in playground and track products. Office of Environmental Health Hazard Assessment, www.ciwmb.ca.gov/Publications/Tires/62206013.pdf.
- Office fédéral de la santé publique de la Confédération suisse, 2006. Fiche d'information: Pelouses synthétiques - Risques sanitaires? 4 pages, <http://www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/03458/index.html?lang=fr>.
- Plessner, S. W. et Lund, O. J., 2004. Potential health and environmental effects linked to artificial turf systems - final report. Norwegian Building Research Institute. 16 pages.
- RAMP, 2007. Synthetic turf Chemicals. <http://www.albany.edu/ihe/SyntheticTurfChemicals.htm>.
- Recyc-Québec, 2007. Les pneus hors d'usage - Fiche d'information. Recyc-Québec, <http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/Upload/Publications/Fiche-pneus.pdf>.
- Santé Canada, 1989. Directives d'exposition concernant la qualité de l'air des résidences. 26 pages.
- Santé Canada, 2004. Trousse d'information sur le plomb-questions couramment posées sur l'effet de l'exposition au plomb sur la santé humaine, http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/contaminants/lead-plomb/asked_questions_questions_posees_f.html.
- Santé Canada, 2006. Guide destiné à l'industrie sur les exigences canadiennes en matière de sécurité des jouets pour enfants et des produits connexes. <http://www.hc-sc.gc.ca/cps-spc/pubs/indust/toys-jouets/index-fra.php>.
- Santé Canada, 2008. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada - tableau sommaire. Santé Canada, http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/alt_formats/hecs-sesc/pdf/pubs/water-eau/sum_guide-res_recom/y-sommaire-fra.pdfsummar.
- Swedish Chemicals Inspectorate, 2006. Synthetic Turf from a chemical perspective-a status report. 27 pages.
- Tencate thiolon, 2008. Technical information manual version 6.0.
- TRC, 2008. A review of the potential health and safety risks from synthetic turf fields contaminating crumb rubber infill. New York City Department of Health and Mental Hygiene, http://home2.nyc.gov/html/doh/downloads/pdf/eode/turf_report_05-08.pdf.
- TSI Testing Services inc pour Astroturf, 2008. Test report - Parc Ironwood Recreation - Newark, New-Jersey. 2 pages.
- U.S.EPA, 2003. IRIS Summary for methylisobutylketone. United States Environmental protection agency, http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showQuickView&substance_nmbr=0173#refinhal.

- U.S.EPA, 2007. Lead; Renovation, Repair, and Painting Program - Federal Register Environmental Document. U.S.Environmental Protection Agency, <http://www.epa.gov/EPA-TOX/2007/June/Day-05/t10797.htm>.
- van Bruggen, M., van Putten, E. M., et Janssen, P. C., 2007. Nitrosamines released from rubber crumb. RIVM (National Institute of public health and the environment, Pays-Bas, www.parks.sfgov.org/wcm_recpark/SPTF/TurfNitrosamines.pdf).
- Verna, R., 2006. Is artificial turf a problem? Situation in Italy and prospective of research - Présentation. Italian Ministry of Health, http://www.iss-sportsurfacescience.org/downloads/documents/5XVR42HXEI_DRESDA_Roberta_Verna.pdf.
- Verschoor, A. J., 2007. Leaching of zinc from rubber infill on artificial turf (football pitches) - RIVM report 601774001/2007. Ministry of Housing, Spatial planning and the Environment Hollande, http://www.parks.sfgov.org/wcm_recpark/SPTF/Verschoor.pdf.
- Vertubleu Enr, 2001. Nouvelles applications au caoutchouc recyclé - Phase 1 - Recherches, analyse contextuelle et cueillette d'informations. Recyc-Québec. 39 pages, http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/upload/Publications/m-phase_i_-_un_concept_prometteur_de_pa.pdf.
- Ville de Montréal, 2006. Bilan environnemental - Qualité de l'air à Montréal - Données 2006. Ville de Montréal.
- Ville de Montréal et Direction de l'environnement, 2004. Qualité de l'air à Montréal. Rapport annuel 2003, Ville de Montréal.
- VROM, 200. Rubber granules as infill material in artificial turf fields. Ministry of Social Housing, Regional Planning and Environmental Administration of The Netherlands, http://www.ci.wellesley.ma.us/Pages/WellesleyMA_SpragueResources/Debunking%20the%20Myth%20of%20SBR%20Dangers_0420.pdf.
- WHO 1997. Assessment of exposure to indoor air pollutants, Jantunen, M., Jaakkola, J. J. K., and Krzyzanowski, M., Denmark. 139 pages. ISBN
- Willoughby, B. G., 2006. PAHs and other organics in tyres - origins and potential for release - Background material for the Standards for Artificial Turf Working Group. Consultant in Polymer Chemistry.

Annexe 1: Résumé des études scientifiques portant sur les mesures des concentrations de substances chimiques associées aux matériaux des gazons synthétiques

1. **Étude canadienne de Birkholz et coll., 2003** – Étude subventionnée par Tire Recycling Management Association of Alberta portant sur les granulats placés sous les modules de jeux

Birkholz et coll., 2003 ont évalué les risques à la santé des enfants et à l'environnement associés à l'utilisation de granulats de SBRr sous les modules de jeux pour enfants. Les auteurs ont réalisé des analyses de risques conventionnelles et des essais de mutagénicité sur les granulats.

Ils n'ont pas considéré les effets possibles de sensibilisation et de dermatites chez les enfants. Ils considèrent que de tels effets des produits de caoutchouc vulcanisé ne sont pas applicable dans ce cas-ci car les granulats sont des produits finis, âgés, lavés et exempt de poussières.

Ils ont conclu de façon qualitative que l'exposition par ingestion serait faible parce que l'ingestion de granulat est faible et qu'il est peu probable que le tractus gastrointestinal puisse extraire des toxiques à partir des granulats. L'exposition par inhalation est considérée sans conséquence. L'exposition par la peau est considérée improbable puisqu'il faudrait un solvant plus efficace que l'eau pour extraire les contaminants du pneu en quantité significative et un véhicule non polaire pour faire pénétrer ces contaminants à travers la peau pour qu'il y ait absorption significative. Par conséquent, les auteurs considèrent que le risque d'exposition total est faible et qu'à de telles quantités, seul l'effet cancérigène pourrait être problématique. Ils ont donc fait des extraits avec du dichlorométhane et du DMSO sur 200 g de granulats de pneus et réalisé des tests de génotoxicité de *typhimurium* mutagenicity fluctuation essay (TA98, TA100, TA1535 et TA1537), SOS chromotest et Mutatox, avec et sans S9. Les résultats indiquent que les **substances chimiques extraites ne causeraient des dommages à l'ADN ou aux chromosomes**.

2. **Étude norvégienne de Plessner et Lund, 2004** (étude du Norwegian Building Research Institute pour le Norwegian Football Association)

Cette étude a mesuré les métaux, BPC, phtalates, phénols et HAP dans deux types de fibres (PE et PE/PP) et dans quatre types de granulats (3 granulats SBRr et 1 granulat EPDM) de trois façons :

- Mesure de la concentration totale dans les matériaux,
- Mesure des émissions de gaz à partir des matériaux (2 g de matériau ont été chauffés à 70°C pendant 30 minutes et les gaz émis ont été mesurés),
- Mesure des émissions de substances extraites dans l'eau en laboratoire (les matériaux ont été placés dans un volume d'eau dé-ionisée 10 : 1 et ont été agités (10 tours à la minute) pendant 48 heures; le lixiviat a été filtré et analysé).

Les auteurs ont ensuite comparé les résultats avec des valeurs-limites norvégiennes et étrangères pour les sols (critères norvégiens et canadiens, et concentrations sans effets) et avec des valeurs-limites pour l'eau (eau potable norvégienne, eau fraîche canadienne et concentrations sans effets).

Ils ont observé que :

- Les fibres contiennent du Cu, Zn, quelques phtalates et deux phénols. Le Cu et le Zn respectent les critères de sols sensibles norvégiens.
- Les granulats SBRr contiennent du Pb, Cd, Cu, Hg, Zn, des HAP, certains phtalates et deux phénols. La composition inter et intra manufacturiers varie beaucoup. Le Zn et les HAP excèdent les critères de sols sensibles norvégiens, le DBP et le DINP excèdent les critères sans effet nocifs pour la vie terrestre et le iso-nonylphénol est supérieur aux critères de sols agricoles canadiens.
- Les granulats de caoutchouc chauffés à 70°C pendant 30 minutes démontrent un dégazage significatif d'alkylbenzènes.
- Le EPDM contient moins de substances que le SBRr (sauf pour le Cr et le Zn) et émet moins de COV que les granulats SBR.

Les auteurs recommandent :

- Un meilleur contrôle de la qualité des granulats par les manufacturiers, ce qui permettrait d'améliorer l'homogénéité du produit et la similitude au niveau de la composition chimique.
- Puisqu'il n'est pas possible de relier les émissions de substances chimiques mesurées avec l'exposition des joueurs, ils recommandent d'effectuer des mesures de la qualité de l'air au-dessus des terrains afin d'en déterminer les concentrations dans l'air extérieur.

3. Étude norvégienne de NILU, 2006 - State Programme for Pollution Monitoring

NILU, 2006 a mesuré les concentrations de substances chimiques dans l'air intérieur de trois gymnases en gazon synthétique en Norvège. Deux gymnases avaient des granulats SBRr (un récemment installé et l'autre installé depuis un an) et le troisième avait des granulats ETP. Ils ont mesurés les concentrations de particules (PM_{10} et $PM_{2,5}$), de COV et de HAP. Les échantillonnages ont été réalisés avec des pompes et différents milieux capteurs : filtres au quartz (particules), filtres de fibre de verre (HAP particuliers), échantillonneurs de polyuréthane (HAP gazeux), résines Tenax (COV) et tubes de silice imprégnés de 2,4-dinitrophénylhydrazine (composés carbonyles).

Les auteurs ont conclu que :

- Les concentrations de $PM_{2,5}$ des gymnases avec granulats SBRr se situent à des niveaux semblables à la norme nationale norvégienne de $20 \mu g/m^3$ tandis que celle du gymnase avec granulats ETP est semblable à celles de d'autres environnements intérieurs.
- Les poussières des gymnases avec granulats SBRr contiennent des quantités importantes de caoutchouc alors que celles du gymnase avec granulats ETP en contiennent beaucoup moins. Ils suggèrent que la possibilité de problèmes avec le latex via la peau ou les voies respiratoires soit évaluée par des spécialistes.
- Les concentrations de COVt sont plus élevées dans les gymnases avec granulats SBRr (surtout dans l'un des deux gymnases en raison de sa piètre ventilation) que celles du gymnase avec granulats ETP, ces dernières étant à la limite supérieure des niveaux normalement mesurés dans l'air intérieur. Les auteurs mentionnent qu'il faudra cependant d'autres études avant de formuler pour faire une recommandation quant aux types de granulats à utiliser à l'intérieur.

- Les concentrations des différentes substances ont été mesurées individuellement et sont présentées au Tableau 16.
- NIPHRH, 2006 et plusieurs autres auteurs ont utilisé ces données afin de réaliser une analyse de risques toxicologiques (voir annexe 2).

Tableau 16. Concentrations des différentes substances organiques volatiles mesurées dans l'air intérieur des gymnases norvégiens

Classes de COV	Substances chimiques	Concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		SBRr
alcanes	octane	5
	décane	5
	undécane	3 à 5
	dodécane	4
	pentadécane	2
cycloalcanes	éthylcyclohexane	6
cycloalcènes	styrène	3 à 6
	alpha-pinène	11
	limonène	3
	3-carène	2
	2,3-dihydro-1,1,3-triméthyl-3-phényl-1H-indène	2
aromatiques	toluène	15 à 85
	butenylbenzène (isomères)	83
	diéthénylbenzène (isomères)	66
	xylyène	10 à 26
	1,1'-biphényle	16
	pentenylbenzène (isomères)	7
	éthylbenzène	3 à 7
	hexenylbenzène (isomères)	16
	dérivés non identifiés de naphthalène	9
	1-propylbenzène	4
	1,2,3-triméthylbenzène	3
	2-méthylnaphtalène	2
	benzène	2
	acétone	10 à 15
	4-méthyl-2-pentanone (MEK?)	13
cétones	cyclohexanone	10
	éthylbenzène aldéhyde (isomères)	35
	3-phényl-2-propenal	10
aldéhydes	formaldéhyde	6
	acétaldéhyde	3 à 4
	hexanal	2
	pentanedioïque acide diméthyle ester	7
esters	2-butoxyéthanol	5
	1,2-propanediol	2
	1-méthoxy-2-propanol	2
alcools	acide benzoïque	19 à 81
	acide acétique	4
acides organiques	benzothiazole	16 à 32
	nitrométhane	4
	junipène	7

Source: NILU, 2006

4. Étude américaine du EHHI, 2007 - Organisation sans but lucratif qui a demandé au The Connecticut Agricultural Experiment Station de faire certaines analyses

Le EHHI, 2007 visait à évaluer les impacts des SBRr sur l'environnement et la santé à partir de l'utilisation comme terrains de sports, sous les aires de jeux et comme paillis en horticulture. Il a fait une revue de la littérature et des opinions des différents organismes. Les analyses effectuées par The Connecticut Agricultural Experiment Station visaient à quantifier les émissions de métaux et de composés organiques dans l'eau et les émissions de COV dans l'air par les granulats SBRr.

Les concentrations de métaux ont été mesurées dans l'eau :

- 2 g de SBRr ont été transférés dans 40 ml d'eau (eau normale et eau acidifiée à pH de 4,2) et agités à température ambiante pendant 18h et centrifugés pendant 10 min à 3 000 t/min.
- Quatre métaux ont été identifiés, Cd, Pb, Se et Zn, et leurs concentrations ont été mesurées en µg/kg de SBRr.

Les concentrations de COV émises par des granulats de SBRr provenant d'un terrain synthétique ont été réalisées de deux façons :

- 250 mg de granulats ont été maintenus dans une fiole à 60°C (pour simuler les températures extérieures élevées) pour une période de 42 minutes afin de recueillir les gaz émis sur un filtre SPME.
- 17 g de granulats ont été trempés statiquement dans 50 ml d'eau distillée et dé-ionisée durant sept semaines. Le lixiviat a ensuite été filtré puis transféré dans une fiole et le même protocole de mesure d'émission des gaz a été utilisé.
- Quatre substances ont été détectées : benzothiazole, butylated hydroxyanisole (BHA), n-hexadécane et 4-t-octylphénol et leur concentration a été mesurée en ng/ml d'air normalisé par g de SBRr.

Le EHHI, 2007 conclut que :

- Les SBRr ne sont pas inertes et relâchent des métaux, des COV et des COsV
- Les études qui indiquent un risque *de minimis* ne devrait pas s'appliquer aux terrains de jeux ayant des SBRr comme tels sous les modules de jeux
- Il manque certaines connaissances scientifiques et des études supplémentaires sont nécessaires. En attendant, il serait prudent de considérer qu'il y a exposition humaine aux SBRr.
- L'excès de zinc dans les SBRr fait en sorte qu'ils ne devraient pas être utilisés dans les jardins.

5. Étude américaine de Crain et Zhang, 2006 et Crain et Zhang, 2007 – Chercheurs universitaires de New York

Les auteurs ont récolté des granulats SBRr de deux terrains de sports avec gazons synthétiques et ont analysé les concentrations de HAP et les ont comparé aux valeurs-limites recommandées par le New York State Department of Environmental Conservation (DEC) pour les sols.

Les HAP ont été extraits à l'aide de solvants organiques dans un appareil Soxhlet tandis que les métaux ont été extraits à l'aide d'acide nitrique dans un four à micro-ondes à haute efficacité.

Ils ont observé un dépassement des DEC pour le BaA, BaP, BbKF, CHR, DBaH et le zinc (les concentrations de zinc ne sont pas présentées dans les deux articles des auteurs).

6. Étude américaine de J.C. Broderick & Associates, 2007

Les auteurs ont mesuré les concentrations de HAP dans l'air extérieur au-dessus et à proximité de deux terrains de football en gazon synthétique à New York (J.C.Broderick & Associates, 2007a; J.C.Broderick & Associates, 2007b). La méthode d'échantillonnage utilisée est celle recommandée par NIOSH.

Toutes les concentrations des 16 HAP mesurées étaient inférieures à la limite de détection de 600 ng/m³. Cependant, considérant que les concentrations de HAP mesurées normalement dans l'air extérieur sont de quelques ng/m³, cette limite de détection de 600 ng/m³ apparaît trop élevée pour porter un jugement.

7. Étude suisse de Müller, 2007

Le Ministère suisse de l'environnement a effectué une étude en 2007 afin d'évaluer si les métaux pouvaient être émis des granules lorsque celles-ci étaient soumises à des conditions météorologiques normales. Différents lysimètres représentant une surface artificielle d'un diamètre d'un mètre surmontant un bassin de recueillement des eaux de ruissellement ont été utilisés pour fin de mesures durant une période d'un an. Les auteurs ont conclu que les surface artificielles composées de granules n'émettaient pas de fortes quantités de zinc tel que décrit dans d'autres études et n'émettaient pas de HAP à des concentrations supérieures à celles des lysimètres contrôles, composés uniquement de gravier (Müller, 2007).

8. Étude française de Moretto, 2007 Organisme d'État en collaboration avec Aliapur (société privée pour la valorisation des pneus) et FieldTurf Tarkett

Les auteurs ont mesuré les impacts de gazons synthétiques sur l'eau et l'air. L'INERIS a utilisé leurs données pour réaliser une analyse de risques toxicologiques (voir annexe 2).

Les évaluations ont été faites sur quatre types de gazons complets (gazons complets avec la base, les fibres et des granulats SBRr, EPDMn ou ETP et sans granulats).

Mesure des impacts sur l'eau de drainage d'un point de vue environnemental :

- 42 substances (métaux, composés organiques et HAP (42 paramètres) mesurées dans l'eau qui a percolé à travers les gazons sur le terrain et sur un prototype en laboratoire après 15 jours, 1, 2, 3, 6, 9 et 11 mois d'arrosage
- Le pH des percolats recueillis en laboratoire est supérieur au pH de l'eau de pluie sur le terrain (7,1 à 8,5)
- Le relargage de métaux est faible au début et diminue avec le temps et tend vers les valeurs de l'eau de pluie ou du réseau d'aqueduc
- Les concentrations en cyanures, phénols et hydrocarbures sont très faibles ou inférieures aux limites de détection et les concentrations de 6 HAP (BaP, BbKF, BghiP, FLUOR, et IND) sont très inférieures aux valeurs-limites limites pour les eaux destinées à la consommation humaine (la norme française pour la Σ6HAP est de 1 µg/L).
- Toutes les mesures sont compatibles avec les exigences d'eau potable pour la France.

Mesure des émissions de substances des gazons pour évaluer les impacts sur la santé :

- Les mesures ont été réalisées par un laboratoire d'un ministère selon les méthodes de chambres d'essai d'émission utilisées pour la caractérisation des émissions chimiques dans l'air intérieur des produits de construction
- Mesure des COVt (y compris le formaldéhyde) émis par les matériaux à température ambiante au temps 0, 48h, 72h et 28 jours
- 112 substances ont été identifiées
- Les concentrations de COVt diminuent de façon importante en fonction du temps et sont les plus faibles après 28 jours.
- Contrairement à l'étude norvégienne, les concentrations de COVt les plus importantes sont émises par les granules d'EPDMn (490 mg/m³), de SBRr (134 µg/m³), de ETP (118 µg/m³) et finalement par le gazon artificiel sans granulats (8,3 µg/m³). Les résultats d'émissions des granulats EPDMn et SBRr sont qualifiées de faibles.

9. Étude hollandaise de Hofstra, 2007 (INTRON) – Étude d'une entreprise privée spécialisée en bâtiment pour différentes entreprises impliquées dans les gazons artificiels (seul le résumé de ce rapport rédigé en néerlandais est disponible en anglais)

Hofstra, 2007 a mesuré la contamination associée aux matériaux des gazons synthétiques et a réalisé une analyse de risques à la santé humaine (présentée à l'annexe 2). Il a analysé des granulats SBR de 3 usines de production de granulats et de 14 terrains aménagés depuis 1 à 3 ans. Il a mesuré les concentrations de métaux, de composés organiques et de HAP dans le matériau et extraites dans l'eau en laboratoire et sur le terrain, et comparé ces valeurs aux normes du Décret sur les matériaux de bâtiment. Cependant, peu de concentrations sont présentées dans le résumé.

Il a conclu que :

- Les principales substances chimiques contenues dans les granulats SBRr sont les métaux (surtout le zinc), les composés volatiles (xylènes), les benzothiazoles, les amines secondaires, les nitrosamines et les HAP.
- Les teneurs de composés organiques dans les matériaux respectent le Décret sur les matériaux de bâtiment, sauf pour le xylène. Les concentrations de substances émises dans l'eau respectent le Décret sur les matériaux de bâtiment, sauf pour le zinc selon le protocole d'échantillonnage et d'analyse recommandé par ce Décret. Il recommande de poursuivre les tests en conditions de terrain plus réalistes.

Hofstra, 2008 a poursuivi d'autres tests de zinc extrait des granulats SBRr en laboratoire et sur le terrain pour une entreprise de recyclage de pneus. Seul le résumé en anglais est disponible et peu de données sont présentées et expliquées. Il en conclut que le vieillissement des granulats SBRr après la durée de vie moyenne d'un gazon synthétique (10 à 15 ans) n'émettrait pas de zinc à des concentrations supérieures aux valeurs-limites pour les eaux de surface ni ne dépasserait la valeur-limite d'émission de zinc dans les sols.

10. Étude hollandaise de Van Bruggen et coll., 2007 – Étude de l'Institute of Public Health and the Environment

Cette étude visait à mesurer les nitrosamines dans l'air extérieur au-dessus de quatre terrains de soccer en gazon synthétiques avec des granulats SBRr, dont l'un était récemment installé et émettait une odeur de

caoutchouc. Plusieurs mesures ont été réalisées durant des conditions météorologiques favorables, pendant que les terrains étaient utilisés et à deux hauteurs (30 cm et 1 m du sol). Des mesures étaient également faites en amont du terrain afin de mesurer les niveaux en bruit de fond. Les granulats ont d'abord été soumis à des tests en laboratoire afin de connaître le type de nitrosamines qu'ils contenaient.

Les analyses en laboratoire ont été réalisées en portant ces matériaux à 70°C dans un contenant scellé et d'autres ont été faites directement sur les matériaux (extractions faites avec le dichlorométhane et avec une solution qui simulait la salive et qui est standardisée pour déterminer la sécurité des produits de consommation).

Les analyses dans l'air n'ont pas détecté de nitrosamines dans aucun des échantillons d'air (les limites de détection étaient de 8,4 ng/m³ à 16 ng/m³) pour 8 nitrosamines (NDMA, NMEA, NDEA, NDPA, NMOR, NPyR, NpiP et NDBA). Deux des tests réalisés directement sur les matériaux n'ont pas identifié de nitrosamines. Le dernier test a mesuré de petites quantités de trois nitrosamines (NDMA, NDEA et NMOR) qui sont inférieures aux limites prescrites pour des produits de consommation tels que des ballons (10 µg/kg).

Les auteurs en concluent que les nitrosamines sont des substances difficilement émises par les granulats de caoutchouc.

11. Étude espagnole de IBV, 2007- Institut en collaboration avec des compagnies de recyclage et une compagnie qui installe des gazons synthétiques

Les auteurs ont mesuré sur un échantillon de SBRr (70% camion et 30% automobile) :

- Les concentrations de substances chimiques dans les granulats,
- Les concentrations des substances chimiques relâchées dans l'eau,
- Les concentrations de COV et de HAP dans l'air directement sur le terrain (échantillonnage des HAP sur des filtres PUF et des conteneurs à haut volume, échantillonnage des COV dans des conteneurs et échantillonnage du sulfure d'hydrogène sur des tubes Drager)

Les méthodes d'échantillonnage et d'analyse ne sont pas présentées dans le document.

Les auteurs rapportent :

- La présence de métaux (Ba, Co, Cu, Pb, Zn), de benzène, trichloroéthène, toluène, xylène, styrène et de HAP dans les matériaux.
- Des concentrations de zinc et de DOC relâchés dans l'eau qui respectent les normes européennes.
- Toutes les concentrations de BTEX mesurées directement sur le terrain de sports sont très faibles, celles de HAP sont de l'ordre de l'air ambiant (le parlement européen propose une limite de 5 000 ng/m³ pour le BaP) et celles du H₂S sous la limite de détection de 300 µg/m³ (l'utilisation des tubes Drager n'est pas assez précise pour détecter des concentrations de H₂S dans l'air extérieur).

Les auteurs concluent que compte tenu des résultats obtenus, les granulats SBRr ne peuvent pas être considérés dangereux pour la santé humaine ni pour l'environnement lorsqu'ils sont utilisés dans les terrains de sports synthétiques.

12. Étude américaine de Bresnitz, 2008a et Bresnitz, 2008b – New Jersey Department of Health and Senior Services

Dans l'état du New Jersey, trois terrains de sports en gazon synthétique ont été fermés en 2007-2008 parce que les concentrations de plomb mesurées dans les fibres de nylon de ces gazons étaient jugées trop élevées par le New Jersey Department of Health and Senior Services.

Cet organisme a mesuré les concentrations de plomb dans les fibres des gazons de 1^{ère} génération et dans les fibres des gazons plus récents. Ils ont observé que les concentrations de plomb dans les fibres de PE ou de PP étaient négligeables, mais que les concentrations des fibres de nylon étaient importantes. De plus, la concentration de plomb dans les poussières récoltés sur un terrain de 1^{ère} génération était également importante. Des tests plus poussés ont permis d'identifier que le plomb présent dans les poussières était sous forme de chromate de plomb et que les taux d'absorption dans des solutions simulant le milieu gastrique et intestinal étaient semblables à ceux du plomb des peintures et du plomb des sols. Les méthodes d'analyses utilisées sont celles d'organismes américains reconnus.

Les terrains en question ont depuis été remplacés par de nouveaux gazons de fibres en PE ou PP qui ne contiennent pas de fortes concentrations de plomb. Le New Jersey Department of Health and Senior Services a émis une série de recommandations pour les autres terrains de sports synthétiques du même type encore en opération au New Jersey.

13. Étude américaine de TSI Testing Services inc pour Astroturf, 2008 – Laboratoire privé pour Astroturf

Ce laboratoire a récolté des fibres du gazon synthétique d'un parc du New Jersey et a analysé le chrome et le plomb dans le matériau ainsi que quelques métaux, dont le plomb, dans l'eau. La méthode d'échantillonnage et d'analyse dans l'eau était de faire passer 1 litre d'eau distillée à travers le matériau et d'analyser son contenu en plomb, ce qui est moins agressif que la méthode proposée par les normes européennes qui consiste à laisser le matériau en contact avec 1 litre d'eau dé-ionisée durant 24 heures en remuant, et de recommencer à nouveau avec le même matériau et un nouveau litre d'eau dé-ionisée durant un deuxième 24 heures; l'analyse du plomb se fait alors sur le deuxième échantillon d'eau (Deutsches Institut für Normung, 2006).

TSI Testing Services inc pour Astroturf, 2008 a mesuré des concentrations de plomb négligeables dans l'eau comparativement à la concentration de plomb dans la fibre.

14. Étude américaine de New York City Department of Health and Mental Hygiene, 2008b

Afin de répondre aux inquiétudes relatives à la présence de plomb dans les fibres de nylon de certains gazons synthétiques, le New York City Department of Health and Mental Hygiene, 2008b a mesuré les concentrations de plomb dans les fibres et dans la poussière présente à la surface des gazons synthétiques de quatre terrains de sports (2 terrains avec des fibres seulement et 2 terrains avec des granulats).

Les prélèvements de poussières ont été faites à l'aide d'un micro-vacuum et par un essuyage des poussières sur la surface du terrain. Les échantillons ont été analysés selon la méthode du U.S.EPA. Les auteurs ont comparé les quantités de plomb échantillonné par essuyage avec les niveaux recommandés par le U.S.EPA pour les surfaces.

Annexe 2: Résumé des analyses de risques à la santé humaine reliés aux matériaux des gazons synthétiques

15. Étude danoise de Nilsson et coll., 2005 – Ministère de l'environnement du Danemark

Nilsson et coll., 2005 ont évalué les risques associés au contact cutané des enfants aux pneus, aux cordes et aux tuiles de pneus recyclés utilisés dans des parcs (les enfants jouent littéralement dans les pneus). Ils n'ont considéré que l'exposition aux substances semi-volatiles via le contact de la sueur avec les substances extraites de ces produits à partir d'une solution qui imite la sueur. La solution de sueur artificielle a été préparée selon la norme ISO 12870 :1997. Elle est composée de 50 g d'acide lactique et de 100 g de chlorure de sodium dissous dans 900 ml d'eau et diluée à un volume final de 1 L. Des morceaux de pneus sont placés dans cette solution pendant 1 heure. Les substances chimiques sont ensuite extraites de ce liquide et mesurées selon différentes méthodologies.

Les auteurs ont détecté des concentrations mesurables des substances les plus solubles, soient le fluoranthène, le pyrène et deux amines aromatiques (6PPD et IPPD) alors que les autres HAP et amines aromatiques n'étaient pas détectés. Ils ont ensuite utilisé ces données afin d'évaluer l'exposition d'un enfant par contact cutané (200 cm² sur les bras, mains, jambes et pieds) durant une année à raison de 1 heure par jour et 5 jours par semaine. Cette exposition a ensuite été comparée aux plus faibles NOAELs. Les auteurs concluent qu'il n'y a pas de risques à la santé à partir du contact cutané avec ces substances chimiques présentes dans les matériaux des gazons synthétiques. Les facteurs de sécurité pour ces quatre substances variaient de 10 000 à 1 000 000.

Une estimation de l'exposition aux HAP présents dans le sable du parc a également été calculée par Nilsson et coll., 2005 mais apparaît moins pertinente pour une exposition aux matériaux des gazons synthétiques

16. Étude norvégienne du Norwegian Institute of Public Health and Radium Hospital (NIPHRH, 2006) - Organisme de santé publique

Le NIPHRH, 2006 ont évalué les risques que les gazons synthétiques intérieurs pouvaient présenter pour la santé des joueurs de soccer. Ils ont considéré :

- Les pires concentrations mesurées par NILU, 2006 dans les gymnases intérieurs (les données des gymnases avec granulats SBRr ont été retenues puisqu'elles sont plus élevées que ceux avec granulats EPDM),
- Une exposition élevée lors de l'entraînement, les parties et les tournois,
- 9 scénarios en considérant une voie d'exposition à la fois (ingestion de poussières ou inhalation de vapeur et de poussières ou contact cutané avec les poussières) et des taux d'exposition élevés,
- Ingestion de 1 000 mg de SBRr par entraînement et par match et 100% d'absorption,
- Inhalation de tous les COV mesurés dans le pire gymnase intérieur de NILU, 2006 (concentrations de BPC, alkylphénols et phtalates en phase gazeuse et la phase de PM₁₀, et concentrations de HAP pour la phase particulaire seulement) et taux d'inhalation à l'effort,
- Contact cutané : 1 mg/cm² et 100% absorption pour les BPC, HAP, alkylphénols et phtalates,
- Le tableau ci-dessous présente les 12 scénarios d'exposition (S1 à S9b) :

Gazons synthétiques utilisés pour les sports extérieurs à la Ville de Montréal

Revue de la littérature et évaluation des risques toxicologiques

Clientèle	Ingestion mg SBRr/kg p.c./j	Inhalation heures de jeu pour 6 mois	Volume respiratoire	Contact cutané (mg SBRr)	Risque de cancer
7-11 ans	23,7 (S9a) 93,4 (S9b)	288 (S4a) 48 (4b)	1,8 m ³ /h	71 (S8a) 280 (S8b)	
12-15 an		288 (S3)	3,6 m ³ /h	73 mg (S7)	
16-19 ans		260 (S2)	4,8 m ³ /h	109 mg (S6)	
>20 ans		676 (S1)	6 m ³ /h ¹	87 mg (S5)	20-40 ans
Absorption	100%	100%		100%	

Les auteurs ont choisi d'utiliser des NOAELs pour les différentes substances, ce qui est différent des RfC et RfD (sauf pour le benzène et le formaldéhyde où des RfC/RfD ou les risques de cancer de 10^{-5} – 10^{-6} ont été utilisés). L'exposition au bruit de fond n'est pas incluse.

L'analyse de risques démontre que cette comparaison exposition/NOAELs :

- Ingestion : il y a des marges de sécurité importantes.
- Inhalation : tous les COV sont inférieurs aux NOAELs (marges de sécurité variant de 75 pour le formaldéhyde à 300 000 pour les alkylphénols); la possibilité d'allergie/asthme associé à la présence de latex dans les pneus ne peut être éliminée dans l'air intérieur des gymnases mais est déjà présente dans l'air ambiant due à la circulation automobile; le risque de cancer dû au benzène est de 2×10^{-6} et celui de BaP est de l'ordre de 10^{-4} (ce risque est semblable ou plus faible que le risque associé au bruit de fond).
- Contact cutané : l'apport de BPC, HAP, phtalates et alkylphénols par contact cutané est extrêmement faible; cependant la déposition de particules de SBRr dans les chaussures pourrait être une source de contact allergique possible.

Le NIPHRH, 2006 conclut que :

- L'utilisation de terrains synthétiques dans des gymnases ne cause aucun risque élevé pour la santé des joueurs.
- Les concentrations relativement élevées de COVt dans l'air intérieur des gymnases pourraient contribuer à la perception d'un air « de piètre qualité » quoique cela ne constitue pas un risque élevé à la santé.
- Il est peu possible que les faibles niveaux d'allergènes de contact dans les gymnases posent un risque d'allergie de contact. On ne peut cependant pas éliminer la possibilité que des individus développent une allergie au latex ou que ceux qui ont déjà développé une telle allergie puissent présenter des symptômes d'asthme lorsqu'ils jouent dans de tels gymnases.
- Pour ces raisons, ils considèrent **qu'il n'est pas nécessaire de remplacer les granulats à l'heure actuelle. Cependant, en raison du manque de connaissances sur l'impact de la présence de latex dans le matériau de base, NIPHRH, 2006 recommande que les granulats SBRr ne soient pas utilisés lors du remplacement ou de l'ajout de granulats dans les aires de jeux intérieures.**

17. Étude américaine du OEHHA, 2007 - Agence d'état californienne pour une autre agence d'état, l'Integrated Waste management Board

L'*Office of Environmental Health Hazard Assessment* (OEHHA, 2007) de la Californie a effectué une analyse des risques associés à l'utilisation de produits à base de pneus recyclés pour les terrains de jeux (granulats et tuiles) et les surfaces de pistes extérieures.

Les objectifs visés étaient :

- Évaluer les risques des granulats SBRr utilisés dans les terrains de jeux :
 - Ingestion de granulats SBRr chez l'enfant de 3 ans
 - Ingestion involontaire de granulats SBRr chez les 1-12 ans

- Effectuer un test de sensibilisation aux granulats SBRr et EPDM chez l'animal.

Méthodologie utilisée :

- Chez les enfants de 3 ans, seule la voie d'ingestion a été considérée puisqu'il s'agit de scénarios à l'extérieur et que le contact cutané est négligeable :
 - Ingestion de 10 g de SBRr en une seule fois.
 - Utilisation des concentrations les plus élevées pour 49 substances chimiques à partir des études de lixiviation faites sur des pneus ou autres produits dérivés de pneus (en $\mu\text{g/g}$ de pneus).
 - Test fait en laboratoire pour évaluer le taux de lixiviation du matériau SBRr dans une solution semblable à la solution gastrique (échantillons de SBRr et échantillon contrôle placés dans une solution semblable à celle de l'estomac et agités à 37°C pendant 21 heures) pour 13 métaux et 9 CO semi-volatiles ont été identifiés (aucun HAP détecté)³³. Ces résultats ont également été utilisés pour l'analyse de risques chez l'enfant de 3 ans.
 - Les doses d'exposition ont ensuite été comparées aux différentes MRL (aigu, intermédiaire et chronique), RfD ou autres VTR.
- Chez les 1-12 ans : seule la voie d'ingestion de poussières via le transfert main-bouche a été retenue. Les concentrations d'exposition ont été mesurées en essuyant des surfaces de granulats SBRr et ont permis d'identifier la présence de zinc et de 4 HAP (aucun COsV).
- Des cochons d'Inde ont été exposés aux tuiles SBRr et EPDM et aux granulats SBRr selon le protocole standard pour identifier les sensibilisants de contact (U.S.EPA, 1998 cité par OEHHA, 2007) : 3 exposition d'induction de 6 heures séparées par une semaine et après deux autres semaines, 2 expositions de « challenge » de 6 heures après 24 et 48 heures pour vérifier les signes d'érythème.

L'OEHHA, 2007 a conclu :

- Chez les enfants de 3 ans : L'ingestion de 10 g de SBRr en une seule fois ne devrait pas présenter d'effets néfastes sur la santé au niveau des effets autres que le cancer et le risque cancérigène serait inférieur à 1×10^{-6} .
- Chez les 1-12 ans : L'ingestion involontaire de poussières de granulats SBRr suggère un très faible niveau de risque pour les effets autres que le cancer et le risque cancérigène associé au chrysène serait de $2,9 \times 10^{-6}$ (ce niveau est plus élevé que 1×10^{-6} , mais c'est 3 fois plus faible que le risque cancérigène associé au bruit de fond).
- Aucune sensibilisation n'a été observée lors des tests chez le cochon d'Inde ce qui suggère que les granulats SBRr et EPDM ne causeraient pas de sensibilisation de la peau chez l'enfant ni de réaction cutané chez les enfants déjà sensibilisés au latex.

18. Étude française de l'INERIS (cité par Moretto, 2007) – Établissement public sous la tutelle du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du territoire

L'INERIS a réalisé une analyse de risques à partir des données d'émission de COV (y compris les aldéhydes) dans l'air par les matériaux de quatre gazons synthétiques :

- 16 substances ont été retenues (>LDM et avec VTR) : aniline, Bz, cyclohexane, cyclohexanone, 1,2-DCBz, EBz, isoPBz, MIBK, NA, phénol, styrène, TCE, toluène, xylènes, acétaldéhyde, formaldéhyde.
- Les concentrations de ces substances ont été calculées à partir des données d'émission du jour 28 et d'un scénario intérieur dans un petit gymnase avec un taux de 0,5 changement d'air à l'heure

³³ Cette analyse en laboratoire a permis de déterminer un taux de lixiviation plus faible que le taux le plus élevé recensé dans la littérature portant sur les différentes réutilisations de pneus usagés qui était très élevé car il avait alors été réalisé à pH de 2,5.

- 4 scénarios retenus : travailleurs (568 h/année), sportifs haut niveau (2 920 h/année) et sportifs amateurs (440 h/année)
- Les concentrations dans l'air intérieur sont comparées aux VTR pour les effets aigus (données du jour 1 et 3), et pour des effets chroniques autres que le cancer (RfC et RfD, l'exposition bruit de fond n'est alors pas considérée) et pour les effets cancérogènes (un niveau d'excès de risque de 1×10^{-5}).
- **Conclusion** : les risques associés aux émissions de COV (y compris les aldéhydes) des matériaux des gazons synthétiques de petits gymnases peu ventilés ne sont pas préoccupants pour la santé des joueurs (sauf pour les travailleurs qui posent des gazons dans de petits gymnases peu ventilés), et encore moins lorsqu'on considère les gazons synthétiques des terrains de sports extérieurs. D'ailleurs, les concentrations estimées pour 9 COV et aldéhydes sont du même ordre de grandeur que les concentrations normalement mesurées dans l'air ambiant extérieur et intérieur.

19. Étude hollandaise de Hofstra, 2007 (INTRON) – Étude d'une entreprise privée spécialisée en bâtiment pour différentes entreprises impliquées dans les gazons artificiels (seul le résumé de ce rapport rédigé en néerlandais est disponible en anglais)

Hofstra, 2007 a évalué les risques à la santé des joueurs en considérant les concentrations de métaux, de composés organiques et de HAP mesurées dans des granulats SBRr et dans l'eau en contact avec les granulats sur le terrain et en laboratoire (voir à l'annexe 1).

Il a conclu que :

- Via l'ingestion : Les concentrations de métaux et de phtalates mesurées dans les matériaux respectent les valeurs-limites européennes pour les jouets.
- Via l'inhalation : Les concentrations déterminées dans cette étude ne posent pas de problèmes de santé chez les joueurs lors de l'utilisation des granulats SBRr à l'intérieur des gymnases et pour les terrains de sports extérieurs.
- Via le contact cutané : Les calculs de migration des HAP à travers la peau chez les joueurs (apport quotidien de 0,12 ng/kg p.c. en BaP) et les concentrations de 1-hydroxypyrene, un métabolite du pyrene, mesurées dans l'urine des joueurs indiquent que l'exposition supplémentaire aux HAP, si tel est le cas, est faible et à l'intérieur des limites de l'exposition aux HAP des autres sources (environnement et alimentation).
- On mentionne que, bien que les conditions de contact des joueurs avec les granulats SBRr ne le favorisent pas, les amines aromatiques des SBRr pourraient causer des réactions allergiques chez les personnes déjà sensibilisées et peut-être causer des irritations chez les personnes non sensibilisées
- **Conclusion : Il n'y a pas de risques significatifs pour la santé des joueurs dû à la présence de granulats SBRr.**

20. Étude américaine de Johns, 2008 – firme de consultation privée

Johns, 2008 a réalisé une analyse de risques toxicologiques associés aux gazons synthétiques avec granulats SBRr afin de répondre aux questionnements vis-à-vis le remplacement de terrains de sports naturels par des gazons synthétiques.

Le scénario retenu considère un enfant (8 à 10 ans) et un jeune (11 à 18 ans) qui jouent sur ce terrain pendant 3 heures/jour et 261 jours/an, durant 3 et 7 ans, respectivement. Les jeunes ingèrent des particules de SBRr, inhalent des COV et sont exposés par contact cutané aux substances chimiques du lixiviat des SBRr. Les taux d'exposition retenus sont ceux du U.S.EPA. Les concentrations d'exposition retenues sont les valeurs les plus élevées parmi les données de Plessner et Lund, 2004 et l'OEHA, 2007.

Les risques d'effets autres que le cancer sont inférieurs aux VTR et le risque cancérigène est d'environ 2×10^{-6} à cause de la présence de benzène et de HAP dans l'air intérieur. L'auteur a alors considéré que les faibles risques associés à ce scénario intérieur conservateur faisait en sorte que les risques des terrains de sports synthétiques extérieurs étaient négligeables.

BON DE COMMANDE

QUANTITÉ	TITRE DE LA PUBLICATION (version imprimée)	PRIX UNITAIRE (tous frais inclus)	TOTAL
	Gazons synthétiques utilisés pour les sports extérieurs à la Ville de Montréal : Revue de la littérature et évaluation des risques toxicologiques	5\$	
	NUMÉRO D'ISBN (version imprimée)		
	978-2-89494-721-0		

Nom

Adresse

No	Rue	App.
Ville		Code postal

Téléphone

Télécopieur

Les commandes sont payables *à l'avance* par chèque ou mandat-poste à l'ordre de la
Direction de santé publique de Montréal

Veuillez retourner votre bon de commande à :

Centre de documentation
Direction de santé publique
Agence de la santé et des services sociaux de Montréal
1301, rue Sherbrooke Est
Montréal (Québec) H2L 1M3

Pour information : 514 528-2400 poste 3646

**Agence de la santé
et des services sociaux
de Montréal**

Québec

