



Hiérarchisation des données probantes en vue d'évaluer les risques chimiques pour la santé du gazon synthétique

Angela Eykelbosh et Daniel Fong^a

Messages clés

- Les données probantes concernant les risques chimiques liés à l'exposition au gazon synthétique sont incomplètes ou peu concluantes en raison de recherches insuffisantes, des limites des méthodes actuelles ou du manque d'applicabilité des modèles d'étude nécessaires.
- Les publications actuelles reposent grandement sur des études de la composition chimique et des rejets chimiques pour évaluer les risques, tandis que les données probantes issues de la surveillance de l'exposition personnelle et de la biosurveillance, bien que moins courantes, sont plus utiles aux fins d'évaluation de l'exposition.
- Les études s'intéressant aux risques chimiques du gazon synthétique emploient diverses méthodes et approches, rendant ainsi plus difficile l'évaluation de l'état général des connaissances et de la qualité des données.
- Néanmoins, les forces et les faiblesses de ces approches peuvent être exploitées pour établir une hiérarchie des données probantes qui sera utile pour classer ces dernières dans le cadre de processus décisionnels.



Introduction

Ces 40 dernières années, le gazon synthétique est devenu chose courante dans les lieux publics et privés. Comparativement au gazon naturel, il est plus facile d'entretien et nécessite moins d'eau et aucun engrais, en plus d'offrir un accès aux surfaces de jeu à l'année. Il présenterait donc d'importants avantages pour la santé publique, puisque l'activité physique et l'accès aux espaces récréatifs seraient facilités^{1,2}; il manque toutefois de recherches approfondies sur ces bienfaits. Le gazon synthétique comporterait aussi des inconvénients allant des risques environnementaux (p. ex., lessivage de substances chimiques dans les cours d'eau) aux dangers physiques (p. ex., exposition à la chaleur et taux accru de blessures), en passant par les dangers toxicologiques. La perception publique des risques associés au gazon synthétique a pris de l'ampleur en raison d'un récent documentaire selon lequel il y aurait une incidence accrue de cancer chez les jeunes adultes s'adonnant au soccer sur du gazon synthétique³.

En raison de cet usage répandu et des préoccupations croissantes du public⁴, on demande souvent aux agences de santé publique de comparer les risques et les avantages des terrains de gazon synthétique. Cette activité s'avère toutefois difficile compte tenu du nombre

^a Spécialistes en application des connaissances scientifiques et en santé environnementale au Centre de collaboration nationale en santé environnementale

relativement peu élevé d'études s'intéressant aux effets du gazon synthétique sur la santé. De plus, les données sur la présence ou la libération de certains composés toxiques sont souvent abordées sans que soient présentés les scénarios d'exposition. Le présent document vise à faciliter la prise de décisions en santé publique : nous y présentons les forces et les faiblesses des méthodes d'étude des risques chimiques du gazon synthétique, et nous nous intéressons aux façons dont ces études contribuent à approfondir notre connaissance des risques pour la santé du gazon synthétique.

Le « niveau de données probantes » dans la recherche sur le gazon synthétique

Toutes les données probantes n'ont pas valeur égale. Dans le domaine de la santé publique, cette réalité est souvent représentée sous forme de pyramide ou de **hiérarchie des données**, dans laquelle les synthèses ou les méta-analyses d'études épidémiologiques ayant fait l'objet d'une évaluation critique sont au sommet ou au niveau supérieur des données probantes (figure 1A). En

revanche, les données qui ne proviennent pas directement des humains – comme celles issues d'études chez les animaux et d'autres épreuves en laboratoire réalisées sans référence directe aux humains – font partie du domaine des « renseignements de base ». Ces études préliminaires sont très utiles pour explorer les mécanismes physico-chimiques et physiologiques découlant de l'exposition à des substances toxiques, et elles pourraient même nous permettre de définir le danger et d'avancer des hypothèses sur ce qui pourrait se produire chez les humains, mais elles ne fournissent aucune donnée quant aux résultats réels sur le plan de la santé humaine.

Malheureusement, si on se penche sur la question de l'innocuité du gazon synthétique, la quantité d'études épidémiologiques ou réalisées chez des humains est limitée. En fait, le « niveau » inférieur de la pyramide – les renseignements de base – est actuellement le niveau le plus élevé de données probantes disponibles aux fins de discussion et de prise de décisions. C'est pourquoi il est important de comprendre la place de ces données probantes dans la hiérarchie et leur contribution au bagage de connaissances scientifiques, ainsi que d'être conscient de la façon dont les données probantes peuvent être comprises par un public non initié.

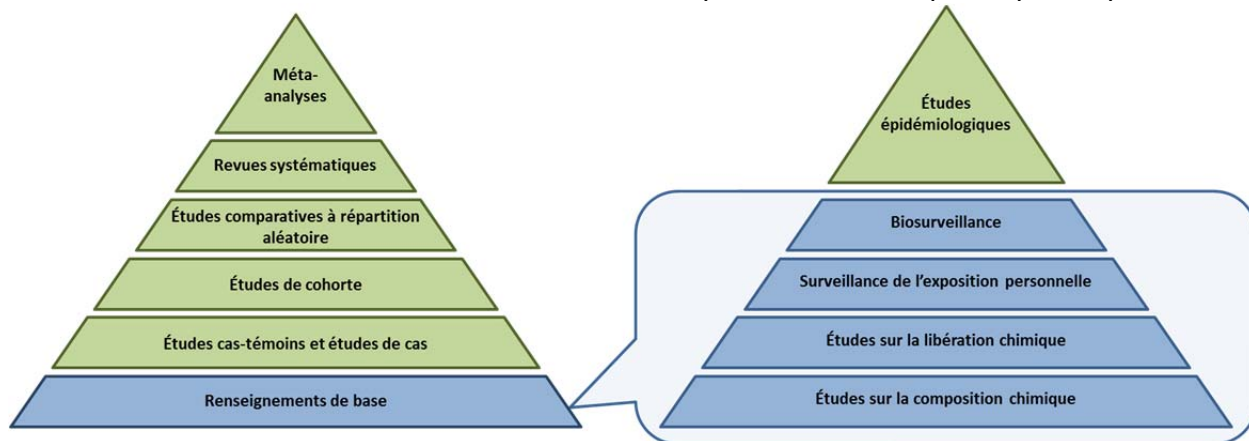


Figure 1. A) Hiérarchisation habituelle des données probantes en médecine fondée sur des données probantes. B) Pyramide modifiée montrant la hiérarchie des données probantes à l'intérieur du niveau inférieur pour ce qui est du gazon synthétique.

Dans le présent document, nous évaluons les types de données probantes qui ont servi à évaluer l'innocuité du gazon synthétique et les classons dans une nouvelle hiérarchie (figure 1, droite) tenant compte des forces et des faiblesses de

chaque type. Notre objectif n'est pas de faire une revue complète de la littérature sur le gazon synthétique, comme d'autres l'ont déjà fait^{1,2,5,6}, mais plutôt de décrire les types de données probantes disponibles et de fournir aux lecteurs

des renseignements supplémentaires sur leur évaluation.

Études sur la composition chimique : que trouve-t-on dans le gazon synthétique?

Des analyses chimiques de granulés de caoutchouc et de fibres de gazon synthétique ont permis d'identifier diverses substances organiques et inorganiques dangereuses pour la santé humaine, y compris des composés organiques semi-volatils et volatils, des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des métaux lourds⁷⁻¹¹. Selon le CIRC, bon nombre de ces composés sont des substances cancérigènes (connues, probables ou possibles). Il est toutefois important de distinguer un **danger** (une substance *potentiellement* préjudiciable) d'un **risque** (la probabilité d'entrer en contact avec ladite substance et de subir des préjudices). Les analyses de la composition chimique nous informent sur les dangers, mais dans le cas de certains composés se trouvant dans les composantes du gazon synthétique, le risque d'exposition est très faible. Par exemple, les métaux lourds se trouvant dans les granulés de caoutchouc sont analysés après « digestion » dans l'acide nitrique pur, puis irradiation par micro-ondes (Menichini et coll.⁹) jusqu'à libération complète des métaux, qui sont alors quantifiés par d'autres moyens. Étant donné que des conditions aussi extrêmes ne sont pas représentatives de ce qui se produit dans l'environnement ou dans le corps humain, il peut y avoir surestimation importante des risques si ces valeurs sont utilisées pour estimer l'exposition chez un humain.

Études sur la libération chimique : qu'est-ce qui s'échappe du gazon synthétique?

Les études sur les rejets chimiques servent à déterminer si les composés du gazon synthétique sont susceptibles d'être rejetés dans l'environnement dans diverses conditions. La quantification du type et de la quantité de substances qui s'échappent peut contribuer à

mettre en évidence des dangers, mais encore une fois, on dispose de peu d'information sur les risques. Habituellement, les études sur la libération chimique comprennent des épreuves de lessivage (libération dans l'eau), des études sur la qualité de l'air (libération dans l'air) et des études de simulation d'exposition aux liquides corporels.

Les **études de lessivage** portent sur la libération de contaminants dans un solvant (habituellement l'eau). Elles peuvent simplement consister en un mélange de la substance dans le solvant pendant une période donnée, ou nécessiter des études complexes de simulation durant lesquelles la substance est disposée en couches avec de la terre ou d'autres substances formant une colonne. Ces études de lessivage en colonne, qui visent à simuler le mouvement (ou la rétention) de contaminants dans le sol, sont généralement utilisées pour examiner les effets potentiels du gazon synthétique sur les eaux réceptrices, comme l'eau souterraine ou celle des ruisseaux^{12,13}. Puisque ces études sont généralement plus pertinentes pour la toxicologie aquatique que pour la toxicologie humaine, elles ne sont pas analysées ici.

Le percolat issu des composantes du gazon synthétique a aussi été étudié dans des épreuves de mutagenicité, un type d'analyse largement mal compris du public. Cette épreuve est un outil de dépistage qu'utilisent les toxicologues pour déterminer si un composé particulier a un *potentiel* cancérigène. Elle permet de déterminer si l'exposition de bactéries à un composé (ou à un mélange) entraîne des modifications ou des mutations permanentes et transmissibles dans le matériel génétique de la cellule. Des bactéries qui ne peuvent pas survivre ou croître sans supplémentation par certains nutriments en raison d'un gène défectueux sont incubées dans une solution contenant le matériel d'analyse. Si la solution est mutagène (c.-à-d. qu'elle entraîne des modifications au code de l'ADN), il se pourrait que certaines bactéries subissent des modifications de leur ADN qui permettent de rétablir la forme fonctionnelle originale du gène défectueux. Ces bactéries rétablies ou « révertantes » pourront

ensuite croître sans supplémentation; la solution est alors dite mutagène. De plus amples renseignements sur les détails des épreuves de mutagénicité sont disponibles dans d'autres sources¹⁴.

Plusieurs études ont montré que le percolat issu du gazon synthétique est effectivement mutagène chez les bactéries¹⁵⁻¹⁷. Cependant, la mutagénicité chez les bactéries n'est pas un indicateur certain de risque de cancer chez les humains. Bien que les termes *mutagénicité* (la capacité d'entraîner des modifications au code de l'ADN) et *cancérogénicité* (des modifications au code de l'ADN ou autres qui peuvent mener à un cancer) soient souvent utilisés de manière interchangeable, tous les agents mutagènes ne sont pas forcément cancérogènes dans les études chez les animaux, et tous les agents cancérogènes chez les animaux ne sont pas forcément mutagènes chez les bactéries¹⁴. En outre, les épreuves de mutagénicité n'offrent aucune information sur l'exposition ou la réaction chez l'humain. Par exemple, quelle quantité de la substance un joueur recevra-t-il par inhalation, par ingestion ou par absorption par la peau dans des conditions de jeu normales? Une fois la substance à l'intérieur, quelle incidence son absorption, son métabolisme et son élimination a-t-elle sur le risque d'effets néfastes? Il est bien sûr impossible d'évaluer ces facteurs par épreuve de mutagénicité. Nous ne cherchons pas à minimiser ni à écarter les données sur la mutagénicité, mais plutôt à les placer dans un contexte approprié en tant qu'outil de dépistage de premier passage.

Les **études sur la qualité de l'air** visent à identifier et à quantifier les gaz qui s'échappent du gazon synthétique dans diverses conditions (température et expositions aux rayons UV, âge et source des granulés, etc.). Ces études peuvent être effectuées en laboratoire à l'aide de chambres spécialisées qui recueilleront les gaz libérés, ou sur le terrain par la pose d'équipement d'échantillonnage de l'air au-dessus du gazon synthétique¹³. Ces données peuvent ensuite être utilisées dans des évaluations des risques pour estimer l'exposition par inhalation. Les contaminants volatilisés semblent être plus concentrés sur les terrains de jeu intérieurs¹⁸, être

plus élevés pendant le jeu en continu par opposition au jeu intermittent⁹, et diminuer au fil du temps avec l'usure¹⁹.

Enfin, les **études de simulation sur les liquides corporels** sont utilisées pour déterminer si les composantes du gazon libèrent des toxines lorsqu'elles entrent en contact avec les liquides corporels comme la sueur, le liquide gastrique ou le liquide pulmonaire^{11,20,21}. Le matériel d'analyse (granulés de caoutchouc, poussière, etc.) est incubé dans le liquide, après quoi on vérifie la présence de contaminants. La quantité de contaminants récupérés est utilisée pour estimer la **bioaccessibilité** des substances, ou leur libération dans des parties du corps. Les données sur la bioaccessibilité sont ensuite utilisées dans les évaluations des risques afin d'estimer l'exposition à des substances données par absorption dans ces parties du corps. Par exemple, Pavilionis et ses collaborateurs²⁰ ont constaté que même si les fibres d'un nouveau type de gazon contenaient des quantités relativement élevées de plomb et de chrome, seul le plomb était libéré dans les liquides simulés, une information qui a été prise en compte dans les analyses de risques subséquentes. Il importe toutefois de souligner que la bioaccessibilité (la quantité récupérable dans le liquide corporel) n'équivaut pas à la **biodisponibilité** (la quantité absorbée dans l'appareil circulatoire) ou à la **bioactivité** (la réaction au tissu ciblé). Par conséquent, la bioaccessibilité ne demeure qu'une approximation de la dose interne.

Surveillance de l'exposition personnelle

Bien que les études sur la qualité de l'air permettent d'identifier les substances présentes dans l'environnement, il y a une grande incertitude quant au degré de contact avec celles-ci auquel les humains sont exposés. Il est important de prendre en considération les façons dont les humains interagissent avec l'environnement ainsi que le transport et la transformation du contaminant.

La surveillance de l'exposition personnelle vise à dissiper cette incertitude par l'estimation de

l'exposition dans l'environnement immédiat du joueur, habituellement dans sa zone respiratoire personnelle (inhalation de toxines). L'importance de cette surveillance devient apparente lorsqu'on compare les données des échantillonneurs stationnaires à celles des échantillonneurs personnels sur le gazon synthétique, le gazon naturel et en milieu urbain^{9,18,22}. Simcox et ses collaborateurs¹⁸ ont constaté de grandes variations dans le type et la quantité de composés organiques volatils (COV) trouvés au-dessus de terrains intérieurs et extérieurs et de surfaces de gazon synthétique. Pour compliquer encore les choses, les auteurs ont aussi mentionné que les échantillonneurs d'air personnels fixés à la ceinture des joueurs indiquaient des concentrations *plus élevées* de certains COV que les échantillonneurs stationnaires se trouvant six pouces au-dessus de la surface, et que certains composés étaient présents en concentrations plus élevées au-dessus de surfaces de gazon naturel que de surfaces de gazon synthétique. Ces résultats appellent à une remise en cause des substances, parmi la vingtaine étudiées, qui proviennent réellement du gazon synthétique, plutôt que du milieu urbain ou des joueurs eux-mêmes (p. ex., équipement de sport ou produits de soins personnels). C'est seulement en combinant des mesures d'émission de gaz en laboratoire, d'échantillonneurs stationnaires sur le terrain et d'échantillonneurs personnels que les chercheurs ont été en mesure de repérer les COV liés au gazon synthétique²³. Ces travaux mettent en lumière l'importance de la collecte rigoureuse d'échantillons et de la validation de données lorsqu'on tente d'estimer l'exposition des joueurs par inhalation.

Certains travaux caractérisant l'exposition dermique (taux d'éraflures pendant le jeu) ont été publiés²⁴, mais il y existe trop peu d'études expérimentales pour appuyer l'exposition personnelle par ingestion.

Biosurveillance : quelles substances pénètrent dans le corps humain?

On dispose de données au sujet des constituants chimiques et de leur libération dans l'environnement, mais il en existe très peu sur la présence de ces substances chez les humains des suites de la pratique de sports sur le gazon synthétique. La *biosurveillance* fait référence à l'analyse de biomarqueurs connus d'exposition à des substances chimiques, habituellement soit les contaminants eux-mêmes, soit leurs métabolites, dont les prélèvements proviennent du corps humain (p. ex., sang, urine ou autres prélèvements biologiques). Il s'agit d'un moyen supérieurement efficace d'évaluer les expositions, puisqu'il intègre toutes les voies d'exposition et prend en considération les effets modérateurs de l'absorption, du métabolisme et de l'élimination. Les études de biosurveillance comportent toutefois des limites, principalement le temps et les coûts nécessaires pour comprendre parfaitement un biomarqueur et le valider avant qu'il puisse être utilisé, ainsi que les problèmes éthiques et logistiques associés à l'échantillonnage chez les humains²⁵. Les biomarqueurs peuvent aussi être uniques à un composé ou associés à un groupe de composés, ce qui peut compliquer l'attribution des expositions à un composé donné.

Une seule étude a évalué les changements concernant un seul biomarqueur d'exposition au gazon synthétique. Van Rooij et Jongeneelen²⁶ ont analysé le 1-hydroxypyrene, un métabolite associé à l'exposition aux HAP, dans l'urine de sept joueurs de soccer adultes et non-fumeurs avant, pendant et après la pratique du sport sur le gazon synthétique. Ils n'ont pas détecté des concentrations de 1-hydroxypyrene lié à la pratique du sport au-delà de celles associées à l'exposition alimentaire ou environnementale normale. Cette étude montre que même si les joueurs ont probablement été exposés à un mélange des nombreux HAP ayant été détectés à de faibles taux au-dessus du gazon synthétique, le fait de jouer sur cette surface n'a pas entraîné d'augmentation de la concentration de 1-hydroxypyrene dans l'urine. D'autres travaux seront nécessaires pour

étudier un plus grand nombre de contaminants et leurs biomarqueurs et pour appliquer cette méthode chez des enfants.

Études épidémiologiques : l'exposition est-elle associée aux résultats de santé?

L'épidémiologie environnementale est l'étude de la relation entre les expositions et l'occurrence de maladies chez les populations humaines. Les données qui en sont issues peuvent servir à guider les décisions concernant le gazon synthétique en alimentant les outils de décision comme l'évaluation des risques pour la santé humaine (ERSH)²⁷. Ces études ont toutefois des limites. Par exemple, elles ne peuvent pas répondre de façon exacte à la question : « Pourquoi une maladie survient-elle? » Bien que certaines puissent trouver un lien statistique entre certains facteurs de risque (p. ex., l'exposition au gazon synthétique) et un résultat de santé, elles ne peuvent pas écarter toutes les autres causes potentielles de ce résultat ou les facteurs y ayant contribué, ou encore tenir compte de ceux-ci. Pour prouver l'existence d'un lien de cause à effet, il faut étudier l'exposition dans des conditions expérimentales rigoureusement contrôlées et comparer des sujets exposés à des sujets non exposés (pour des raisons éthiques, ces expériences utilisent des modèles animaux). En plus de ne pas permettre de trouver un lien de cause à effet, les études épidémiologiques bien conçues peuvent être longues et coûteuses; il se peut donc qu'elles soient impossibles à réaliser dans les délais impartis pour une décision donnée.

À ce jour, il n'existe aucune donnée épidémiologique concernant le gazon synthétique. En réaction à un documentaire de 2015³, le Washington State Department of Health effectue un suivi auprès de certaines personnes pour mieux comprendre leur exposition au gazon synthétique et, enfin, pour déterminer si la prévalence de certains cancers est plus élevée chez les jeunes joueurs de soccer adultes que chez les autres jeunes adultes²⁸. Les résultats ne sont pas

attendus avant la fin 2016²⁹, mais ces travaux représentent la première étude épidémiologique des résultats de santé humaine associés à l'exposition au gazon synthétique.

Prise de décisions : synthèse des données et prédiction des risques

Une fois que les données disponibles ont été recueillies et examinées, d'autres méthodes ou outils de décision sont nécessaires pour regrouper les données et prédire les risques futurs pour le public. L'**évaluation des risques pour la santé humaine (ERSH)** est un processus par lequel des données réelles sont utilisées pour définir ou calculer ce risque théorique en fonction de diverses hypothèses. Les méthodes varient, mais elles comprennent généralement quatre grandes étapes : 1) les dangers pour la santé d'un ensemble précis de contaminants sont recensés; 2) les effets de l'exposition à différentes concentrations sont évalués (habituellement selon des études chez les animaux, mais aussi possiblement des études épidémiologiques); 3) une estimation réaliste de l'exposition chez les humains est produite; et enfin, 4) les risques pour la santé humaine sont caractérisés. La dernière étape de caractérisation des risques produit une estimation de la probabilité d'un résultat néfaste pour la santé humaine dans les populations étudiées. En ce qui concerne les toxines non cancérogènes, il y a un risque si la dose d'exposition estimée est supérieure à une dose de référence ou à un seuil établi au-delà desquels des effets nocifs sont possibles (quotient de danger > 1).

Le risque de cancer ne repose pas sur une valeur de référence, puisqu'il n'existerait aucun seuil pour les effets liés au cancer. C'est dire que même une faible exposition entraîne une légère augmentation du risque excédentaire de cancer à vie. Aux États-Unis, où ont été effectuées la plupart des études sur le gazon synthétique, le risque est jugé *de minimis* ou négligeable pour l'ensemble de la population s'il est inférieur à 1 pour 1 000 000

(1×10^{-6} , ou 1 cas supplémentaire de cancer pour 1 000 000 personnes exposées). Les estimations de risque supérieures à 1×10^{-6} nécessitent généralement des recherches plus poussées, et des mesures d'atténuation sont généralement recommandées lorsque l'estimation du risque est supérieure à 1 pour 10 000 (1×10^{-4}).

L'avantage de la plupart des ERSH, c'est qu'elles permettent aux chercheurs d'explorer les risques potentiels d'expositions multiples (séparément ou ensemble) dans divers scénarios d'exposition, ce qui serait extrêmement coûteux, impossible ou contraire à l'éthique dans la vraie vie. Cependant, les ERSH doivent reposer sur une combinaison de données réelles et de jugements ou d'hypothèses d'experts pour qu'une estimation définitive des risques soit possible. À mesure qu'est recueilli un plus grand nombre de données de meilleure qualité et que diminue le nombre d'hypothèses requises, les résultats gagnent en solidité.

Les ERSH concernant le gazon synthétique peuvent être complexes. En effet, les composantes du gazon émettent un amalgame de composés potentiellement toxiques. En l'absence de données toxicologiques sur une substance chimique en particulier, les chercheurs peuvent utiliser des données correspondant à un composé semblable dont on présume qu'il se comporterait de façon semblable. Même lorsque des données de qualité sont disponibles, il se peut que celles-ci (générées chez des modèles animaux pour des raisons éthiques) ne soient pas parfaitement représentatives de la situation chez les humains. Problème plus important encore : la caractérisation des expositions nécessite des estimations faites en fonction de données reflétant des différences en matière de sexe, d'âge, de temps de jeu, de type de contact (course, plongeon, glissade), de type de terrain (terrains récents qui dégagent des gaz ou terrains dégradés), des matériaux du terrain (granulés de caoutchouc traditionnels par opposition aux nombreuses nouvelles options), des conditions météorologiques (milieu chaud ou milieu froid), et ainsi de suite. L'ERSH doit aussi prendre en considération les façons dont les humains peuvent être exposés au contaminant durant

d'autres activités normales. Les données à ce sujet sont actuellement insuffisantes.

Même si certaines hypothèses sont requises dans toute ERSH, elles seront explicitement qualifiées comme telles et prudentes dans une étude bien conçue, c'est-à-dire que les chercheurs emploieront des valeurs susceptibles de surestimer le risque, de sorte que le « risque réel » se situe bien en deçà de l'estimation du risque résultant de l'analyse. Le principe de prudence peut être intégré à une ERSH de diverses façons : 1) fonder les analyses sur des données de la limite supérieure (p. ex., valeurs du 95^e centile, plutôt que des valeurs moyennes ou médianes; 2) surestimer l'exposition (p. ex., supposer qu'un athlète passera 12 heures par jour sur le terrain pendant 30 ans); 3) appliquer un « facteur d'incertitude » à tout paramètre pour lequel la fiabilité des données laisse à désirer; et 4) faire la somme des estimations de risque de différents composés, même quand il est improbable, d'un point de vue mécanistique, qu'elles aient un effet cumulatif.

Dans un certain nombre d'études (annexe A), les risques associés au cancer et autres des contaminants les plus toxiques du gazon synthétique ont été estimés, et des degrés variables de complexité ont été employés dans l'évaluation de l'exposition. À ce jour, les auteurs de la plupart des études ont fait état de niveaux de risque *de minimis* ou inférieurs pour les effets liés au cancer et autres chez la plupart des utilisateurs, soit des enfants, des adolescents et des adultes^{9,10,13,20,21,23,24,30,31}. Ces résultats sont frappants, en ce sens que des hypothèses très prudentes ont été émises dans le but de surestimer grandement les risques. Cependant, comme il a déjà été mentionné, les hypothèses requises dans des évaluations des risques semblables entraîneraient un certain degré d'incertitude. Par conséquent, même lorsque les estimations de risque sont faibles, les incertitudes repérées sont importantes pour d'autres activités de collecte de données. Par exemple, Pavilonis et ses collaborateurs²⁰ ont conclu que même si les métaux et les composés organiques semi-volatils (COSV) se trouvant dans le gazon synthétique représentaient des risques négligeables liés au cancer et autres pour un grand éventail de groupes

d'âge, les taux de plomb dans les produits de gazon étaient si variables que d'autres activités de collecte de données ont été jugées nécessaires pour vérifier si les valeurs utilisées dans l'évaluation étaient effectivement représentatives.

L'**évaluation des effets sur la santé** (EES) est un autre outil qui a récemment été appliqué au gazon synthétique. Les EES diffèrent des ERS de plusieurs façons : 1) elles utilisent des données à la fois quantitatives et qualitatives pour évaluer les risques; 2) elles prennent en considération les effets potentiels positifs et négatifs (y compris la toxicité) d'une activité ou d'une politique; et 3) elles adoptent un point de vue communautaire. Les méthodes varient, mais elles comportent généralement un processus en six étapes (dépistage, définition de la portée, estimation, rapport, surveillance et évaluation)³². Les objectifs d'une EES consistent à la fois à maximiser les avantages (et à réduire les risques) pour l'ensemble de la population et à réduire les disparités en santé dans les cas où les risques et les avantages sont répartis inégalement ou injustement dans une communauté³³.

Étant donné que les EES cherchent à rendre compte de la complexité de facteurs interreliés qui ont une incidence sur la santé communautaire, elles sont très intéressantes comme outil de prise de décisions en matière de politiques de santé publique. Elles sont cependant plus difficiles à entreprendre, et elles ont été critiquées en raison d'un manque de rigueur sur le plan méthodologique, de données probantes insuffisantes et de difficultés (subséquentes) à produire une évaluation fiable des risques et des avantages^{32,34,35}. Néanmoins, les évaluations des effets sur la santé sont de plus en plus couramment utilisées dans les politiques publiques. Le Bureau de santé publique de Toronto¹ s'est par exemple servi d'une EES pour examiner les risques et les avantages potentiels du gazon synthétique comparativement au gazon naturel en ce qui concerne des facteurs environnementaux (création d'îlots de chaleur urbains, malaises liés à la chaleur, exposition à des substances toxiques et gestion des eaux pluviales), des facteurs liés à

l'environnement bâti et au mode de vie (accès à des espaces récréatifs, accès à des espaces verts et répercussions sur les quartiers), ainsi que l'accès équitable pour les communautés défavorisées et les personnes handicapées. Les auteurs du rapport ont conclu que même s'il ne semble pas y avoir de preuves d'exposition à des substances toxiques, les gazons synthétiques devraient seulement être installés à des endroits où l'utilisation du gazon naturel n'est pas réaliste. Le gazon naturel a été valorisé en raison de sa capacité à piéger le carbone, à retenir les eaux pluviales et à rafraîchir l'environnement urbain, ce qui améliorerait la résilience dans un contexte de changement climatique, tout en assurant l'accès à des espaces verts naturels abritant une plus grande biodiversité. Comme c'est souvent le cas dans les EES, le manque de données tant au sujet du gazon synthétique que du gazon naturel signifie que ces affirmations sont contestables. Quoi qu'il en soit, l'évaluation des effets sur la santé demeure un exercice utile, puisqu'elle met en lumière les nombreuses façons dont l'utilisation du gazon synthétique, par opposition au gazon naturel, pourrait avoir une incidence sur les déterminants de la santé au-delà de la simple exposition à des substances toxiques.

Conclusions

Le présent document ne se veut pas une revue complète des données probantes sur les effets pour la santé associés au gazon synthétique, qui ont été analysés ailleurs^{1, 2, 5, 6}, mais plutôt une analyse critique des types de données probantes disponibles. Étant donné qu'il n'existe à ce jour aucune étude épidémiologique sur le gazon synthétique, les décideurs et les responsables des politiques doivent plutôt chercher à comprendre les risques qui y sont associés en se fiant à des analyses de laboratoire, à des bioessais et à des données limitées sur l'exposition humaine, lesquels ont été utilisés pour produire des évaluations des risques pour la santé humaine dont la conception et la qualité sont variables. Nous avons essayé ici de hiérarchiser ces types de données et de mettre en lumière pour chacun des forces, des faiblesses

et des éléments susceptibles de mener à une interprétation erronée.

Nous espérons que des initiatives futures permettront d'améliorer encore les données disponibles. Aux États-Unis, le plan d'action fédéral en matière de recherche³⁶ ainsi que l'étude de l'OEHHA préparée pour la Californie³⁷ permettront d'améliorer substantiellement les données disponibles aux fins d'évaluation de l'exposition, bien que le volet de biosurveillance soit limité. À mesure que ces nouvelles données seront publiées, le présent document pourra aider les décideurs à les classer selon une hiérarchie de données probantes et faciliter la prise de décisions concernant le gazon synthétique. Il importe toutefois de souligner que même si les données à venir contribueront à réduire le degré d'incertitude concernant l'évaluation des risques, on ne pourra pas avoir une réponse absolue pour ce qui est des risques pour la santé humaine. Des études épidémiologiques pourraient contribuer à réduire davantage ces incertitudes, mais elles ne pourront les dissiper complètement compte tenu des expositions complexes reçues chaque jour par les humains.

Remerciements

Les auteurs souhaitent souligner la contribution de Michele Wiens (CCNSE) et de la D^{re} Moliéhi Khaketla (Université de la Colombie-Britannique). Ils remercient aussi leurs réviseurs, le D^r Mark Lysyshyn (Vancouver Coastal Health), Gareth Mercer, Tony Mak (Université Concordia d'Edmonton), Nelson Fok (Université Concordia d'Edmonton), Barbara Lachapelle (Bureau de santé publique de Toronto), Ronald Macfarlane (Bureau de santé publique de Toronto) et la D^{re} Helen Ward (CCNSE).

Annexe A – Évaluations des risques pour la santé humaine (ERSH)

Auteurs	Matériel étudié	Contaminants	Utilisateurs	Voies d'exposition	Données à l'appui	Résultats
Ginsberg et coll., 2011 ²³	Air prélevé de quatre terrains intérieurs et d'un terrain extérieur en gazon synthétique.	COV, COSV, nitrosamines, MP ₁₀ , Pb.	Enfants (12 ans) et adultes (30 ans).	Inhalation	Surveillance stationnaire sur le terrain et hors du terrain, surveillance de l'exposition personnelle et études de dégagement gazeux en laboratoire.	Bien qu'un certain nombre de substances ont été trouvées en plus grande concentration sur les terrains de gazon synthétique (surtout à l'intérieur) que hors des terrains, les risques associés au cancer et autres attribuables à ces concentrations étaient de niveau <i>de minimis</i> ou inférieurs tant chez les enfants que chez les adultes. Une analyse détaillée de la qualité de l'air a été nécessaire pour distinguer les émissions provenant du gazon synthétique de celles provenant de contaminants urbains ou de celles provenant des joueurs eux-mêmes.
Kim et coll., 2012 ³⁰	Copeaux de caoutchouc provenant de terrains de jeu.	Métaux (Pb, Cr, Cd, Hg et Zn), toluène, éthylbenzène et phtalates.	Élèves de l'école primaire, intermédiaire et secondaire; adultes et enfants atteints de pica.	Inhalation, ingestion, absorption par la peau	Copeaux mesurés dans 50 écoles.	Les risques associés au cancer et autres étaient de niveau <i>de minimis</i> ou inférieur pour tous les utilisateurs, à l'exception des enfants atteints de pica, qui affichaient un taux faible de risques associés au cancer (1×10^{-4}) et autres.

Auteurs	Matériel étudié	Contaminants	Utilisateurs	Voies d'exposition	Données à l'appui	Résultats
Lim et Walker, 2009 ¹³	Granulés de caoutchouc provenant de deux terrains extérieurs, par temps chaud estival.	COSV, COV et MP.	Enfants	Inhalation	Études au vent, sur le terrain et sous le vent, et études de dégagement gazeux en laboratoire visant à recenser les composantes issues du gazon synthétique. Jeu simulé durant la prise de mesures de MP.	Par temps chaud, il est peu probable que les émissions de COSV, de COV et de MP posent un risque pour la santé publique comparativement aux expositions aux contaminants hors du terrain. Cependant, les températures sur le terrain étaient beaucoup plus élevées que sur les surfaces recouvertes de gazon naturel ou de sable.
Menichini et coll., 2011 ⁹	Granulés de caoutchouc provenant de 13 terrains extérieurs.	HAP	Enfants	Inhalation	Échantillonneurs stationnaires sur le terrain et hors du terrain et échantillonneurs personnels portés à la taille visant à simuler l'exposition chez les enfants.	Le risque estimé de cancer associé à l'exposition au benzo[a]pyrène est égal au niveau <i>de minimis</i> (1×10^{-6}).
Nilsson et coll., 2008 ¹⁰	Étude documentaire	Benzothiazole; dicyclohexylamine, cyclohexanamine, phtalate de dibutyle.	Jeunes adultes (16 à 19 ans).	Absorption par la peau et par la bouche seulement.	Études sur les rejets chimiques et études de lessivage pour certaines substances préoccupantes.	Aucun effet associé aux quatre substances chimiques à l'étude, peut-être à l'exception d'un risque de sensibilisation allergique.

Auteurs	Matériel étudié	Contaminants	Utilisateurs	Voies d'exposition	Données à l'appui	Résultats
NIPH, 2006 ³¹	Deux terrains intérieurs de gazon synthétique.	COV, poussière, phtalates et alkylphénols.	Enfants (7 à 11 ans), enfants plus âgés (12 à 15 ans), enfants d'âge junior (16 à 19 ans), adultes (20 à 40 ans).	Absorption par la bouche, par la peau et inhalation seulement chez les enfants; absorption par la peau pour tous les autres groupes.	Analyses sur la composition, études de lessivage, et études de dégagement gazeux en laboratoire, et échantillonnage de poussière par frottis.	Ni l'inhalation, ni l'exposition dermique, ni l'exposition orale aux contaminants énumérés ne poseraient un risque pour la santé publique, même si les auteurs mentionnent des risques non connus de souffrir d'asthme ou d'allergies aux composés présents dans la poussière sur les terrains intérieurs.
Pavilonis et coll., 2014 ²⁰	Nouvelles fibres, nouveaux granulés de caoutchouc, et granulés de caoutchouc de sept terrains existants.	HAP, COV, COSV, métaux (Ag, As, Be, Cd, Cr, Cu, Mg, Pb, Se, Ti, V).	Jeunes enfants (6 à 10 ans), enfants plus âgés (11 à 15 ans), adolescents (16 à 18 ans), adultes (≥ 19 ans).	Absorption par la peau, ingestion et inhalation.	Bioessais, études de dégagement gazeux en laboratoire.	Les résultats n'ont pas permis de mettre en évidence des risques associés au cancer et autres en lien aux métaux ou aux COSV, mais les auteurs ont souligné que les taux de plomb variaient grandement et ont constaté la bioaccessibilité du plomb dans des études de simulation d'exposition aux liquides corporels.

Auteurs	Matériel étudié	Contaminants	Utilisateurs	Voies d'exposition	Données à l'appui	Résultats
Vidair, 2010 ²⁴	Granulés de caoutchouc de terrains extérieurs.	Métaux liés aux MP _{2,5} , et COV sur des terrains extérieurs utilisés (séparément) par temps chaud, par opposition au gazon naturel.	Enfants (5 à 15 ans), jeunes adultes (16 à 18 ans) et adultes (19 à 55 ans).	Inhalation et infection cutanée.	Émissions d'air par temps chaud; présence de bactéries et taux d'éraflures sur les terrains de gazon synthétique comparativement aux terrains de gazon naturel ou de sable.	Aucun risque pour la santé publique attribuable aux MP _{2,5} , au plomb dans la poussière, ni aux COV, bien que des taux supérieurs d'éraflures soient susceptibles d'augmenter le risque d'infection cutanée. Cependant, une concentration moins élevée de bactéries a été trouvée sur le gazon synthétique comparativement au gazon naturel.
Vidair et coll., 2007 ²¹	Surfaces de terrains de jeu.	Al, As, Ba, Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Pb, Mn, Hg, Ni, Se, Zn; COV, COSV.	Enfants (1 à 12 ans).	Exposition orale et dermique.	Échantillonnage par frottis de surfaces de terrains de jeu et essais de digestion gastrique.	Risques égaux au niveau <i>de minimis</i> concernant l'ingestion unique par un enfant de trois ans de 10 g de morceaux de pneus déchiquetés d'après les valeurs publiées dans la littérature et un bioessai de digestion gastrique; risques de cancer légèrement supérieurs au niveau <i>de minimis</i> pour l'ingestion chronique de chrysène; aucune sensibilisation de la peau chez des cobayes.

References

1. Toronto Public Health. Health Impact assessment of the use of artificial turf in Toronto. Toronto, ON: City of Toronto; 2015 Apr. Available from: https://www1.toronto.ca/City%20Of%20Toronto/Toronto%20Public%20Health/Healthy%20Public%20Policy/Built%20Environment/Files/pdf/H/HIA_on_Artificial_Turf_Summary_Report_Final_2015-04-01.pdf.
2. Denly ER, Rutkowski K, Vetrano KM. A review of potential health and safety risks from synthetic turf fields containing crumb rubber infill. New York, USA: New York City Department of Health and Mental Hygiene; 2008. Available from: http://www.nyc.gov/html/doh/downloads/pdf/eode/turf_report_05-08.pdf.
3. Foudy J. Turf wars: How safe are the fields where we play? Bristol, CT: Entertainment and Sports Programming Network (ESPN); 2015. Available from: <http://espn.go.com/espnw/news-commentary/article/14206717/how-safe-fields-where-play>.
4. Claudio L. Synthetic turf: Health debate takes root. *Environ Health Perspect*. 2008;116(3):A116-A22. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2265067/>.
5. Cheng H, Hu Y, Reinhard M. Environmental and health impacts of artificial turf: a review. *Environ Sci Tech*. 2014;48(4):2114-29. Available from: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es4044193>.
6. Beausoleil M, Price K, Muller C. Chemicals in outdoor artificial turf: a health risk for users? Montreal, QC: Public Health Branch, Montreal Health and Social Services Agency; 2009. Available from: http://www.ncceh.ca/sites/default/files/Outdoor_Artificial_Turf.pdf.
7. Bocca B, Forte G, Petrucci F, Costantini S, Izzo P. Metals contained and leached from rubber granulates used in synthetic turf areas. *Sci Total Environ*. 2009;407(7):2183-90. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19155051>.
8. Llompart M, Sanchez-Prado L, Lamas JP, Garcia-Jares C, Roca E, Dagnac T. Hazardous organic chemicals in rubber recycled tire playgrounds and pavers. *Chemosphere*. 2013;90(2):423-31.
9. Menichini E, Abate V, Attias L, De Luca S, di Domenico A, Fochi I, et al. Artificial-turf playing fields: contents of metals, PAHs, PCBs, PCDDs and PCDFs, inhalation exposure to PAHs and related preliminary risk assessment. *Sci Total Environ*. 2011;409(23):4950-7. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21907387>.
10. Nilsson NH, Malmgren-Hansen B, Thomsen US, Institut T. Mapping, emissions and environmental and health assessment of chemical substances in artificial turf. Copenhagen, Denmark: Danish Environmental Protection Agency; 2008. Available from: <http://www2.mst.dk/udgiv/publications/2008/978-87-7052-866-5/pdf/978-87-7052-867-2.pdf>.
11. Zhang J, Han I-K, Zhang L, Crain W. Hazardous chemicals in synthetic turf materials and their bioaccessibility in digestive fluids. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2008;18(6):600-7. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18728695>.
12. Kruger O, Kalbe U, Berger W, Nordhauß K, Christoph G, Walzel H-P. Comparison of batch and column tests for the elution of artificial turf system components. *Environ Sci Tech*. 2012;46(24):13085-92. Available from: <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es301227y>.
13. Lim L, Walker R. An assessment of chemical leaching: releases to air and temperature at crumb-rubber infilled synthetic turf fields: New York State Department of Environmental Conservation; 2009. Available from: http://www.dec.ny.gov/docs/materials_minerals_pdf/crumbrubr.pdf.
14. National Toxicology Program. The Salmonella/E. coli Mutagenicity Test or Ames Test. Research Triangle Park, NC: US Department of Health and Human Services; 2016 [updated 2016 Aug 24; cited 2016 Oct 6]; Available from: <http://ntp.niehs.nih.gov/go/9407>.
15. Dorsey MJ, Anderson E, Ardo O, Chou M, Farrow E, Glassman EL, et al. Mutagenic potential of artificial athletic field crumb rubber at increased temperatures. *Ohio J Sci*. 2015;115(2):32. Available from: <https://library.osu.edu/ojs/index.php/OJS/article/view/4857>.
16. Ginsberg G, Toal B, Kurland T. Benzothiazole toxicity assessment in support of synthetic turf field human health risk assessment. *J Toxicol Environ Health A*. 2011;74(17):1175-83. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21797770>.
17. Schilirò T, Traversi D, Degan R, Pignata C, Alessandria L, Scozia D, et al. Artificial turf football fields: environmental and mutagenicity assessment. *Arch Environ Contam Toxicol*. 2013;64(1):1-11. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23007896>.
18. Simcox NJ, Bracker A, Ginsberg G, Toal B, Golembiewski B, Kurland T, et al. Synthetic turf field investigation in Connecticut. *J Toxicol Environ Health A*. 2011;74(17):1133-49. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21797768>.
19. Li X, Berger W, Musante C, Mattina MI. Characterization of substances released from crumb rubber material used on artificial turf fields. *Chemosphere*. 2010;80(3):279-85. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20435333>.

20. Pavilonis BT, Weisel CP, Buckley B, Liroy PJ. Bioaccessibility and risk of exposure to metals and SVOCs in artificial turf field fill materials and fibers. *Risk Anal.* 2014;34(1):44-55. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23758133>.
21. Vidair C, Haas R, Schlag R. Evaluation of the health effects of recycled waste tires in playgrounds and track products. Sacramento, CA: CalRecycle; 2007. Available from: <http://www.calrecycle.ca.gov/publications/Documents/Tires%5C62206013.pdf>.
22. Shalat SL. An evaluation of potential exposures to lead and other metals as the result of aerosolized particulate matter from artificial turf playing fields. Trenton, OH: New Jersey Department of Environmental Protection; 2011. Available from: <http://www.nj.gov/dep/dsr/publications/artificial-turf-report.pdf>.
23. Ginsberg G, Toal B, Simcox N, Bracker A, Golembiewski B, Kurland T, et al. Human health risk assessment of synthetic turf fields based upon investigation of five fields in Connecticut. *J Toxicol Environ Health A.* 2011;74(17):1150-74. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21797769>.
24. Vidair C. Safety study of artificial turf containing crumb rubber infill made from recycled tires: measurements of chemicals and particulates in the air, bacteria in the turf, and skin abrasions caused by contact with the surface. Sacramento, CA: CalRecycle; 2010. Available from: <http://www.calrecycle.ca.gov/publications/Documents/Tires%5C2010009.pdf>.
25. Pedersen M, Droz P, Nieuwenhuijsen MJ. Biological monitoring. In: Nieuwenhuijsen MJ, editor. *Exposure assessment in environmental epidemiology*. New York, NY: Oxford University Press; 2015. p. 113-38.
26. van Rooij JGM, Jongeneelen FJ. Hydroxypyrene in urine of football players after playing on artificial sports field with tire crumb infill. *Int Arch Occup Environ Health.* 2010;83(1):105-10. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19779733>.
27. Brunekreef B. Environmental epidemiology and risk assessment. *Toxicol Lett.* 2008 Aug 15;180(2):118-22. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18602771>.
28. Salyer S. State studies crumb-rubber in athletic fields, cancer cases. *HeraldNet.* 2016. Available from: <http://www.heraldnet.com/news/state-studies-crumb-rubber-in-athletic-fields-cancer-cases/>.
29. Cafazzo D. Are synthetic turf fields making young athletes sick? *The News Tribune.* 2016 Aug 13. Available from: <http://www.thenewstribune.com/news/local/education/article94654807.html>.
30. Kim H-H, Lim Y-W, Kim S-D, Yeo I-Y, Shin D-C, Yang J-Y. Health risk assessment for artificial turf playgrounds in school athletic facilities: multi-route exposure estimation for use patterns. *Asian J Atmos Environ.* 2012;6(3):206-21. Available from: <http://www.dbpia.co.kr/Journal/ArticleDetail/NODE01969434>.
31. Norwegian Institute of Public Health (NIPH) and the Radium Hospital. Artificial turf pitches - an assessment of the health risks for football players. Oslo, Norway: NIPH; 2006. Available from: http://www.iss-sportsurfacescience.org/downloads/documents/74wa3x7e22_fhiengelsk.pdf.
32. St-Pierre L. Introduction to HIA. Montréal, QC: National Collaborating Centre for Healthy Public Policy (NCCHPP); 2009 Nov. Available from: http://www.ncchpp.ca/docs/Introduction_HIA_EN_.pdf.
33. St-Pierre L. HIA and Inequities. Montréal, QC: National Collaborating Centre for Healthy Public Policy (NCCHPP); 2010 Mar. Available from: http://www.ncchpp.ca/docs/HIA_Inequities_EN_March2010.pdf.
34. Lock K. Health impact assessment. *Br Med J.* 2000;320(7246):1395-8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1118057/>.
35. Joffe M, Mindell J. Health impact assessment. *Occup Environ Med.* 2005;62(12):907-12. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1740937/>.
36. U.S. Environmental Protection Agency. Federal research on recycled tire crumb used on playing fields. Durham, NC: US EPA Research, Office of Science Information Management; 2016 [updated 2016 Dec 30; cited 2016 Oct 7]; Available from: <https://www.epa.gov/chemical-research/federal-research-recycled-tire-crumb-used-playing-fields>.
37. California Office for Health Hazard Assessment (OEHHA). Environmental health study of synthetic turf - August 2016 update. [Updated 2016 Aug 30; cited 2016 Oct 6]; Available from: <http://oehha.ca.gov/risk-assessment/fact-sheet-environmental-health-study-synthetic-turf>.

Le présent document a été produit en octobre 2016 par le Centre de collaboration nationale en santé environnementale, basé au Centre de contrôle des maladies de la Colombie-Britannique.

Il est permis de reproduire le présent document en entier seulement.

La production de ce document a été rendue possible grâce à une contribution financière provenant de l'Agence de la santé publique du Canada par l'intermédiaire du Centre de collaboration nationale en santé environnementale.

ISBN : 978-1-988234-10-6

© Centre de collaboration nationale en santé environnementale, 2016.

200 – 601 West Broadway
Vancouver, BC V5Z 4C2

tél. : 604-829-2551
contact@ccnse.ca



National Collaborating Centre
for Environmental Health

Centre de collaboration nationale
en santé environnementale

Pour nous faire part de vos commentaires sur le présent document, veuillez consulter le site :
<http://www.ccnse.ca/forms/commentaires>.

www.ccnse.ca