

Avis de santé publique sur les terrains de gazon synthétique



Avis de santé publique sur les terrains de gazon synthétique

est une production de la Direction régionale de santé publique du CIUSSS du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal.

1560, rue Sherbrooke Est
Montréal (Québec) H2L 4M1
514 528-2400
ciusss-centresudmtl.gouv.qc.ca

Coordination

Anne Pelletier
Sidonie Pénicaud

Recherche et rédaction

Fredrick Charbonneau
Mélyssa Deland
Margot Denis
Paul Nguyen Huu

Collaboration interne

Alexandre Barris
Fanny Beaudoin
Martine Lévesque
Marie-Chantal Locas
Billy Picard
Camille Roberge
Louis-François Tétreault
Chérine Zaïm

Collaboration externe :

Éric Lampron-Goulet (MSSS)

Révision linguistique et mise en page :

Rafika Naciri

Ce document est disponible en ligne à la section documentation du site Web :
<https://ccsmtlpro.ca/drsp/drsp-qui-sommes-nous/drsp-publications>

© Gouvernement du Québec, 2024

ISBN **978-2-550-97365-2** (En ligne)

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2024
Bibliothèque et Archives Canada, 2024

SOMMAIRE

Le présent avis sur les terrains de gazon synthétique est une mise à jour des avis précédemment publiés par la Direction régionale de santé publique de Montréal (DRSP) à propos de l'installation et de l'utilisation des terrains de gazon synthétiques à l'extérieur. Le contenu de cet avis a pour but principal d'outiller nos partenaires municipaux, ainsi que tout autre organisme interpellé par ces enjeux, dans leur prise de décision et de répondre aux préoccupations de la population montréalaise au sujet des impacts potentiels des terrains de gazon synthétique sur leur santé. Pour ce faire, l'avis a pour objectif de décrire les risques toxicologiques à la santé ainsi que divers enjeux sociaux et environnementaux tels que les risques à la santé liés à la chaleur (stress thermique) et certains effets indirects à la santé associés aux îlots de chaleur, aux changements climatiques et aux inégalités sociales.

D'un point de vue toxicologique, les données recensées dans la littérature scientifique ne permettent pas de croire qu'un risque significatif à la santé des personnes exposées existe. En effet, les conclusions actuelles montrent que les risques toxicologiques à la santé sont non significatifs ou négligeables du fait que l'exposition des individus (tous scénarios d'exposition confondus) n'est pas suffisamment importante. Des incertitudes ont toutefois été soulevées dans la littérature et davantage d'études sont nécessaires pour y répondre et améliorer la compréhension des risques à la santé.

Par ailleurs, la surface d'un terrain de gazon synthétique peut atteindre des températures significativement plus élevées que celles d'un terrain de gazon naturel sous des conditions similaires. Cette augmentation de température peut représenter un risque thermique pour les usagers du terrain. Avec l'augmentation prévue de l'intensité et de la fréquence des vagues de chaleur, le risque de stress thermique associé aux terrains de gazon synthétique pourrait être exacerbé.

Plusieurs effets néfastes à la santé sont associés aux changements climatiques et les terrains de gazon synthétique pourraient y contribuer. L'ajout d'un terrain de gazon synthétique dans une zone minéralisée à la place d'un terrain de gazon naturel supprimerait un îlot de fraîcheur, ce qui contribuerait à l'augmentation de la température ambiante et participerait donc à la formation d'îlots de chaleur. La capacité d'absorption et de rétention de l'eau de pluie par la surface seraient également diminuées comparativement à une surface naturelle. Dans le contexte des changements climatiques, les terrains de gazon naturel sont considérés être des infrastructures plus résilientes à ces derniers que les terrains de gazon synthétique et contribueraient à la réduction de leurs impacts sur la santé des collectivités montréalaises.

Au niveau populationnel, en ce qui a trait aux impacts sociaux des terrains synthétiques ainsi que sur le cadre bâti, le choix d'un tel terrain ne représenterait pas plus d'avantages qu'un terrain de gazon naturel. Les bénéfices pour la population en termes de bien-être physique et mental paraissent limités lorsqu'il est considéré que l'usage de ces installations est réservé aux sports organisés (ex. : soccer) plutôt qu'à une diversité d'usages sportifs et récréatifs (ex. : pique-nique). Par ailleurs, si la décision d'aménager un terrain de gazon synthétique ne tient pas compte des besoins de la population locale, cela pourrait mener à un accroissement des inégalités socioéconomiques et/ou à une augmentation du déficit d'espace vert dans un quartier.

Ainsi, il apparaît que le choix d'une surface de gazon synthétique ou naturelle devrait être guidé par une réflexion globale incluant les impacts à la santé physique et mentale, l'accès équitable aux espaces de jeux et aux espaces verts, les impacts environnementaux (biodiversité, pollution microplastique, etc.), les changements climatiques et la vulnérabilité des populations locales.

À la lumière des informations présentées, il en découle les recommandations suivantes :

- Pour les terrains sportifs à construire, favoriser les terrains de gazon naturel lorsque le contexte s'y prête ;
- Tenir une réflexion sur la mise en place de normes de qualité pour minimiser les concentrations de contaminants présents dans les composantes des terrains de gazon synthétique afin de limiter l'exposition des usagers et les possibles rejets dans l'environnement.

Lors du choix de la surface à mettre en place :

- En plus de considérer l'aspect économique, intégrer les aspects environnementaux et sociaux dans l'évaluation des options de surface, et ce, de façon indépendante pour chacun des projets de terrains sportifs. Cette évaluation se doit d'être faite de façon rigoureuse et accompagnée d'argumentaires transparents et disponibles pour consultation ;
- Prioriser des infrastructures adaptées aux changements climatiques afin de minimiser leurs impacts sur la santé de la population ;
- Évaluer l'acceptabilité sociale des projets en consultant la population locale et prendre en considération leurs besoins ainsi que les impacts potentiels sur les communautés.

Durant l'utilisation :

- Assurer un entretien adéquat pour promouvoir l'activité physique ;
- Mettre en place des mesures visant à optimiser la santé des usagers lors de l'utilisation des terrains de gazon synthétique :
- Sensibiliser les usagers sur les mesures d'hygiène à adopter pour limiter leur exposition aux substances chimiques,
- Adopter des pratiques d'utilisation des terrains permettant de prévenir le stress thermique chez les usagers et de les sensibiliser à ce risque à la santé.

Impacts environnementaux :

- Considérant les effets potentiels à la santé des micro et nanoplastiques, mettre en place des mesures de prévention de leur dispersion dans l'environnement :
- Pendant la durée de vie utile : à l'aide de systèmes de récupération des granules et par la sensibilisation des utilisateurs,
- En fin de vie : mettre en place d'une politique de recyclage des matériaux.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	II
1 INTRODUCTION	7
1.1 OBJECTIFS DE L'AVIS.....	8
1.2 MANDAT DE LA DIRECTION REGIONALE DE SANTE PUBLIQUE DE MONTREAL.....	8
2 SURVOL DES CARACTÉRISTIQUES DES TERRAINS DE GAZON SYNTHÉTIQUE.....	9
2.1 MATÉRIAUX RETROUVÉS DANS UN TERRAIN DE GAZON SYNTHÉTIQUE.....	9
2.2 NOMBRE DE TERRAINS SYNTHÉTIQUES À MONTRÉAL	10
2.3 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS ASSOCIÉS À UN TERRAIN DE GAZON SYNTHÉTIQUE OU NATUREL	10
2.3.1 <i>Entretien</i>	11
2.3.2 <i>Coûts</i>	12
2.3.3 <i>Analyse du cycle de vie</i>	13
3 RISQUES À LA SANTÉ HUMAINE	14
3.1 NOTIONS DE DANGER ET DE RISQUE	15
3.2 IDENTIFICATION DU DANGER	16
3.2.1 <i>Substances chimiques associées aux terrains de gazon synthétique</i>	16
3.2.2 <i>Critères de qualité existants à l'internationale</i>	18
3.3 ÉVALUATION DE L'EXPOSITION	20
3.3.1 <i>Notions de bioaccessibilité et de biodisponibilité</i>	20
3.3.2 <i>Scénario d'exposition</i>	21
3.3.3 <i>Facteurs influençant les concentrations de substances chimiques</i>	24
3.4 ESTIMATION DES RISQUES TOXICOLOGIQUES	25
3.4.1 <i>Effets à la santé</i>	25
3.4.2 <i>Populations vulnérables aux risques toxicologiques</i>	27
3.5 CONCLUSION ET LIMITATIONS DES ÉVALUATIONS DES RISQUES TOXICOLOGIQUES À LA SANTÉ.....	27
3.6 STRESS THERMIQUE ET COUP DE CHALEUR	28
3.6.1 <i>Populations vulnérables au stress thermique</i>	30
4 ÎLOTS DE CHALEUR, CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENT	31
4.1 AUGMENTATION DE LA TEMPÉRATURE, ACCROISSEMENT DU PHÉNOMÈNE D'ÎLOT DE CHALEUR ET RÉDUCTION DES ÎLOTS DE FRAICHEUR	31
4.1.1 <i>Effets à la santé</i>	32
4.2 PROJECTIONS CLIMATIQUES.....	32
4.3 AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET IMPACTS SUR LA BIODIVERSITÉ	33
4.4 AUTRES ALÉAS CLIMATIQUES ET INFRASTRUCTURES RÉSILIENTES.....	34
5 ÉTUDES PORTANT SUR LA PROMOTION DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE, LE CADRE BÂTI ET L'IMPACT SOCIAL.....	36
6 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	39
RÉFÉRENCES.....	41

ANNEXE 1 : METHODOLOGIE UTILISEE POUR RECENSER LES DONNEES DISPONIBLES DANS LA LITTERATURE SCIENTIFIQUE SUR LES TERRAINS DE GAZON SYNTHETIQUE	53
ANNEXE 2 : AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES TERRAINS DE GAZON NATUREL ET SYNTHETIQUE .	54
ANNEXE 3 : INTERVENTIONS D'ENTRETIEN A PREVOIR ET LEURS FREQUENCES	57

1 INTRODUCTION

Les terrains de gazon synthétique sont apparus dans les années 1960. Mis de l'avant comme une alternative fiable, moins dépendante des conditions climatiques, demandant peu d'entretien et permettant des saisons de jeu plus longues par rapport aux terrains de gazon naturel, cette option de recouvrement des terrains sportifs connaît un intérêt grandissant depuis leur apparition.

Ces terrains, composés entre autres de fibres synthétiques imitant le gazon et de granules de caoutchouc, ne font toutefois pas l'unanimité, notamment dans les médias, et ce en raison de certaines inquiétudes relatives à leurs impacts potentiels sur la santé et l'environnement.

En 2008, la Direction régionale de santé publique de Montréal (DRSP)¹ a effectué une revue critique de la littérature scientifique afin d'évaluer les risques toxicologiques associés à l'utilisation des terrains de gazon synthétique (DRSP, 2008). Selon les conclusions, les risques toxicologiques n'étaient pas significatifs et l'arrêt de la pratique de sports sur ce type de terrain n'était pas recommandé.

Entre 2013 et 2015, quatre autres documents ont été publiés par la DRSP en lien avec les terrains de gazon synthétique :

- Un rapport complétant l'information de 2008 en traitant des risques à la santé reliés à l'utilisation de gazons synthétiques à l'intérieur (DRSP, 2013) ;
- Un avis portant sur les îlots de chaleur (DRSP, 2014a) ;
- Une mise au point de certaines informations relatant des risques à la santé diffusés dans les médias (DRSP, 2014 b) ;
- Un avis spécifique au terrain de gazon synthétique du parc Rutherford (DRSP, 2015).

Dans ces documents, la DRSP conclut, comme en 2008, que les terrains de gazon synthétique ne présentent pas de risque significatif à la santé des joueurs et qu'ils permettent la promotion de l'activité physique.

¹ Auparavant la Direction de santé publique – Agence de la santé et des services sociaux de Montréal (DSP), maintenant Direction régionale de santé publique – Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal (DRSP).

Malgré ces constats de la DRSP, les terrains de gazon synthétique demeurent une source de préoccupations auprès de certains acteurs et de la population. Par ailleurs, depuis la réalisation de ces documents, la DRSP de Montréal s'est engagée à intégrer dans sa politique de santé publique les enjeux des changements climatiques et le concept de développement durable. De ce fait, cet avis vise la mise à jour de l'évaluation des risques toxicologiques à la santé tout en prenant en considération davantage de déterminants de la santé associés aux dimensions environnementales et sociales.

1.1 Objectifs de l'avis

Les préoccupations concernant l'installation et l'utilisation de terrains de gazon synthétique vont au-delà des risques à la santé. Plusieurs enjeux doivent être considérés dans le processus décisionnel entourant la mise en place de ces installations sportives et récréatives, tels que des enjeux politiques, économiques, techniques, légaux, sociaux et environnementaux. Le choix de la surface de jeu à implanter pour chaque projet demeure donc complexe et nécessite une compréhension approfondie de tous ces aspects.

Le présent avis a pour objectif de décrire les divers impacts de l'utilisation des terrains synthétiques sur la santé publique. Pour ce faire, les risques toxicologiques à la santé sont d'abord traités suivi des risques associés à la chaleur et au stress thermique. Dans un deuxième temps, certains impacts indirects à la santé en lien avec les changements climatiques et les inégalités sociales sont abordés. Ceux-ci se manifestent essentiellement par les enjeux liés aux îlots de chaleur, aux infrastructures résilientes et à l'équité sociale. Le contenu de cet avis vise à outiller davantage nos partenaires municipaux dans leur prise de décision ainsi que tout autre organisme montréalais interpellé par ces enjeux.

1.2 Mandat de la Direction régionale de santé publique de Montréal

La DRSP de Montréal œuvre au quotidien pour préserver et améliorer la santé de la population de l'île de Montréal par des interventions de promotion, prévention et protection de la santé. La DRSP de Montréal a le mandat légal d'informer la population et les décideurs des différents enjeux de santé, d'identifier les dangers et de mettre en place des mesures de protection. Elle a également le mandat d'assurer une expertise en prévention et en promotion de la santé et celui d'identifier les situations où une action intersectorielle s'impose pour prévenir différents enjeux de santé.

Compte tenu de son mandat légal, le présent avis a donc pour objectif d'informer les décideurs et la population des différents enjeux de santé en lien avec les terrains de gazon synthétique.

2 SURVOL DES CARACTÉRISTIQUES DES TERRAINS DE GAZON SYNTHÉTIQUE

2.1 Matériaux retrouvés dans un terrain de gazon synthétique

Tel que présenté dans la revue de la littérature de 2008 (DRSP, 2008), plusieurs générations de terrain de gazon synthétique ont été installées depuis leur mise en marché dans les années 60 et 70. Au fil des générations, la composition de ces terrains a évolué afin d'être la plus similaire aux caractéristiques d'un terrain de gazon naturel. La troisième génération, mise en marché en 1995, est à l'heure actuelle la seule génération de terrain de gazon synthétique installée à Montréal². En effet, bien qu'une quatrième génération de terrains de gazon synthétique existe, celle-ci n'atteint pas encore les niveaux de performance requis pour être approuvés par les fédérations sportives internationales comme la Fédération Internationale de Football Association (FIFA) (AQLM, 2019).

Brièvement, les terrains de gazon synthétique actuellement utilisés sont composés d'un tapis de fibres de polyéthylène plus longues et plus espacées que les générations précédentes et tissées sur un canevas de base de polypropylène. Ce tapis est rempli de petits granules de caoutchouc ou d'un mélange de granules et de sable sur une épaisseur d'environ quatre centimètres et aménagé sur un terrain bien drainé (DRSP, 2008).

Bien que plusieurs types de matériaux³ puissent être utilisés pour le remplissage des terrains, à Montréal, la plupart contiennent un remplissage de granules en caoutchouc recyclé appelé SBR (*Styrene Butadiene Rubber*). Ces granules, faits à partir de fragments de pneus recyclés d'origines variables, sont les plus souvent utilisés, car ils représentent l'option de remplissage la moins coûteuse (AQLM, 2019 ; FIFA, 2017).

² Claude Roy, ing. - Conseiller en aménagement au Service des grands parcs de la Ville de Montréal, communication personnelle, 27 janvier 2023.

³ Le matériau de remplissage des terrains de gazon synthétique est composé soit de copolymères de styrène-butadiène (*styrene-butadiene rubber*; *SBR*), de caoutchouc d'éthylène-propylène diène monomère (EDPM), d'élastomère thermoplastique (ETP) ou de matériaux organiques (AQLM, 2019, DRSP 2008). Pour davantage de détails sur la composition des terrains de gazon synthétique, se référer à la revue de littérature de 2008 (DRSP, 2008).

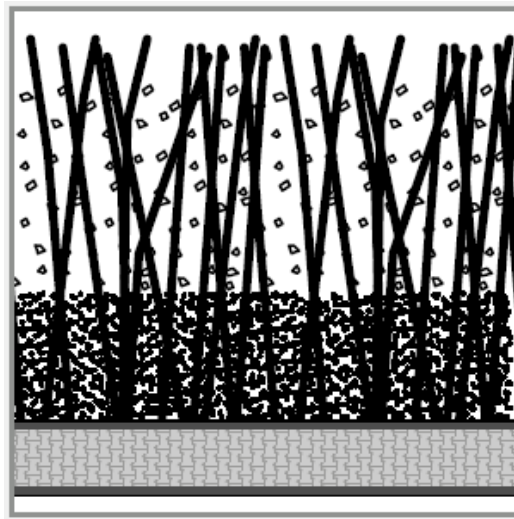


Figure 1 : Schéma des composantes d'un terrain de troisième génération tiré du guide de l'AQLM (2019). Les terrains de gazon synthétique sont généralement composés d'un tapis de fibres courtes et longues tissées sur un canevas de base, d'une fondation en gravier et de matériaux de remplissage (sable et granules de caoutchouc, provenant principalement de pneus recyclés⁴).

2.2 Nombre de terrains synthétiques à Montréal

Selon le Plan directeur du sport et du plein air urbains de la Ville (Ville de Montréal, 2018b), il y avait 353 terrains sportifs sur le territoire de Montréal en 2017. Parmi ceux-ci, 72 % (254 terrains) étaient de propriété municipale, et de ceux-ci 60 étaient des terrains de gazon synthétique. Puisqu'en 2008 un peu plus d'une trentaine de terrains sportifs à Montréal étaient aménagés en gazon synthétique, ce nombre a donc presque doublé en 10 ans (DRSP, 2008). Il est à noter que le nombre de terrains synthétiques appartenant à des organismes privés (ex. : établissement scolaire, club sportif, etc.) n'est pas comptabilisé dans ce plan directeur.

2.3 Avantages et inconvénients associés à un terrain de gazon synthétique ou naturel

Pour mettre en contexte divers éléments pouvant avoir un impact sur la décision finale d'implanter ou non un terrain de gazon synthétique, certains avantages et inconvénients de telles infrastructures sont présentés ci-dessous.

⁴ Comme observé sur le schéma, il est à noter que les granules de caoutchouc sont disposés sur les tapis de façon à soutenir les fibres de gazon. Ils peuvent bouger librement et se retrouver en surface durant la pratique des activités.

De prime abord, les principaux avantages des terrains de gazon synthétique rapportés dans la littérature ou présentés par les décideurs et les organisations sportives sont le temps de jeu hebdomadaire plus important, la saison de jeu plus longue et le régime d'entretien moins exigeant que pour les terrains de gazon naturel (AQLM, 2019 ; Ville de Montréal, 2018a). Dans son rapport sur les terrains de gazon synthétique, le scientifique en chef de l'état du New South Wales (NSW) en Australie évoque également l'avantage d'une consommation réduite en eau et une résistance plus importante à la dégradation (NSW, 2022). Le coût d'installation des terrains de gazon synthétique est quant à lui l'inconvénient le plus souvent mentionné pour ce type d'infrastructure sportive.

Un tableau présentant plus en détail les avantages et inconvénients des terrains de gazon synthétique par rapport aux terrains de gazon naturel est présenté en annexe (Annexe 2). Un aperçu de divers enjeux (l'entretien, les coûts, la performance sportive, l'irrigation et l'arrosage ainsi que la gestion des eaux de pluie) à considérer lors de la prise de décision quant au revêtement à mettre en place, autres que les thèmes abordés dans le présent avis, est présenté dans ce tableau qui se veut un outil de réflexion. L'entretien, les coûts et l'analyse du cycle de vie d'un terrain de gazon synthétique sont traités brièvement dans les sections qui suivent. Ces aspects du terrain de gazon synthétique ont des liens directs et indirects (impacts sur l'environnement et changements climatiques) avec la santé.

2.3.1 Entretien

Selon le Guide d'aménagement et d'entretien des terrains de soccer extérieurs de l'Association québécoise du loisir municipal (AQLM), les terrains de gazon synthétique, comme les terrains de gazon naturel, requièrent un entretien rigoureux pour maintenir leurs propriétés de performance sportive et optimiser leur durée de vie (AQLM, 2019). Puisqu'un terrain de gazon synthétique demande un investissement initial majeur, il est important de considérer les coûts d'entretien dans les calculs pour que ceux-ci ne soient pas négligés et que le terrain ait une durée de vie raisonnable. En effet, selon la FIFA (2021), un entretien adéquat favorise une plus grande durabilité du terrain et assure un niveau de performance de jeu optimal. Un entretien adéquat respectant le calendrier d'interventions recommandé permet de garder le terrain de gazon synthétique le plus sécuritaire possible et d'éviter une dégradation prématurée des fibres qui pourraient être exposées (Dickson et al., 2020). Comme mentionné dans le guide de l'AQLM (2019), les principales opérations d'entretien consistent à nettoyer la surface, à maintenir le niveau de remplissage et la fibre droite, et à détecter les déficiences mineures ou majeures. L'exécution de ces opérations demande une certaine expertise et des équipements spécifiques. Tout comme un terrain de gazon naturel, un terrain de gazon synthétique mal entretenu pourrait avoir des impacts à la santé, notamment en diminuant la sécurité des joueurs ainsi que l'attrait pour la pratique de sport.

L'AQLM a publié plusieurs documents et vidéos d'information à propos de l'aménagement et de l'entretien des terrains de soccer de gazon synthétique et naturel (AQLM, 2019). Le tableau de l'Annexe 3 décrit les différentes interventions d'entretien à prévoir et leurs fréquences pour chacun de ces types de terrain.

Il est intéressant de noter que dans le Plan directeur du sport et du plein air urbains de la Ville de Montréal, il est mentionné que de manière générale les terrains de soccer sur le territoire de Montréal, sont « mal ou pas assez entretenus par manque de connaissance, d'expérience et de ressources » (Ville de Montréal, 2018b). L'importance d'avoir un bon régime d'entretien afin d'éviter des investissements additionnels est également mentionnée. Considérant que, selon une évaluation qualitative des terrains de sport de onze arrondissements (naturels et synthétiques), seulement 38 % avaient une surface en bon état à Montréal, cet enjeu apparaît être des plus pertinent.

2.3.2 Coûts

Les coûts d'implantation varieront selon les paramètres spécifiques établis pour chaque projet : région, période de l'année, saturation du marché, taux de change et matières premières (AQLM, 2019). Par exemple, le guide de l'AQLM (2019) liste des prix d'installations de terrains de gazon synthétique entre 2016 et 2018 allant de 500 000 \$ à 5 000 000 \$ (pour différents niveaux de jeu : récréatif, compétitif et pratique libre) alors que la réfection d'un terrain de gazon naturel récréatif se chiffrait à 60 000 \$ en 2011. En 2013, le changement de localisation du terrain de mini-soccer au Parc La Fontaine, ayant une surface synthétique, ainsi que les coûts d'entretien se sont élevés à 1,18 M\$ (Ville de Montréal, 2018a). La réfection de la surface synthétique au pavillon de l'éducation physique et des sports de l'Université Laval est aussi un exemple intéressant. Cette surface a été refaite avec un nouveau système d'irrigation après 12 ans d'usage pour un coût de 1,2 M\$ (Boutin, 2023).

Selon l'organisme Carbon Tracker (2020), il existe un coût additionnel indirect aux terrains de gazon synthétique, dû au plastique généré, qui inclurait la production de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone (CO₂)), les coûts à la santé (entre autres associés à l'impact de l'industrie du plastique sur la qualité de l'air et ses effets à la santé), les coûts de collecte de matière résiduelle et la pollution des océans (excluant les microplastiques). La plupart de ces coûts ne sont pas considérés lors de l'évaluation d'un projet pour installer un terrain de gazon synthétique.

2.3.3 Analyse du cycle de vie

Une analyse du cycle de vie est une méthode d'évaluation normalisée, qui permet de déterminer l'entièreté de l'impact environnemental de certains produits, processus ou services allant de « l'extraction des matières premières, des processus de fabrication, du transport et de la distribution, de l'utilisation à la gestion du produit en fin de vie » (MELCCFP, 2024; NSW, 2022). Une revue de la littérature sur des analyses du cycle de vie des terrains de soccer, réalisée par le Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Ingénierie Durable et Écoconception (2021) pour la Ville de Sherbrooke, n'a pas pu conclure sur l'option la plus favorable entre une surface naturelle ou synthétique, dans le contexte québécois. Une des recommandations de cette étude est d'effectuer une étude spécifique portant sur le « contexte spatial, géographique et les pratiques de la Ville ». Dans le même ordre d'idée, une revue approfondie d'analyses du cycle de vie de terrains de gazon synthétique réalisée dans le cadre du rapport d'expert du NSW (NSW, 2022) a montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre les deux types de surface, mais que cela pourrait changer en fonction du temps de jeu et de l'intensité de l'usage du terrain.

L'analyse du cycle de vie d'un terrain de gazon synthétique devrait également inclure ce qui en est fait à la fin de son usage. Russo et al (2022) ont réalisé une évaluation comparative de l'empreinte environnementale de produit (Product Environmental Footprint⁵) entre un terrain de soccer en gazon synthétique et un terrain en gazon naturel. Dans cette évaluation, en plus de considérer la construction, l'utilisation et l'entretien, ils ont aussi évalué l'étape de fin de vie en intégrant la formule de l'empreinte circulaire afin d'évaluer les impacts évités de l'élimination des matériaux. Les résultats ont permis de constater que les technologies de récupération des matériaux doivent être améliorées pour pouvoir considérer un terrain de gazon synthétique comme une alternative durable au gazon naturel. D'autre part, Russo et al (2022) soulignent aussi l'importance d'adopter des technologies plus économes en eau et en énergie de concert avec une recherche d'espèces herbacées moins exigeantes à entretenir afin d'améliorer l'aspect durable d'une surface naturelle.

L'amélioration des technologies de récupération est également abordée dans un rapport de 2017 réalisé pour la FIFA. Il y est entre autres mentionné que l'absence de démarche concrète mise en place pour assurer le recyclage des surfaces désuètes est problématique (FIFA, 2017). Ainsi, bien que les fabricants affirment que les terrains de gazon synthétique sont recyclables, ceux-ci sont souvent jetés à la fin de leur vie utile dans des sites d'enfouissement ce qui pourrait mener à une dispersion dans l'environnement de contaminants et de micro- et nanoplastiques associés à la dégradation des granules de caoutchouc.

⁵ Une nouvelle méthode d'analyse du cycle de vie permettant aux entreprises de mesurer la performance environnementale d'un produit, en tenant compte de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement en amont des activités en aval (Russo *et al.*, 2022).

3 RISQUES À LA SANTÉ HUMAINE

En 2008, la DRSP a réalisé une revue critique de la littérature portant sur les concentrations de substances chimiques mesurées⁶ dans les terrains de gazon synthétique et sur les évaluations des risques toxicologiques pour les individus utilisant de tels terrains pour la pratique de sports extérieurs à Montréal. Cette étude a permis de constater 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 sécurité » (DRSP, 2008). Cette conclusion était basée sur les résultats des analyses de risques recensées à cette époque qui indiquaient que l'exposition aux différentes substances chimiques lors de la pratique de sport sur ces terrains (principalement des terrains de troisième génération) est faible et que les risques à la santé ne sont pas préoccupants. Dans ce rapport, la DRSP présente aussi, de façon très succincte, des risques à la santé associés aux contraintes thermiques et quelques mesures de précautions à mettre en place.

En 2013, un rapport a été produit pour compléter l'information présentée en 2008 en traitant des risques à la santé reliés à l'utilisation de terrain de gazon synthétique à l'intérieur. Pour ce faire, une revue de la littérature concernant les substances volatiles émanant de ces terrains et leur concentration dans l'air intérieur a été réalisée (DRSP, 2013). Dans ce rapport, la DRSP tire les mêmes conclusions qu'en 2008, soit « que les risques à la santé reliés à l'utilisation de gazons synthétiques aménagés à l'intérieur sont non significatifs pour les usagers ». En effet, bien que les études montrent que des composés volatils sont présents dans l'air des gymnases, les concentrations ne sont pas suffisamment importantes pour causer des effets à la santé. Il est toutefois mentionné qu'une « ventilation adéquate assurerait un maintien de la qualité de l'air et éviterait que des odeurs ou une nuisance soient perçues par les utilisateurs » (DRSP, 2013).

Depuis la réalisation de ces deux rapports par la DRSP, plusieurs études scientifiques portant sur les terrains de gazon synthétique et les enjeux de santé qui leur sont associés ont été réalisées par divers chercheurs et entités gouvernementales. Une proportion importante de ces études porte sur la composition chimique des matériaux utilisés pour la fabrication des terrains de gazon synthétiques alors qu'un nombre d'études plus restreint, souvent menées par de grandes agences gouvernementales, traite de l'exposition de la population et des risques à la santé.

⁶ Une quinzaine d'études ayant mesuré les concentrations de substances chimiques associées aux terrains de gazon synthétique ont été retenues dans cette revue de la littérature. Les substances mesurées incluaient les métaux, certains composés organiques (totaux, aliphatiques et aromatiques) et composés organiques volatils ou semi-volatils (incluant les phtalates, les biphényles polychlorés (BPC) et les benzothiazoles) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Les risques à la santé associés à ces substances ont été évalués dans au moins une des sept analyses de risques toxicologiques recensées.

Afin de mettre à jour les conclusions de 2008 et 2013, les études les plus récentes évaluant les concentrations de substances chimiques dans les matériaux et les médias environnementaux tels que les eaux de ruissellement, l'air, les poussières et les sols, ainsi que celles estimant les risques pour la santé selon une approche par analyse de risques toxicologiques⁷ ont été consultées. En complément, des études plus récentes traitant des répercussions des terrains de gazon synthétique sur le stress thermique et les coups de chaleur ont été consultées afin de mieux comprendre les risques associés aux contraintes thermiques.

Il est à noter qu'une incertitude quant aux risques à la santé persiste étant donné le nombre limité d'études recensées dans la littérature traitant spécifiquement des risques toxicologiques et le manque d'informations sur l'exposition réelle de la population. Cette incertitude est également associée à la méconnaissance des effets à la santé de certaines substances et contaminants émergents, tels que les nano- et microplastiques ainsi que les substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS).

3.1 Notions de danger et de risque

Avant d'aborder les résultats observés, la définition de certains concepts de toxicologie apparaît nécessaire afin de mieux comprendre les conclusions de cet avis quant aux risques toxicologiques. Entre autres, il est important de distinguer les notions de danger et de risque, deux termes souvent confondus.

Un danger est associé à un agent physique, chimique ou biologique qui a le potentiel d'engendrer des effets néfastes à la santé d'une gravité variable. Dans le cadre du présent avis, les dangers correspondent aux différentes substances présentes dans les terrains de gazon synthétique et reconnues pour avoir un potentiel d'effet néfaste pour la santé.

Un risque correspond à la probabilité que l'exposition à un danger se traduise par une conséquence négative à la santé. En d'autres mots, le risque combine l'importance des conséquences et la probabilité d'observer ces conséquences (INSPQ, 2016).

De façon simplifiée, il est généralement admis que la relation entre le danger et le risque peut s'exprimer selon l'équation suivante :

$$\text{Risque} = \text{Danger} \times \text{Exposition au danger}$$

⁷ « L'analyse de risques toxicologiques est un processus qualitatif et quantitatif qui vise à déterminer la probabilité qu'une exposition à un ou des agresseurs environnementaux, d'origine chimique, physique ou biologique, produise des effets néfastes sur la santé humaine. C'est une démarche mettant en relation des informations toxicologiques sur un contaminant avec les informations sur l'exposition humaine à ce contaminant, en vue d'estimer quantitativement le niveau de risque pour la santé humaine associé à cette exposition. » (INSPQ, 2012)

Le degré de risque, souvent qualifié de faible, modéré, élevé ou très élevé, dépend donc à la fois de la nature du danger et du niveau d'exposition (INSPQ, 2016).

Dans le présent contexte, il est donc nécessaire de déterminer si l'exposition des individus aux différentes substances chimiques présentes dans les matériaux qui composent les terrains de gazon synthétique est suffisamment importante pour qu'il existe un risque à la santé.

3.2 Identification du danger

3.2.1 Substances chimiques associées aux terrains de gazon synthétique

Comme mentionné précédemment, plusieurs études réalisées depuis 2013 avaient pour objectif d'identifier les différentes substances chimiques présentes dans les matériaux qui composent les terrains de gazon synthétique. Certaines études visaient également à évaluer les concentrations de substances chimiques transférées dans les différents médias environnementaux (eau, air, sol, poussières) ou absorbées par le corps humain lors d'une exposition par contact cutané ou par ingestion.

Dans les différentes études recensées pour le présent avis, les analyses chimiques ont été faites majoritairement sur les granules de caoutchouc recyclé de type SBR, le matériau le plus souvent utilisé pour la fabrication de ces terrains et fréquemment retrouvé sur les terrains de la Ville de Montréal⁸ (DRSP, 2008). Ces granules étant des fragments de pneus recyclés, ils se composent de polymères de caoutchouc (40-60 %), d'agents de renforcement comme le noir de carbone (20-35 %), d'huiles d'extension aromatique (≤ 28 %), d'agents de vulcanisation, d'antioxydants, d'antiozonants, de retardateurs et d'auxiliaires de traitement, tels que des plastifiants et des assouplisseurs (Celeiro et al., 2021 ; DRSP, 2008 ; Perkins et al., 2019). Les proportions de chacun de ces constituants dans les granules dépendent de la source à partir de laquelle le caoutchouc est fabriqué. La composition chimique des granules de SBR utilisés et les concentrations de substances mesurées sont donc très hétérogènes d'un terrain à l'autre et même parfois entre deux échantillons de granules prélevés sur un même terrain (Formela, 2022 ; US EPA, 2019).

⁸ Selon l'information disponible dans le rapport de la DRSP datant de 2008, 26 des 32 terrains de gazon synthétique aménagés à Montréal sont fabriqués avec des granules SBR (DRSP, 2008).

L'ascension de la popularité des terrains de gazon synthétique couplée à l'augmentation des préoccupations du public concernant les effets potentiels à la santé associés à ces terrains a fait croître un intérêt pour la caractérisation chimique de ces matériaux. En effet, un nombre important d'études se sont penchées sur la question de la composition chimique des terrains de gazon synthétique et de leurs granules de SBR. Parmi celles-ci, Perkins et al. (2019) ont réalisé une revue de la littérature dans laquelle plus de 300 substances chimiques ont été identifiées soit dans les granules, dans les vapeurs qui s'en dégagent ou dans les eaux de ruissellement. L'étude de caractérisation des terrains de gazon synthétique réalisée par le groupe d'experts du projet FRAP⁹ en 2019 (US EPA, 2019), a également permis de constater la grande diversité de substances chimiques présentes dans les matériaux composant ces terrains en identifiant jusqu'à 355 substances chimiques différentes dans les granules de SBR. Il faut également souligner que très peu d'études se sont penchées sur la composition chimique des fibres de gazon synthétiques. En effet, comme le mentionnent Murphy et Warner (2022), l'attention est davantage tournée vers les granules de SBR étant donné leur origine et les concentrations élevées d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et de métaux qui ont été mesurées précédemment dans ce matériau. Toutefois, des substances chimiques ayant un potentiel d'effets à la santé sont aussi présentes dans les fibres de gazon artificiel, telles que des phtalates et des PFAS (Murphy et Warner, 2022). Davantage d'études prenant en considération les fibres de gazon artificiel sont nécessaires pour mieux caractériser ce matériau.

Les substances identifiées dans la littérature peuvent être regroupées en quatre classes, soit : les métaux, les HAP, les composés organiques volatils (COV; incluant les hydrocarbures aromatiques monocycliques, les hydrocarbures aliphatiques chlorés et le formaldéhyde) et les composés organiques semi-volatils (COSV ; incluant les phtalates, les biphényles polychlorés (BPC), les benzothiazoles et les dioxines et furanes) (Armada et al., 2022 ; Celeiro et al., 2021 ; de Groot et al., 2017 ; Gomes et al., 2021 ; Grynkiewicz-Bylina et al., 2022; Kawakami et al., 2022 ; Massey et al., 2020 ; Moreno et al., 2023 ; Murphy et Warner, 2022 ; NSW, 2022 ; Perkins et al., 2019 ; Peterson et al., 2018 ; Schneider, de Hoogd, et al., 2020 ; US EPA, 2019 ; Zhang et al., 2023 ; Zuccaro et al., 2023). Ce sont d'ailleurs ces quatre classes qui ont été traitées dans les rapports de 2008 et 2013 de la DRSP (DRSP, 2008, 2013). Outre ces substances, certains contaminants émergents ont également été identifiés, et ce, dans un nombre d'études beaucoup plus limité, soit les micro- et nanoplastiques et les PFAS (Lauria et al., 2022 ; Murphy et Warner, 2022 ; Naim, 2020 ; NSW, 2022 ; US EPA, 2019 ; Zuccaro et al., 2023).

⁹ Pour répondre aux préoccupations de la population concernant les risques à la santé associés à l'utilisation de terrain de gazon synthétique, un groupe d'experts provenant de différentes instances gouvernementales des États-Unis a été créé. Cette équipe formée de chercheurs de l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (US EPA), du Centre de contrôle et de prévention des maladies et l'Agence pour les substances toxiques et le registre des maladies (CDC/ATSDR) et de la Commission de la sécurité des produits de consommation (CPSC) travaille sur le projet nommé *Federal Research Action Plan on Recycled Tire Crumb Used on Playing Fields and Playgrounds* (FRAP) depuis février 2016.

Bien qu'une variabilité importante des concentrations mesurées dans les matériaux ait été observée dans la littérature, globalement les concentrations rapportées sont cohérentes avec les plages de concentrations relevées dans le rapport de 2008 de la DRSP (DRSP, 2008). Le groupe d'experts du projet FRAP a également observé cette variabilité importante dans les plages de concentrations lors de la comparaison de leurs résultats avec ceux recensés dans la littérature (US EPA, 2019).

Il importe de noter que parmi toutes les substances chimiques identifiées, plusieurs sont reconnues avoir des effets cancérigènes ou d'autres effets à la santé tels que des substances neurotoxiques, mutagènes et des perturbateurs endocriniens. Il est également très important de souligner que les informations relatives à la toxicité pour la santé humaine des substances chimiques identifiées dans les matériaux composant les terrains de gazon synthétique sont limitées. En effet, des 355 substances examinées par le groupe d'expert du projet FRAP (US EPA, 2019), les données de toxicité sont connues pour seulement 167 d'entre elles. Ce manque d'informations et le recours à des estimations de la toxicité de certaines substances en fonction de la similarité de leur groupe fonctionnel avec d'autres substances représentent une source d'incertitude importante quant aux dangers associés aux matériaux composant les terrains de gazon synthétique.

3.2.2 Critères de qualité existants à l'internationale

Bien que les concentrations de substances chimiques soient très variables d'une étude à l'autre et qu'une incertitude demeure quant à l'exposition des usagers et la quantité de substances libérées dans l'environnement, le principe de précaution voudrait que des mesures restrictives et/ou des critères de qualité visant à limiter les concentrations de substances chimiques potentiellement nocives dans les composantes des terrains de gazon synthétique soient mises en place afin de réduire les risques à la santé et à l'environnement.

À ce jour, seuls l'Union européenne (UE) et le gouvernement néerlandais ont mis en place une réglementation portant directement sur les matériaux composant les terrains de gazon synthétique et les substances chimiques qui s'y retrouvent. En 2017, les autorités néerlandaises ont proposé que la sommation des concentrations de huit HAP¹⁰ dans les granules de caoutchouc soit restreinte à 17 mg/kg. En décembre 2020, après avoir étudié la proposition des Pays-Bas, l'UE a adopté un règlement restreignant à 20 mg/kg la sommation des concentrations de ces huit HAP dans les granules de caoutchouc (ECHA, 2019, 2021).

¹⁰ Le benzo [a] anthracène, le chrysène, les benzo [b], [j] et [k] fluoranthène, le benzo [a] pyrène, le benzo [e] pyrène et le dibenzo [a, h] anthracène, soit les huit HAP figurant parmi les substances cancérigènes de catégorie 1B dans le règlement de l'Union Européenne (UE, 2021)

Par ailleurs, en septembre 2023, l'UE a adopté de nouvelles mesures interdisant l'usage intentionnel de microplastiques tels que les granules de caoutchouc utilisés comme matériel de remplissage dans les terrains de gazon synthétique (UE, 2023). Puisqu'une période de transition de huit ans a été accordée, cette interdiction sera effective en 2031. Le gouvernement néerlandais a également annoncé son intention d'éliminer progressivement toutes les granules de caoutchouc d'ici 2030 (NSW, 2022).

Il est à noter que des normes allemandes¹¹ qui limiteraient les quantités de métaux, de phtalates et d'autres composés organiques dans les matériaux des terrains de gazon synthétique seraient également en vigueur. Celles-ci sont brièvement présentées dans le rapport du scientifique en chef de l'état du New South Wales (NSW) en Australie (NSW, 2022). Faute d'accès, elles n'ont toutefois pas pu être consultées pour en connaître les détails.

Plus largement, la présence de deux groupes de PFAS (PFOA et PFOS)¹², et possiblement le PFHxS¹³ actuellement étudié, dans les terrains de gazon synthétique est restreinte pour les 152 pays signataires de la convention de Stockholm, dont le Canada fait partie. Cet accord a entre autres pour objectif de contrôler les rejets de polluants organiques persistants dans l'environnement (Zuccaro et al., 2022).

Aucun autre règlement s'appliquant directement aux terrains de gazon synthétique n'a été recensé (Zuccaro et al., 2022). Cependant, il existe des standards permettant de mieux contrôler le contenu des granules et des fibres des terrains de gazon synthétique. La norme ASTM F2765-14 (ASTM, 2021a), révisée en 2021, établit une méthode permettant de mesurer si le niveau de plomb présent dans les fibres synthétiques est acceptable. Une autre norme, ASTM F3188-16 (ASTM, 2021b), révisée en 2021, sert plutôt à déterminer la quantité de métaux qui serait présente suivant une ingestion de granules, et ce, basé sur la méthode décrite à la section 8.3 de la norme ASTM F963-23 (ASTM, 2023). Le niveau acceptable maximal de la sommation des concentrations de huit HAP dans les granules est lui aussi contrôlé par la norme ASTM F3496-20 (ASTM, 2021c) et doit être inférieur à 20 mg/kg. Même si la norme européenne EN 71-3 (CEN, 2021) n'est pas spécifique aux terrains de gazon synthétique, mais porte plutôt sur les jouets pour enfants, certains producteurs de remplissage disent la respecter. Cette norme établit une méthode de mesure et des limites permises pour certains contaminants. Les autres normes associées aux terrains de gazon synthétique concernent plutôt des méthodes d'échantillonnage et les propriétés physiques des terrains.

¹¹ DIN 18035-6 (DIN, 2021) et DIN 18035-7 (DIN, 2019).

¹² PFOA : Acide perfluorooctanoïque ; PFOS : Acide perfluorooctanesulfonique

¹³ PFHxS : Acide perfluorohexanesulfonique

Il importe de noter que les terrains de gazon synthétique aménagés par le Service des grands parcs, du Mont-Royal et des sports sont soumis à une grille de conformité¹⁴. En plus des aspects techniques qui sont évalués dans cette grille, les normes énumérées ci-haut en lien avec la qualité chimique des granules de caoutchouc doivent être respectées.

3.3 Évaluation de l'exposition

L'évaluation de l'exposition consiste à mesurer ou à estimer l'ampleur, la fréquence, la durée et la voie d'exposition à une substance chimique présente dans l'environnement pour une population donnée. Étant donné l'aspect invasif et les possibles enjeux techniques (temps, coûts, complexité logistique, identification des biomarqueurs) ainsi que les enjeux éthiques entourant la mesure directe de l'exposition d'un individu, celle-ci est plus souvent estimée indirectement en considérant des concentrations mesurées dans l'environnement, des modèles de transport et du devenir des substances chimiques et des estimations de l'absorption humaine.

Lors du calcul de l'exposition, les différents scénarios représentatifs du contexte doivent donc être définis, et ce, de la façon la plus juste possible afin que ces scénarios soient réalistes et représentatifs de l'exposition réelle et qu'ils ne sous-estiment pas les risques. Cependant, puisqu'il s'agit le plus souvent d'estimations modélisées à l'aide d'équations mathématiques et de paramètres prédéfinis (ex. : poids corporel, surface de peau, taux d'inhalation, taux d'ingestion, etc.), des scénarios plus prudents (qui surestiment l'exposition et donc le risque) sont proposés de telle sorte que le risque réel se situe en deçà de l'estimation résultant de l'analyse (Eykelbosh & Fong, 2016).

3.3.1 Notions de bioaccessibilité et de biodisponibilité

Bien que plusieurs substances chimiques soient présentes dans les matériaux composant les terrains de gazon synthétique et que certaines de ces substances puissent être mobilisées dans l'environnement, l'estimation de la dose d'exposition effective (dose biodisponible) des individus dépend de plusieurs facteurs tels que le degré de contact et les paramètres physico-chimiques des substances.

¹⁴ Cette grille de conformité fait référence à la « Grille d'approbation de produit : revêtement en gazon synthétique 57 mm > 62 mm » qui nous a été transmise par courriel le 15 mars 2024 par M. Claude Roy, conseiller en aménagement à la Direction des sports du Service des grands parcs, du Mont-Royal et des sports de la Ville de Montréal.

Afin de déterminer si les différentes substances chimiques sont libérées lorsqu'elles entrent en contact avec les liquides corporels (sueur à la suite du contact cutané, liquide gastrique et salive après ingestion de granules et de poussières, liquide pulmonaire après inhalation de vapeur et de poussières) et ainsi quantifier la bioaccessibilité des substances (quantité récupérée dans le liquide corporel), quelques études ont été réalisées à l'aide de liquides corporels simulés. Les résultats de ces études ont permis de constater que les fractions de substances bioaccessibles sont faibles pour les métaux (< 3 %) et les HAP (< 10 %) (Armada et al., 2022 ; De Groot et al., 2017 ; Pavilonis et al., 2014 ; Pronk et al., 2020 ; Schneider, Bierwisch, et al., 2020 ; US EPA, 2019) et plus importantes pour les phtalates (environ 20 %).

Ainsi, la dose biodisponible, soit la quantité absorbée dans l'appareil circulatoire ayant un potentiel d'effets néfastes à la santé, ne représente qu'une fraction de la concentration d'une substance chimique présente dans les matériaux. Pour estimer cette dose biodisponible, les données de bioaccessibilité et des modèles mathématiques sont utilisés.

3.3.2 Scénario d'exposition

Différents scénarios d'exposition des individus aux substances chimiques présentes dans les matériaux composant les terrains de gazon synthétique ont été identifiés dans les études d'évaluation des risques toxicologiques recensées.

Tout d'abord, il est important de considérer l'ensemble des individus susceptibles d'entrer en contact avec les terrains de gazon synthétique. La plupart des évaluations de risques recensées ne considèrent que les joueurs, et plus souvent les joueurs de soccer. Alors que certaines études ciblent davantage les jeunes joueurs, d'autres incluent des tranches d'âges plus larges (de jeunes enfants à adultes). Outre les joueurs, certaines études ont également considéré les spectateurs de tous âges, les arbitres, les installateurs de terrain et les responsables de l'entretien. Certains groupes d'âge étant plus vulnérables que d'autres par leur comportement et leur physiologie (voir la section 3.4.2), la prise en compte de chacun de ces groupes permet une meilleure évaluation des risques pour l'ensemble des populations concernées.

Les voies d'exposition retenues dans les différents scénarios des études recensées incluent l'inhalation de vapeur et de poussières, l'ingestion de granules et de poussières ainsi que le contact cutané avec les matériaux (granules et fibres de gazon synthétique), les poussières et l'eau de ruissellement. La voie d'exposition la plus importante par laquelle les différentes substances chimiques peuvent pénétrer le corps humain dépend, en partie, des propriétés physicochimiques de ces substances. Par exemple, les substances volatiles (ex. : les hydrocarbures aromatiques monocycliques, les hydrocarbures aliphatiques chlorés et le formaldéhyde) ou semi-volatiles (ex. : les phtalates, les BPC, les benzothiazoles et les dioxines et furanes) sont plus susceptibles d'être absorbées par inhalation alors que les métaux sont davantage susceptibles d'être absorbés par l'ingestion non intentionnelle de granules de caoutchouc ou de poussières par un contact main-bouche. La voie d'exposition peut également être influencée par les caractéristiques et les comportements des individus, comme l'âge, le sport pratiqué, l'utilisation de gants et de protecteur buccal et la position sur le terrain. Par exemple, les jeunes joueurs peuvent avoir plus de contact main-bouche que les joueurs plus âgés ou les gardiens de but peuvent avoir plus de contact cutané avec la surface de jeu qu'un joueur d'une autre position (Perkins et al., 2019).

La fréquence d'exposition fait référence au nombre d'heures de jeux par jour couplé au nombre de jours par semaine et au nombre de semaines par année où des activités sont pratiquées sur des terrains de gazon synthétique. Dans la plupart des études retenues, afin d'établir un scénario prudent et s'assurer ainsi de ne pas sous-estimer les risques, des fréquences d'exposition importantes ont été utilisées. Par exemple, dans leur évaluation des risques, Schneider et al. (2020) considèrent une exposition de quatre heures par jour, 24 jours par mois et dix mois par année pour des joueurs adultes, ce qui représente un nombre important d'heures de jeux par année (960 h/an).

Étant donné les difficultés techniques et logistiques que cela peut représenter, l'ampleur du contact avec une substance chimique est rarement mesurée directement. Celle-ci est donc souvent estimée à partir de modèles mathématiques, de paramètres physiologiques prédéfinis (ex. : surface de peau exposée, taux d'inhalation, etc.) et d'hypothèses de contact (ex. : quantité de granules de caoutchouc ingérés par jour).

Ainsi, la dose d'exposition d'un individu à un contaminant est calculée à partir de l'ensemble des paramètres définis précédemment et est normalement calculée en mg/kg_{pc}/jour. Étant donné que la dose d'exposition est plus souvent estimée à partir d'une quantité limitée d'informations et d'hypothèses plutôt que mesurée directement, le résultat est empreint d'incertitudes. Cette incertitude est également due au fait que l'exposition peut varier dans le temps et l'espace en fonction des comportements des individus et la variabilité environnementale des concentrations (Goupil-Sormany et al., 2023). Il convient également de noter que l'activité physique pratiquée par les individus sur les terrains de gazon synthétique peut modifier la toxicocinétique¹⁵ des substances chimiques (Gryniewicz-Bylina et al., 2022). Cet élément n'étant pas considéré dans les modèles mathématiques, ceci augmente l'incertitude quant aux niveaux d'expositions des individus.

Par ailleurs, comme le mentionnent Zhang et al. (2023), il est difficile d'évaluer avec précision l'exposition cumulée des individus, étant en contact avec les terrains de gazon synthétique, aux substances chimiques nombreuses et variées et les effets possibles de cette exposition à la santé. En effet, l'exposition simultanée à de nombreuses substances chimiques, l'absence d'information quant à leurs possibles interactions (effet de synergie, de potentialisation ou d'antagonisme) et les multiples voies d'exposition potentielles rendent le calcul de l'exposition très complexe.

Jusqu'à maintenant, les études portant sur l'exposition sont peu nombreuses. Comme mentionné précédemment, l'exposition aux substances chimiques présentes dans les matériaux de terrain de gazon synthétique dépend d'une multitude de facteurs directement liés aux paramètres d'exposition, mais aussi aux différents facteurs modulant le danger (Perkins et al., 2019). Le manque d'informations quant à l'exposition réelle des individus représente donc un facteur d'incertitude très important. Cette problématique a d'ailleurs été adressée dans la deuxième partie de l'étude du groupe d'expert du projet FRAP (US EPA et CDC/ATSDR, 2024). En effet, ce deuxième volet avait pour objectif spécifique d'évaluer l'exposition des individus en contact avec les terrains de gazon synthétique afin d'avoir une meilleure compréhension de l'exposition potentielle des usagers, notamment la manière dont les individus entrent en contact avec les matériaux, la fréquence et la durée de ce contact ainsi que la bioaccessibilité des contaminants (voir la section 3.3.1). Bien que les résultats de cette étude ne permettent pas d'éliminer toutes les incertitudes en lien avec l'exposition des individus, ceux-ci permettront de combler certaines lacunes spécifiques et d'améliorer les futures études d'évaluation des risques.

¹⁵ « Branche de la toxicologie qui étudie de devenir d'une substance toxique dans l'organisme. La toxicocinétique s'intéresse plus particulièrement aux processus biologiques qui influent sur le devenir de la substance toxique dans l'organisme, soit l'absorption, la distribution, le métabolisme et l'excrétion » (Office québécois de la langue française, 2023).

Dans un autre ordre d'idée, Perkins et al. (2019) soutiennent que l'évaluation de la toxicité des substances chimiques présentes dans les terrains de gazon synthétique permettrait d'établir un ordre de priorité pour une évaluation plus approfondie de l'exposition et conséquemment des risques que ces substances représentent.

3.3.3 Facteurs influençant les concentrations de substances chimiques

Tel que mentionné précédemment, la composition des matériaux constituant les terrains de gazon synthétique est hétérogène. Les concentrations des substances chimiques observées peuvent donc varier d'un terrain à l'autre ou, dans une moindre mesure, sur le même terrain (US EPA, 2019). De plus, outre la composition chimique des matériaux, plusieurs facteurs peuvent avoir un impact sur les concentrations de substances chimiques mesurées dans les granules de SBR, dans les vapeurs qui émanent des terrains de gazon synthétique ou dans l'eau de ruissellement. En effet, plusieurs études ont démontré que l'exposition à différents facteurs externes peut réduire la résistance des matériaux, augmenter leur dégradation et, de ce fait, augmenter la libération de substances chimiques dans l'environnement telles que des HAP, des métaux et des COV (Canepari et al., 2018; Celeiro et al., 2018; Cheng et al., 2014; Mohammed et al., 2023; Moreno et al., 2023; NSW, 2022; Toronto Public Health, 2015; US EPA, 2019; Wachtendorf et al., 2017; Zhang et al., 2021, 2023). Les facteurs environnementaux majeurs affectant la dégradation des granules sont l'ensoleillement et l'exposition aux rayons ultraviolets, l'âge et l'usure mécanique du terrain (l'abrasion due aux piétinements par exemple), les conditions météorologiques et climatiques (précipitations, températures, cycle gel-dégel, etc.) et l'exposition à des agents oxydants. À ces facteurs s'ajoutent aussi de possibles intrants provenant des milieux environnants (déposition de poussières, ruissellement, équipement des utilisateurs, etc.).

Comme démontré par Wachtendorf et al. (2017) l'évolution de la concentration des différentes substances chimiques tout au long de la durée de vie du terrain de gazon synthétique est spécifique à la substance étudiée, variable d'un échantillon à l'autre et dépendante de différents facteurs externes. L'évaluation de la dégradation d'un terrain et la prédiction des concentrations de contaminants au fil du temps s'avèrent donc très difficiles.

Une incertitude importante relativement aux concentrations de substances chimiques dans les terrains de gazon synthétique tout au long de leur durée de vie est donc présente. Davantage d'études portant sur le comportement des matériaux dans des conditions réelles d'utilisation ainsi que sur l'évolution des concentrations de contaminants au cours du temps permettraient de mieux définir le portrait toxicologique des matériaux utilisés. Des comparaisons avec des terrains de gazon naturel évoluant dans des milieux similaires permettraient également de mettre en perspective le niveau d'exposition (et ultimement le niveau de risque) que les terrains de gazon synthétique représentent.

3.4 Estimation des risques toxicologiques

La caractérisation des risques correspond à l'étape où les propriétés toxicologiques des substances chimiques sont mises en relation avec les doses d'exposition afin d'estimer la probabilité de la survenue d'un résultat néfaste pour la santé des individus. Cette estimation doit normalement être réalisée pour chaque type d'effets (effets cancérogènes, effets chroniques non cancérogènes, effets aigus) et pour chaque substance identifiée (INSPQ, 2012).

L'évaluation des risques à la santé est un processus pouvant être complexe et le cas des terrains de gazon synthétique n'y fait pas exception. En effet, l'exposition simultanée à une multitude de substances et l'absence de données toxicologiques pour plusieurs d'entre-elles ainsi que la grande quantité de scénarios d'exposition possibles force l'utilisation d'hypothèses et engendre un niveau d'incertitude élevé.

Comme mentionné précédemment, malgré les préoccupations grandissantes de la population en lien avec les terrains de gazon synthétique et les risques à la santé, un nombre relativement restreint d'études d'évaluation des risques à la santé à proprement dit a été réalisé à ce jour. En effet plusieurs études identifient des substances chimiques présentes dans les terrains de gazon synthétique, donc des dangers, mais elles n'évaluent pas l'exposition des individus et n'estiment pas les niveaux de risques à la santé des individus.

3.4.1 Effets à la santé

Les risques à la santé sont évalués différemment selon le type d'effet toxicologique identifié. Pour les substances cancérigènes, la dose d'exposition est multipliée par une valeur toxicologique de référence (VTR) appelée coefficient de cancérogénicité. Ces VTR permettent d'estimer le risque de cancer dans la population pour une exposition tout au long de la vie. Ainsi, le risque de cancer estimé représente un risque excédentaire de cancer pour toute la durée de vie. Au Québec, ce risque est jugé acceptable ou négligeable pour l'ensemble de la population s'il est inférieur à un cas de cancer pour 1 000 000 de personnes exposées (INSPQ, 2012). En ce qui concerne les substances non cancérigènes, le risque est considéré comme étant négligeable si le ratio entre la dose d'exposition estimée et la dose de référence (ou VTR) est inférieur à un (1) pour une seule substance ou pour la somme des ratios de diverses substances ayant un effet toxique pour un même organe (INSPQ, 2012). Il est important de noter qu'un résultat supérieur à un (1) indique que des effets néfastes sont possibles, mais n'en mesure pas la probabilité (Eykelbosh, 2021).

Parmi les études d'évaluation des risques recensées, quelques-unes montrent la présence de faibles risques pour la santé, particulièrement chez les enfants et les athlètes (Cakmak et al., 2020 ; Graça et al., 2022 ; Marsili et al., 2014 ; Mohammed et al., 2023 ; Zhang et al., 2021, 2023). Toutefois, dans la majorité des études consultées, l'évaluation des risques mène à la conclusion que les risques pour la santé associés à une exposition aux substances chimiques présentes dans les terrains de gazon synthétique sont non significatifs ou négligeables, et ce, autant pour les effets cancérogènes que pour les autres effets à la santé (Bleyer, 2017; Cheng et al., 2014; de Groot et al., 2017 ; ECHA, 2017 ; Eykelbosh, 2021; Janes et al., 2018; Moreno et al., 2023; NSW, 2022; Pavilonis et al., 2014; Peterson et al., 2018; Pronk et al., 2020; Schneider, Bierwisch, et al., 2020; Toronto Public Health, 2015 ; Verschoor et al., 2021). Enfin, certains auteurs présentent des conclusions plus nuancées en soutenant que, malgré la présence ou l'absence de risques significatifs démontrés, davantage d'études sont nécessaires pour réduire les incertitudes (Mohammed et al., 2023; Murphy et Warner, 2022 ; NSW, 2022 ; Perkins et al., 2019 ; Toronto Public Health, 2015).

Par ailleurs, comme le mentionnent Watterson (2017) et le US EPA (2019), bien que la majorité des conclusions abondent dans le sens de l'absence de risque significatif, plusieurs de ces études présentent des limites importantes et/ou des niveaux d'incertitudes élevés. Ceci est particulièrement avéré en ce qui a trait aux niveaux d'exposition des individus ainsi qu'au nombre de substances évaluées, l'accent ayant davantage été mis sur les HAP et les métaux (Perkins et al., 2019). Il est aussi important de noter que la quasi-totalité des études d'évaluation des risques consultées pour cet avis ont été réalisées à partir des concentrations de substances chimiques contenues uniquement dans les granules, alors qu'il a été démontré que des quantités non négligeables de substances variées, telles que des PFAS et des phtalates, sont également contenues dans les fibres de gazon synthétique (Cheng et al., 2014 ; Murphy et Warner, 2022).

En ce qui a trait aux risques spécifiquement associés aux PFAS, aucune étude provenant de source fiable ou révisée par des pairs n'a été recensée. En effet, des trois études recensées, deux correspondaient à des mémoires de maîtrise (Lauria et al., 2022 ; Naim, 2020) et une à un feuillet d'information (TURI, 2020). Des études supplémentaires étant nécessaires, il n'est donc pas possible de conclure sur les risques associés à la présence de ces substances dans les terrains de gazon synthétique. Toutefois, selon le groupe d'experts du NSW, les concentrations mesurées jusqu'à maintenant seraient très faibles (soit de l'ordre de 84 à 118 pg/g de PFOS et 46 à 96 pg/g de PFOA selon l'étude de Lauria et al. (2022)) et les potentiels effets à la santé seraient négligeables (NSW, 2022).

Enfin, concernant les micro- et nanoplastiques, aucune étude traitant des risques à la santé humaine associés à une exposition à ces substances par contact direct n'a été recensée. Pour l'instant, le sujet des micros et nanoplastiques est davantage traité comme un risque pour l'environnement et, indirectement, pour la santé humaine (NSW, 2022).

3.4.2 Populations vulnérables aux risques toxicologiques

Des groupes d'individus ou des sous-groupes de la population peuvent être particulièrement plus à risque d'avoir des effets à la santé ou d'être exposés à un contaminant tant par leurs prédispositions génétiques ou leurs conditions médicales préexistantes que par leurs comportements, leurs habitudes et leurs activités particulières (MSSS, 2002). Dans le contexte de l'utilisation des terrains de gazon synthétique, il apparaît que les enfants sont particulièrement vulnérables, du fait de leur physiologie et leurs comportements, pour les raisons suivantes :

- Leur corps est en pleine croissance, leurs organes sont en développement et leurs processus biologiques d'élimination des contaminants environnementaux sont considérés comme moins efficaces que ceux d'un adulte. Leurs systèmes les protègent donc moins bien des contaminants une fois que ceux-ci sont absorbés (Ferguson et al., 2017) ;
- Ils respirent plus rapidement qu'un adulte et ont donc un taux d'inhalation plus important que ces derniers (WHO, 2018). Cela augmente donc l'exposition des enfants aux contaminants volatils et aux poussières ;
- Leur plus petite taille fait en sorte que leurs voies respiratoires et leur bouche sont plus rapprochées du sol, où les contaminants sont généralement plus concentrés (WHO, 2018). L'exposition par inhalation et par ingestion de poussières sont donc plus importantes ;
- Finalement, les enfants ont davantage tendance à porter leurs mains et des objets à la bouche, ce qui augmente l'exposition par ingestion, et ce, surtout chez les plus jeunes de cette tranche d'âge (Ferguson et al., 2017 ; Lopez-Galvez et al., 2022).

3.5 Conclusion et limitations des évaluations des risques toxicologiques à la santé

La majorité des auteurs des études recensées pour cet avis arrivent aux mêmes conclusions, soit que les risques à la santé associés aux substances chimiques présentes dans les terrains de gazon synthétique sont non significatifs ou négligeables du fait que l'exposition des individus (tous scénarios d'exposition confondus) n'est pas suffisamment importante.

La revue de littérature effectuée pour le présent projet n'est pas une revue complète et exhaustive des données probantes, mais plutôt une analyse sommaire des données publiées depuis le rapport réalisé en 2008 par la DRSP (DRSP, 2008) afin de mieux comprendre les risques associés aux terrains de gazon synthétique.

En l'absence d'étude épidémiologique, en présence de données limitées sur l'exposition humaine, d'un manque de connaissance sur les substances présentes, leurs concentrations et leurs toxicités et les différentes limites observées dans les études d'évaluation des risques disponibles, il apparaît que les conclusions actuellement disponibles sont empreintes d'incertitudes et que les connaissances sur les risques sont encore incomplètes. Ainsi, comme le mentionnent Gomes et al. (2021), bien qu'un niveau de connaissances non négligeable soit déjà disponible, il reste encore beaucoup à faire pour bien comprendre les risques possibles à la santé de chacune des substances chimiques présentes dans les composantes des terrains de gazon synthétique et le risque global de telles infrastructures. Davantage d'études sont donc nécessaires pour répondre à ces incertitudes et améliorer la compréhension des risques à la santé.

3.6 Stress thermique et coup de chaleur

Malgré une certaine variabilité de température acceptable, le corps humain s'adapte à son environnement pour maintenir une température corporelle centrale moyenne de 37 °C (Périard et al., 2015). Une exposition à un environnement chaud, tout comme la pratique d'une activité sportive, augmente la production de chaleur métabolique et déclenche une série de réponses physiologiques compensatrices. Celles-ci correspondent entre autres à une augmentation et une redistribution du débit cardiaque, une accélération du débit respiratoire et de la ventilation pulmonaire, une hausse du débit sanguin périphérique et un accroissement de sécrétion de sueur.

Le confort thermique dépend d'une interaction complexe entre différents facteurs environnementaux, comportementaux et physiologiques (NSW, 2022). Une personne souffre de stress thermique lorsqu'il y a un déséquilibre entre la chaleur générée par son métabolisme et sa perte de chaleur dans l'environnement menant à une hausse de sa température corporelle centrale (Kennedy et al., 2020 ; NSW, 2022). Ce déséquilibre, s'il n'est pas pris en charge, peut mener au coup de chaleur, considéré comme la maladie la plus grave attribuée à la chaleur et pouvant même entraîner la mort (Gouvernement du Québec, 2024). Puisque le seuil de tolérance dépend du niveau d'activité et d'acclimatation à la chaleur de chaque individu (CCHST, 2022) ainsi que de la physiologie de chacun selon l'âge, le sexe, le poids corporel, etc. (INSPQ, 2021a), il n'existe pas de limite de température applicable à tous.

Plusieurs auteurs ont démontré que la surface d'un terrain de gazon synthétique peut atteindre des températures significativement plus élevées que celles d'un terrain de gazon naturel. Sous des conditions similaires, des différences variant d'environ 11 à 35 °C ont été enregistrées (Canuel Ouellet, 2017; Devitt et al., 2007; INSPQ, 2014; Jim, 2016, 2017; Loveday et al., 2019). Les températures plus élevées de la surface des terrains de gazon synthétique dépendent grandement de facteurs environnementaux tels que la température ambiante, le niveau de radiation solaire et l'humidité relative (Petross et al., 2014). La chaleur générée par ces terrains peut également s'expliquer par la nature des matériaux qui les composent, par la perte de chaleur moins prononcée de ces terrains due à une absence d'évapotranspiration comparativement à un terrain de gazon naturel (Jim, 2016; NSW, 2022; Shi et Jim, 2022) et par l'épaisseur du remplissage (NSW, 2022). Les températures en surface d'un terrain synthétique peuvent aussi atteindre des niveaux plus élevés que celles de l'air ambiant, et ce, particulièrement lors des journées ensoleillées (Jim, 2016; Shi et Jim, 2022; Thoms et al., 2014). Cette augmentation de température peut représenter un risque thermique pour les individus qui sont exposés à des sources de chaleur pluridirectionnelles intenses (énergie radiante du soleil et de l'air plus importante, émission thermique du sol plus élevée, augmentation du transfert de chaleur du sol par conduction et convection vers l'air proche du sol) (Jim, 2016).

Ainsi, l'augmentation de la température ambiante couplée à une augmentation de la température corporelle provoquée par la pratique de sports représentent un risque thermique plus important pour les utilisateurs de terrain de gazon synthétique. Par ailleurs, il est important de souligner que les réponses physiologiques associées au stress thermique sont susceptibles d'augmenter l'absorption de substances chimiques présentes dans les terrains de gazon synthétique, et ce, particulièrement pour les substances absorbées par les voies pulmonaire et cutanée. Cet enjeu représente une source d'incertitude supplémentaire quant à l'exposition réelle des utilisateurs puisque cette absorption additionnelle n'est pas considérée dans les calculs de modélisation de l'exposition.

Aussi, dans une perspective de changements climatiques, une augmentation de la fréquence (nombre accru de journées de chaleur accablante) et de l'amplitude (intensité et longueur) des vagues de chaleur estivales est anticipée. Il est donc probable que les conditions favorables à l'incidence de stress thermique et de coup de chaleur seront plus fréquemment présentes. De ce fait, une diminution du temps de jeu dans des conditions sécuritaires pour les usagers est à prévoir, et ce davantage sur les terrains de gazon synthétique que sur les terrains de gazon naturel.

Considérant les risques à la santé associés au stress thermique, plusieurs auteurs suggèrent que des mesures de prévention et de précaution devraient être mises en place (Abraham, 2019; Jim, 2016, 2017; NSW, 2022). Il est entre autres souligné par le NSW (2022) que les employés qui assurent l'entretien des terrains et les usagers qui s'y retrouvent devraient être informés et formés afin de mieux prévenir et gérer des problèmes de santé suivant une exposition à la chaleur.

Aussi, peu d'études épidémiologiques comparant le confort thermique ou le risque de coup de chaleur entre les usagers d'un terrain de gazon synthétique et un terrain de gazon naturel sont disponibles et celles recensées dans la littérature sont difficilement applicables au contexte montréalais. La réalisation de ce type d'étude serait nécessaire afin d'en apprendre davantage sur le risque que représentent ces surfaces minéralisées (Abraham, 2019 ; Liu et Jim, 2021).

3.6.1 Populations vulnérables au stress thermique

Comme indiqué dans le rapport du NSW (2022), les enfants, les jeunes athlètes et les spectateurs sont des populations généralement plus vulnérables à la température ambiante plus élevée au niveau du terrain de gazon synthétique.

Outre les facteurs de vulnérabilités associés aux risques toxicologiques, plusieurs facteurs rendent les enfants et les jeunes athlètes plus vulnérables que les adultes à la chaleur ambiante et au stress thermique : une thermorégulation moins efficace (une température corporelle centrale qui s'élève plus rapidement et un refroidissement corporel par transpiration moins efficace), un plus grand rapport entre la surface corporelle et la masse ainsi que plus de chaleur produite par unité de masse corporelle (Kennedy et al., 2020 ; NSW, 2022 ; Smith, 2019). Aussi, comme le mentionnent Liu et Jim (2021), les enfants et les jeunes athlètes, par rapport aux adultes, sont davantage exposés à la chaleur des terrains de gazon synthétique puisqu'ils auraient plus de temps de jeu à l'extérieur et sont plus près, car plus petits, de la surface synthétique d'où se dégage la chaleur. Face à cette conclusion, ils suggèrent d'utiliser des terrains de gazon naturel pour des milieux desservant ces populations.

Bien qu'ils ne soient pas physiquement actifs sur le terrain, le personnel de soutien et spectateurs en bordure du terrain seraient aussi plus vulnérables aux effets de la chaleur. En effet, leur exposition sur une période prolongée augmente leurs risques à la santé associés au stress thermique et aux coups de chaleur (NSW, 2022). Enfin, les personnes souffrant de certaines maladies ou prenant certains médicaments peuvent aussi être plus sensibles aux températures élevées (INSPQ, 2015, 2021). Par ailleurs, contrairement aux athlètes qui développent des stratégies d'acclimatation à la chaleur (Périard et al., 2015), les usagers occasionnels sont plus à risque de subir les effets de la chaleur puisqu'ils n'ont pas développé ces mécanismes d'adaptation.

L'INSPQ rapporte que les mesures suivantes seraient adéquates pour diminuer les risques à la chaleur pour la population générale voulant faire de l'exercice physique : s'exercer aux moments plus frais de la journée, limiter l'exercice intense à 30 minutes et s'hydrater adéquatement (INSPQ, 2021).

4 ÎLOTS DE CHALEUR, CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENT

4.1 Augmentation de la température, accroissement du phénomène d'îlot de chaleur et réduction des îlots de fraîcheur

D'après l'INSPQ un îlot de chaleur correspond à une « zone précise à l'intérieur d'un milieu urbain où la température de surface est plus élevée » (INSPQ, 2019). Sur l'île de Montréal, les îlots de chaleur représentaient environ 34 % du territoire en 2019 (Ville de Montréal, 2023) et correspondent par exemple aux stationnements de béton bitumineux, aux routes et aux toits des immeubles.

Comme indiqué dans l'avis de la DRSP de 2014, les terrains de gazon synthétique retiennent la chaleur. En effet, contrairement aux terrains de gazon naturel, les radiations solaires sont retenues par les terrains de gazon synthétique en raison de leur composition. En plus d'entraîner les effets négatifs à la santé des utilisateurs, comme mentionné plus haut, les terrains de gazon synthétique pourraient également agir sur les températures ambiantes du secteur environnant en participant au phénomène d'îlot de chaleur. Cependant, selon certaines études, cette hausse de température se limiterait à la zone occupée par le terrain de gazon synthétique. En effet, la surface relativement faible occupée par un terrain de gazon synthétique limiterait l'impact direct de ce dernier sur les îlots de chaleurs dans les zones avoisinantes (NSW, 2022). Ce serait plutôt l'ajout d'un terrain de gazon synthétique à la place d'un terrain de gazon naturel qui contribuerait à l'augmentation de la température ambiante et participerait donc à la formation d'îlots de chaleur. Ainsi, l'installation de cette infrastructure dans une zone minéralisée représenterait plutôt une perte d'opportunité d'installation d'un îlot de fraîcheur. Or, la modification de l'environnement physique influence les composantes de la vulnérabilité des individus aux changements climatiques (Goupil-Sormany et al., 2023). Ici la perte d'opportunité d'installation d'un îlot de fraîcheur augmenterait l'exposition de la population à des températures élevées, associées à des effets néfastes à la santé.

Comme mentionné dans l'avis de la DRSP de 2014 sur les terrains synthétiques (DRSP, 2014a), il est vrai que la plantation d'arbres autour de terrains synthétiques constitue un moyen efficace de réduire la chaleur localement et en périphérie. Cependant il est important de considérer le fait que la croissance des arbres est un phénomène lent. En effet, en fonction des espèces d'arbres, leurs bénéfices associés aux îlots de chaleur sont visibles en moyenne au bout de 15 ans (US EPA, 2008). Cette mesure de mitigation pour contrer les effets d'îlots de chaleur ne serait donc pas efficace à elle seule à court terme.

4.1.1 Effets à la santé

Selon l'INSPQ, des températures ambiantes élevées sont associées à une augmentation du nombre des consultations à l'urgence, d'hospitalisation et de décès. Ces impacts des vagues de chaleur sur la santé peuvent être exacerbés par les îlots de chaleur. Une étude de 2009 a démontré qu'à Montréal, le risque de décès pendant une vague de chaleur est plus important dans les îlots de chaleur que dans les zones avec une température de surface inférieure (DRSP, 2019).

Ainsi, les personnes résidant au sein d'un îlot de chaleur plus exposées aux températures ambiantes élevées, sont plus à risque de subir des effets néfastes à la santé associés à la chaleur (INSPQ, 2019). En participant au phénomène d'îlot de chaleur, l'installation d'un terrain de gazon synthétique en substitution d'un terrain de gazon naturel pourrait donc contribuer à exacerber les différents impacts des vagues de chaleur sur la santé des personnes résidant aux alentours. L'installation d'un terrain de gazon synthétique à proximité d'une zone où résident des populations présentant plusieurs facteurs de vulnérabilité à la chaleur (nourrissons, jeunes enfants, personnes âgées, personnes souffrant de maladies chroniques ou ayant une mauvaise forme physique, etc. (INSPQ, 2019)) diminuerait leur accessibilité à un îlot de relative fraîcheur ce qui augmenterait leur exposition à une température élevée et exacerberait donc les impacts sur leur santé, particulièrement dans le contexte de vague de chaleur.

4.2 Projections climatiques

Le contexte climatique actuel doit également être considéré dans cette réflexion. Une augmentation de la moyenne annuelle des températures est attendue à Montréal. D'après les projections du scénario d'émissions élevées (RCP8.5¹⁶) cette augmentation serait « d'environ 2 à 4 °C pour la période 2041-2070 et de 4 à 7 °C pour la période de 2071 à 2100 » (DRSP, 2024; Ouranos, 2024). En plus de l'augmentation de la température moyenne annuelle, des températures chaudes plus fréquentes, des périodes de chaleurs extrêmes plus fréquentes ainsi qu'une augmentation de la fréquence et de la durée des vagues de chaleur sont également attendues (DRSP, 2024; Ouranos, 2024).

¹⁶ Les RCP (Profil représentatif d'évolution de concentration) sont des scénarios d'émissions jusqu'en 2100. Le RCP8.5, le plus pessimiste en termes de réchauffement du système climatique, correspond à une hausse continue des émissions de GES jusqu'à cette date ainsi qu'à une augmentation de la tendance mondiale actuelle (DRSP, 2024)

Comme présenté dans le rapport d'Évaluation de la vulnérabilité de l'agglomération de Montréal aux changements climatiques de la DRSP de Montréal (DRSP, 2024), le réchauffement moyen, les chaleurs extrêmes et les vagues de chaleur représentent un risque très élevé pour la santé de la population montréalaise. En effet, ces trois aspects de cet aléa ont des probabilités d'occurrence élevées et pourraient avoir des conséquences potentielles majeures sur la santé de la population.

Dans ce contexte, le remplacement d'un terrain de gazon naturel ou d'une autre structure végétale par un terrain de gazon synthétique contribuerait, malgré sa faible surface, à l'amplification de ce risque, déjà très élevé, en diminuant l'accès des populations avoisinantes à des îlots de relative fraîcheur et en augmentant donc la température à laquelle la population est exposée. La contribution à l'amplification du risque serait encore plus importante pour les personnes résidant au sein d'un îlot de chaleur, où la température serait déjà plus élevée, ainsi que pour les personnes présentant plusieurs facteurs de vulnérabilité à la chaleur.

4.3 Aménagement du territoire et impacts sur la biodiversité

Un aménagement durable du territoire considérant la qualité de l'environnement et les changements climatiques influencerait la santé et le bien-être de la population. En effet cela se traduirait par une amélioration de « *la biodiversité et de la qualité de l'air tout en réduisant l'exposition à la chaleur et aux polluants de l'air* » (Goupil-Sormany et al., 2023).

Bien que les terrains de gazon naturel ne soient pas réputés être des milieux offrant une grande biodiversité, ces milieux présentent tout de même davantage de biodiversité que les terrains de gazon synthétique qui ne supportent aucune source de vie. L'installation de terrains de gazon synthétique pourrait donc affecter la biodiversité de plusieurs façons et par conséquent avoir des effets sur la santé de la population.

L'accumulation de la chaleur venant des rayons du soleil par les matériaux du terrain de gazon synthétique, décrite précédemment, aurait une influence négative sur la faune environnante en agissant sur les comportements de reproduction et de recherche de nourriture de certaines espèces (ex. : insectes, oiseaux) (NSW, 2022) et, de ce fait, le fonctionnement des écosystèmes serait perturbé (ANSES, 2018). En plus de cette modification de température, la perte d'habitat de certaines espèces (ex. : insectes) suite au remplacement d'une surface naturelle par un terrain de gazon synthétique, impacterait à son échelle la biodiversité (NSW, 2022). Or, pouvant être considéré comme le « fondement de la santé humaine » (INSPQ, 2013), il est reconnu qu'une détérioration de la biodiversité pourrait avoir plusieurs effets néfastes sur la santé (INSPQ, 2013). En impactant la biodiversité, l'installation d'un terrain de gazon synthétique à la place d'un terrain de gazon naturel participerait à son échelle à l'érosion de la biodiversité, soit à la réduction de la complexité et de la diversité écologique, qui a plusieurs conséquences sur la santé dont la diminution de la restauration psychologique et du soulagement du stress, la diminution de l'adaptation aux changements climatiques et la diminution de la capacité à purifier l'air, l'eau et les sols des polluants (Fosse, 2021 ; Soubelet, 2019).

En considérant les éléments exposés dans la présente section et pour respecter les engagements (à paraître) de la DRSP sur la préservation de la biodiversité, soit :

- « Contribuer à une élaboration et une mise en œuvre de solutions fondées sur la nature qui sont justes et équitables en tenant compte des besoins des milieux pour améliorer la santé et la résilience de la population face aux changements climatiques » ; et
- « Prendre en compte la biodiversité et ses multiples bénéfices, notamment pour la santé de la population, dans l'influence de politiques publiques et la production d'outils à destination des partenaires »,

Il apparaît que les terrains de gazon naturel représentent une meilleure option que les terrains de gazon synthétique en termes d'impacts sur la biodiversité.

4.4 Autres aléas climatiques et infrastructures résilientes

D'autres aléas climatiques pourraient être pris en compte dans le processus de décision entre un terrain de gazon naturel ou un terrain de gazon synthétique. Par exemple l'augmentation prévue de la fréquence et de l'intensité des pluies abondantes combinée à l'imperméabilité des surfaces augmentera le volume d'eau rejeté dans les égouts, ce qui accroît le risque de refoulements d'égouts dans les milieux urbains (Centre d'écologie urbaine de Montréal, 2022 ; DRSP, 2024).

La connexion des drains d'un terrain de gazon synthétique au réseau d'égouts contribuerait à l'augmentation de la pression sur celui-ci en augmentant la quantité d'eau qui s'y déverse, en contraste à l'eau pouvant être absorbée par un terrain de gazon naturel (Toronto Public Health, 2015). Par conséquent, l'installation d'un terrain de gazon synthétique à la place d'un terrain de gazon naturel pourrait participer à l'accroissement des risques de refoulement d'égouts en augmentant le volume d'eau qui serait déversé dans ceux-ci.

Pour conclure, le choix d'une infrastructure résiliente aux changements climatiques permettant de résister et de s'adapter à ces derniers permettrait de réduire leurs impacts sur la santé des collectivités. Dans le contexte des changements climatiques, et considérant les éléments présentés ci-haut, un terrain de gazon naturel serait une infrastructure plus résiliente aux changements climatiques qu'un terrain de gazon synthétique et permettrait donc de ne pas amplifier les risques à la santé de la population associés aux différents aspects des aléas climatiques présentés plus haut.

5 ÉTUDES PORTANT SUR LA PROMOTION DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE, LE CADRE BÂTI ET L'IMPACT SOCIAL

À noter que la présente section exclut la relation entre l'usage d'un terrain de gazon synthétique ou naturel et les traumatismes non-intentionnels dans le sport. Cette relation demande une analyse distincte. Par souci de cohérence et de continuité avec les parties précédentes, l'analyse présentée restera donc centrée sur la santé environnementale.

L'avantage le plus souvent avancé dans l'argumentaire en faveur des terrains de gazon synthétique est le temps de jeu plus important, et ce autant pour la longueur de la saison (début hâtif et fin tardive par rapport au terrain de gazon naturel) que pour le nombre d'heures de jeu possible par semaine (Annexe 2). Ils offrent donc un moyen technique d'augmenter la disponibilité d'une installation, répondant ainsi aux besoins des associations sportives qui réclament davantage de temps de programmation pour des activités sportives structurées (Contreras et Joubert, 2022b ; INSPQ, 2010). À priori, dans une perspective de promotion de l'activité physique, le choix d'un terrain de gazon synthétique peut donc paraître intéressant pour les décideurs. Cependant, d'un point de vue de santé publique, la réflexion doit être élargie afin de prendre en considération les besoins de la population, et particulièrement ceux des résidents du quartier. En effet, avant de considérer l'installation d'un terrain de gazon synthétique, il est important de s'interroger sur les utilisations actuelles et futures du site et de consulter la population locale.

Selon le guide technique de l'AQLM, les activités possibles sur les terrains de gazon synthétique sont spécifiques et se limitent au soccer, rugby, football, ultimate frisbee et flag football (AQLM, 2019), soit des sports plus souvent associés à des activités organisées et structurées (ex. : clubs sportifs). Barnes et Watkins (2023) ont d'ailleurs observé qu'aux yeux des sujets de leur étude, la présence de gazon synthétique constituait un frein aux activités sociales, physiques (individuelles ou en groupe et non compétitives et/ou non organisées) et de relaxation. Bien que leurs résultats ne soient pas concluants, il semble exister une tendance quant à une préférence pour le gazon naturel chez les populations résidant aux alentours des terrains sportifs, puisqu'ils répondent mieux à leurs besoins d'activités variées. Par ailleurs, étant donnée la composition chimique des terrains de gazon synthétique et considérant les enjeux toxicologiques, une utilisation autre que la pratique d'activités sportives n'est pas recommandée.

Le niveau d'activité de l'ensemble de la population québécoise a été évalué dans une enquête menée par Contreras et Joubert (2022a). Les résultats de cette enquête (Enquête québécoise sur l'activité physique et le sport) révèlent que seulement un enfant ou jeune sur cinq est actif, tandis que chez les adultes, ce chiffre est d'une personne sur deux (Contreras et Joubert, 2022a). Plus spécifiquement, selon un sondage mené à l'échelle canadienne par l'ICRCP¹⁷, seul un quart des adultes interrogés indiquent qu'ils ont pratiqué du sport organisé (ex : soccer, baseball, club de marche, etc.) au cours de la période d'étude, alors que 68 % d'entre eux indiquent avoir pratiqué de l'activité physique non-organisée (ex : prendre une marche ou se rendre au travail à vélo) (ICRCP, 2023). Ces données soulignent que les terrains de gazon synthétique, en raison de leur usage spécifique et organisé qui leur est associé, pourraient ne pas répondre aux besoins d'une majorité de la population. Au contraire, ils pourraient poser un défi en termes d'accessibilité physique et économique, constituant ainsi une barrière à la pratique d'activité physique pour de nombreuses personnes. (Contreras et Joubert, 2022b ; Richard et Dubuc, 2022 ; Westgate, 2018).

La place du gazon naturel dans le contexte urbain est un autre élément à considérer. En effet, comme Ignatieva et al. (2020) l'ont constaté, la marche d'un citadin sur du gazon naturel en bordure de route ou à l'extérieur d'un immeuble constitue le plus souvent son seul contact quotidien avec la nature. De plus, dans les quartiers où l'accès aux espaces verts est limité, l'attachement émotionnel des populations locales aux lieux où il y a du gazon naturel est encore plus important (Ignatieva et al., 2020). Ainsi, malgré une désignation officielle comme terrain « à vocation sportive », les résidents considèrent et utilisent les lieux où du gazon naturel est présent plutôt comme des espaces verts urbains. Dans le même ordre d'idée, la littérature démontre que les bénéfices associés aux espaces verts urbains sont multiples. En offrant des opportunités d'activité physique de tout genre, ces derniers ont des effets positifs sur la santé physique, dont une réduction de la mortalité chez les plus démunis et personnes âgées, ainsi que la réduction potentielle de l'obésité et de l'embonpoint (INSPQ, 2017). Ils facilitent également la cohésion sociale et offrent un refuge de quiétude aux citoyens, engendrant donc des bénéfices sur la santé mentale (Ignatieva et al., 2020).

¹⁷ Institut canadien de la recherche sur la condition physique et le mode de vie

Finalement, d'un point de vue de la promotion de l'activité physique, du cadre bâti et de l'impact social, les terrains de gazon synthétique ne présentent pas plus d'avantages que les terrains de gazon naturel. En effet les bénéfices pour la population en termes de bien-être physique et mental paraissent limités. Des projets d'installation de terrains de gazon synthétique qui ne prennent pas en compte les besoins des populations locales peuvent mener à un accroissement des inégalités sociales de santé. Ces projets peuvent également mener à une augmentation du déficit d'espaces verts dans un quartier. Par exemple, un projet visant à convertir un terrain de gazon naturel en gazon synthétique pourrait engendrer la perte d'un espace vert urbain avec la possibilité d'accroître les inégalités sociales de santé. D'autre part, dans le cas d'un nouvel aménagement, le choix d'un terrain de gazon synthétique à la place d'un terrain de gazon naturel pourrait représenter une opportunité manquée de verdissement d'une zone minéralisée.

6 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'analyse de la littérature disponible en lien avec les terrains de gazon synthétique a permis de constater que la prise de décision entourant l'installation de ces infrastructures ne concerne pas que les effets à la santé à proprement dit. Une approche globale qui inclut tous les enjeux doit être privilégiée. Ainsi, le choix d'une surface de gazon synthétique ou naturelle devrait être guidé par l'équilibre des faits associés entre autres, aux impacts à la santé physique et mentale, à l'accès équitable aux espaces de jeux et aux espaces verts, aux impacts environnementaux (biodiversité, pollution microplastique, etc.), aux changements climatiques et aux îlots de chaleur, à l'installation d'infrastructures résilientes et à la vulnérabilité des populations ainsi qu'aux préférences de la population locale.

D'un point de vue toxicologique, les conclusions actuelles montrent que les risques à la santé sont non significatifs ou négligeables du fait que l'exposition des individus (tous scénarios d'exposition confondus) n'est pas suffisamment importante. Des incertitudes ont toutefois été soulevées dans la littérature et davantage d'études sont nécessaires pour y répondre et améliorer la compréhension des risques à la santé.

Outre l'aspect toxicologique, d'autres éléments en lien avec la santé de la population ont été abordés et ont permis de constater que les terrains de gazon synthétique peuvent contribuer à exacerber certaines problématiques telles que :

- Le risque de stress thermique chez les utilisateurs en période de vague de chaleur ;
- La perte d'îlot de fraîcheur et l'augmentation des températures ambiantes ;
- La perte de biodiversité ;
- L'augmentation de la pression sur le réseau d'égouts lors de pluies abondantes ;
- La baisse d'accessibilité à un milieu pour la pratique d'activités autres que celles organisées et structurées.

Malgré ceci, les terrains de gazon synthétique présentent tout de même quelques avantages dont l'augmentation du temps de jeu et, par le fait même, une promotion de l'activité physique. Ainsi, bien qu'il soit valorisé de prioriser les terrains de gazon naturel, le choix de l'infrastructure à mettre en place doit faire suite à une évaluation complexe des coûts et des bénéfices des différents éléments présentés.

À la lumière des informations recueillies dans le présent avis, il en découle les recommandations suivantes :

- Pour les terrains sportifs à construire, favoriser les terrains de gazon naturel lorsque le contexte s’y prête ;
- Tenir une réflexion sur la mise en place de normes de qualité pour minimiser les concentrations de contaminants présents dans les composantes des terrains de gazon synthétique afin de limiter l’exposition des usagers et les possibles rejets dans l’environnement.

Lors du choix de la surface à mettre en place :

- En plus de considérer l’aspect économique, intégrer les aspects environnementaux et sociaux dans l’évaluation des options de surface, et ce, de façon indépendante pour chacun des projets de terrains sportifs. Cette évaluation se doit d’être faite de façon rigoureuse et accompagnée d’argumentaires transparents et disponibles pour consultation ;
- Prioriser des infrastructures adaptées aux changements climatiques afin de minimiser leurs impacts sur la santé de la population ;
- Évaluer l’acceptabilité sociale des projets en consultant la population locale et prendre en considération leurs besoins ainsi que les impacts potentiels sur les communautés.

Durant l’utilisation :

- Assurer un entretien adéquat pour promouvoir l’activité physique ;
- Mettre en place des mesures visant à optimiser la santé des usagers lors de l’utilisation des terrains de gazon synthétique :
 - Sensibiliser les usagers sur les mesures d’hygiène à adopter pour limiter leur exposition aux substances chimiques,
 - Adopter des pratiques d’utilisation des terrains permettant de prévenir le stress thermique chez les usagers et de les sensibiliser à ce risque à la santé.

Impacts environnementaux :

- Considérant les effets potentiels à la santé des micro- et nanoplastiques, mettre en place des mesures de prévention de leur dispersion dans l’environnement :
 - Pendant la durée de vie utile : à l’aide de système de récupération des granules et par la sensibilisation des utilisateurs ;
 - En fin de vie : mettre en place d’une politique de recyclage des matériaux.

RÉFÉRENCES

- Abraham, J. (2019). Heat risks associated with synthetic athletic fields. *International Journal of Hyperthermia*, 36(1), 515-516. <https://doi.org/10.1080/02656736.2019.1605096>
- ANSES. (2018). *Scientific and technical support on the possible risks related to the use of materials derived from the recycling of used tyres in synthetic sports grounds and similar uses* (2018-SA-0033; p. 121). Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. <https://www.anses.fr/fr/system/files/CONSO2018SA0033RaEN.pdf>
- AQLM. (2019). *Guide d'aménagement et d'entretien des terrains de soccer extérieurs* (p. 96). Association québécoise du loisir municipal. https://www.guides-sports-loisirs.ca/soccer-exterieurs/wp-content/uploads/sites/9/2021/03/TerrainsSoccerExterieurs_Complet_Web.pdf
- Armada, D., Llompart, M., Celeiro, M., Garcia-Castro, P., Ratola, N., Dagnac, T., & De Boer, J. (2022). Global evaluation of the chemical hazard of recycled tire crumb rubber employed on worldwide synthetic turf football pitches. *Science of The Total Environment*, 812, 152542. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152542>
- ASTM. (2021a). *ASTM F2765-14(2021) Standard Specification for Total Lead Content in Synthetic Turf Fibers*. <https://www.astm.org/f2765-14r21.html>
- ASTM. (2021b). *ASTM F3188-16(2021) Standard Specification for Extractable Hazardous Metals in Synthetic Turf Infill Materials*. <https://www.astm.org/f3188-16r21.html>
- ASTM. (2021c). *ASTM F3496-20 Standard Specification for Polyaromatic Hydrocarbon (PAH) Content in Synthetic Turf Infill*. <https://www.astm.org/f3496-20.html>
- ASTM. (2023). *ASTM F963-23 Standard Consumer Safety Specification for Toy Safety*. <https://www.astm.org/f0963-23.html>
- Bleyer, A. (2017). Synthetic Turf Fields, Crumb Rubber, and Alleged Cancer Risk. *Sports Medicine*, 47(12), 2437-2441. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0735-x>
- Boutin, R. (2023). La surface de jeu du stade du PEPS de l'Université Laval fait peau neuve au coût de 1,2 million \$. *Le Journal de Québec*. <https://www.journaldequebec.com/2023/08/31/la-surface-de-jeu-du-stade-du-peps-de-luniversite-laval-fait-peau-neuve-au-cout-de-12-million>
- Cakmak, D., Perović, V., Kresović, M., Pavlović, D., Pavlović, M., Mitrović, M., & Pavlović, P. (2020). Sources and a Health Risk Assessment of Potentially Toxic Elements in Dust at

- Children's Playgrounds with Artificial Surfaces : A Case Study in Belgrade. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 78(2), 190-205.
<https://doi.org/10.1007/s00244-019-00702-0>
- Canepari, S., Castellano, P., Astolfi, M. L., Materazzi, S., Ferrante, R., Fiorini, D., & Curini, R. (2018). Release of particles, organic compounds, and metals from crumb rubber used in synthetic turf under chemical and physical stress. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(2), 1448-1459. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0377-4>
- Canuel Ouellet, O. (2017). *Analyse du comportement thermique des surfaces à l'aide de l'imagerie aéroportée infrarouge thermique (TABI-1800) et hyperspectrale (CASI-1500) dans l'optique de minimiser l'intensité des îlots de chaleur urbains sur l'île de Montréal* [Université du Québec à Montréal]. <https://archipel.uqam.ca/10533/1/M15122.pdf>
- Carbon Tracker. (2020). *The Future's Not in Plastics : Why Plastics Sector Demand Won't Rescue the Oil Sector*. <https://carbontracker.org/reports/the-futures-not-in-plastics/>
- CCHST. (2022). *Exposition à la chaleur*. Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail. https://www.cchst.ca/oshanswers/phys_agents/heat/heat_control.html
- Celeiro, M., Armada, D., Ratola, N., Dagnac, T., De Boer, J., & Llompart, M. (2021). Evaluation of chemicals of environmental concern in crumb rubber and water leachates from several types of synthetic turf football pitches. *Chemosphere*, 270, 128610.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128610>
- Celeiro, M., Dagnac, T., & Llompart, M. (2018). Determination of priority and other hazardous substances in football fields of synthetic turf by gas chromatography-mass spectrometry : A health and environmental concern. *Chemosphere*, 195, 201-211.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.063>
- CEN. (2021). *Safety of toys—Part 3 : Migration of certain elements*. Comité Européen de Normalisation.
https://standards.cencenelec.eu/dyn/www/f?p=205:110:0:::FSP_PROJECT:73357&cs=1A5FC EB4C5424D9A4D0CA8AA81EC0BF3F
- Centre d'écologie urbaine de Montréal. (2022). *Sous les pavés, Renaturaliser les surfaces asphaltées, c'est payant !*
https://souslespaves.ca/sites/default/files/upload/document/outils/Leave%20behind_SLP.pdf
- Cheng, H., Hu, Y., & Reinhard, M. (2014). Environmental and Health Impacts of Artificial Turf : A Review. *Environmental Science & Technology*, 48(4), 2114-2129.
<https://doi.org/10.1021/es4044193>

- Contreras, G., & Joubert, K. (2022a). *Enquête québécoise sur l'activité physique et le sport 2018-2019 (Tome 1—Étude des facteurs associés à la pratique d'activité physique de loisir)*. Institut de la statistique du Québec.
- Contreras, G., & Joubert, K. (2022b). *Enquête québécoise sur l'activité physique et le sport 2018-2019 (Tome 2—Étude des facteurs associés à l'utilisation des installations récréatives et sportives)*. Institut de la statistique du Québec.
- De Groot, G., Oomen, A., & Mennen, M. (2017). *Evaluation of health risks of playing sports on synthetic turf pitches with rubber granulate : Scientific background document (2017-0017)*. RIVM. <https://doi.org/10.21945/RIVM-2017-0017>
- Devitt, D. A., Young, M. H., Baghzouz, M., & Bird, B. M. (2007). Surface temperature, heat loading and spectral reflectance of artificial turfgrass. *Journal of Turfgrass and Sports Surface Science*, 83, 68-82.
- Dickson, K., Sorochan, J., & Strunk, W. (2020). Impact of Alternative Synthetic Turf Infills on Athlete Performance and Safety. *The 13th Conference of the International Sports Engineering Association*, 35. <https://doi.org/10.3390/proceedings2020049035>
- DIN. (2019). *DIN 18035-7 Sports grounds—Part 7 : Synthetic turf areas* [Deutsches Institut für Normung]. DIN Standards Committee Building and Civil Engineering. <https://www.din.de/en/getting-involved/standards-committees/nabau/publications>
- DIN. (2021). *DIN 18035-6 Sports ground—Part 6 : Synthetic surfaces* [Deutsches Institut für Normung]. DIN Standards Committee Building and Civil Engineering. <https://www.din.de/en/getting-involved/standards-committees/nabau/publications/wdc-beuth:din21:341434864>
- DRSP. (2008). *Gazons synthétiques utilisés pour les sports extérieurs à la Ville de Montréal : Revue de la littérature et évaluation des risques toxicologiques* (p. 68). Direction de santé publique - Agence de la santé et des services sociaux de Montréal. <https://numerique.banq.qc.ca/patrimoine/details/52327/1564585?docref=WcJLBrJU3wPHvVFO1EsjA&docsearchtext=terrains%20synth%C3%A9tiques>
- DRSP. (2013). *Gazons synthétiques utilisés dans les installations sportives intérieures de la Ville de Montréal—Évaluation des risques à la santé* (p. 26). Direction de santé publique - Agence de la santé et des services sociaux de Montréal. https://santemontreal.qc.ca/fileadmin/fichiers/professionnels/DRSP/sujets-a-z/Terrains_synthetique/Rapport_gazons_interieurs_2013-03-13.pdf
- DRSP. (2014a). *Avis de santé publique sur les terrains synthétiques en lien avec les îlots de chaleur*. Direction de santé publique - Agence de la santé et des services sociaux de

- Montréal. https://santemontreal.qc.ca/fileadmin/fichiers/professionnels/DRSP/sujets-a-z/Terrains_synthetique/Avis_05032014_DSP_Terrains_synthetiques_1_.pdf
- DRSP. (2014b). *Avis sur les risques à la santé associés à l'utilisation des gazons synthétiques*. Direction de santé publique - Agence de la santé et des services sociaux de Montréal. https://santemontreal.qc.ca/fileadmin/fichiers/professionnels/DRSP/sujets-a-z/Terrains_synthetique/14_Avis_terrains_synthetiques_nov_SiteInternet.pdf
- DRSP. (2015). *Avis concernant le terrain de sport synthétique dans le parc Rutherford*. Direction de santé publique - Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux du Centre-Est-de-l'Île-de-Montréal. https://santemontreal.qc.ca/fileadmin/fichiers/professionnels/DRSP/sujets-a-z/Terrains_synthetique/Gazon_syhnthetique_reservoir_McTavish_site_Web.pdf
- DRSP. (2019). *Vague de chaleur : Été 2018 à Montréal. Enquête épidémiologique*. Direction régionale de santé publique du CIUSSS du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal.
- DRSP. (2024). *Évaluation de la vulnérabilité de l'agglomération de Montréal aux changements climatiques—Rapport final* (p. 121). Direction régionale de santé publique du CIUSSS du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal. https://ccsmtlpro.ca/sites/mtlpro/files/media/document/DRSP_Pub_2024_VRAC.pdf
- ECHA. (2017). *Annexe XV Report—An evaluation of the possible health risk of recycled rubber granules uses as infill in synthetic turf sports fields*. European Chemicals Agency. https://echa.europa.eu/documents/10162/17220/annex-xv_report_rubber_granules_en.pdf/dbcb4ee6-1c65-af35-7a18-f6ac1ac29fe4?t=1488792050089
- ECHA. (2019). *All news—ECHA*. European Chemicals Agency. <https://echa.europa.eu/-/echa-scientific-committees-support-restricting-pahs-in-granules-and-mulches>
- ECHA. (2021). *Annexe XV Report—Investigation into whether substances in infill material cause risks to the environment and human health that are not adequately controlled – prioritisation and preliminary risk assessment*. European Chemicals Agency. https://echa.europa.eu/documents/10162/17220/rest_sub_infill_material_investigation_report_en.pdf/77424e81-d78e-8abc-1404-f213d27c2b3f?t=1620812618319
- Englart, J. (2021). *Literature Review on environmental and health impacts of synthetic turf* (p. 39). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28126.56646>
- Eykelbosh, A. (2021). *Human health risk assessments addressing artificial turf and crumb rubber*. Centre de collaboration nationale en santé environnementale.

<https://ncceh.ca/documents/guide/human-health-risk-assessments-addressing-artificial-turf-and-crumb-rubber-0>

Eykelbosh, A., & Fong, D. (2016). *Hiérarchisation des données probantes en vue d'évaluer les risques chimiques pour la santé du gazon synthétique*. Centre de collaboration nationale en santé environnementale.

https://ccnse.ca/sites/default/files/Gazon_synthetique_Oct_2016.pdf

Ferguson, A., Penney, R., & Solo-Gabriele, H. (2017). A Review of the Field on Children's Exposure to Environmental Contaminants : A Risk Assessment Approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(3), 265.

<https://doi.org/10.3390/ijerph14030265>

FIFA. (2017). *Environmental Impact Study on Artificial Football Turf* (p. 28). Eunomia Research & Consulting Ltd for Fédération Internationale de Football Association (FIFA).

<https://digitalhub.fifa.com/m/cd0245b8305f8b9/original/artificial-turf-recycling.pdf>

FIFA. (2021). *Member Association Handbook FIFA Quality Programme for Football Turf* (p. 31). Fédération Internationale de Football Association.

https://digitalhub.fifa.com/m/69019ff5b57dfbf9/original/ma-handbook_20210624_clean-version_en_en.pdf

Formela, K. (2022). Analysis of volatile organic compounds emission in the rubber recycling products quality assessment. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 5(4), 255-269. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2022.07.002>

Fosse, J. (2021). Protéger la biodiversité pour préserver notre santé. *Décryptage de La Fabrique Ecologique*, 34, 13.

Gomes, F. O., Rocha, M. R., Alves, A., & Ratola, N. (2021). A review of potentially harmful chemicals in crumb rubber used in synthetic football pitches. *Journal of Hazardous Materials*, 409, 124998. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124998>

Goupil-Sormany, I., Debia, M., Glorennec, P., Gonzalez, J.-P., & Noisel, N. (2023). *Environnement et santé publique. Fondements et pratiques*. Presses de l'EHESP; Cairn.info.

<https://www.cairn.info/environnement-et-sante-publique--9782810910076.htm>

Gouvernement du Québec. (2024). *Effets de la chaleur sur la santé*. Gouvernement du Québec. <https://www.quebec.ca/sante/conseils-et-prevention/sante-et-environnement/effets-de-la-chaleur-accablante-et-extreme-sur-la-sante>

Graça, C. A. L., Rocha, F., Gomes, F. O., Rocha, M. R., Homem, V., Alves, A., & Ratola, N. (2022). Presence of metals and metalloids in crumb rubber used as infill of worldwide synthetic turf

- pitches : Exposure and risk assessment. *Chemosphere*, 299, 17.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134379>
- Grynkiewicz-Bylina, B., Rakwic, B., & Stomka-Stupik, B. (2022). Tests of rubber granules used as artificial turf for football fields in terms of toxicity to human health and the environment. *Scientific reports*, 12(6683), 13.
- Hatfield, J. (2017). Turfgrass and Climate Change. *Agronomy Journal*, 109(4), 1708-1718.
<https://doi.org/10.2134/agronj2016.10.0626>
- ICRCP. (2023). *Participation au sport—2019-2021 Sondage indicateur de l'activité physique (Accent sur les adultes)*. Institut canadien de la recherche sur la condition physique et le mode de vie. <https://cflri.ca/fr/participation-au-sport-0>
- Ignatieva, M., Haase, D., Dushkova, D., & Haase, A. (2020). Lawns in Cities : From a Globalised Urban Green Space Phenomenon to Sustainable Nature-Based Solutions. *Land*, 9(3), 73.
<https://doi.org/10.3390/land9030073>
- INSPQ. (2010). *L'impact de l'environnement bâti sur l'activité physique, l'alimentation et le poids*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/1108>
- INSPQ. (2012). *Lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique d'origine environnementale au Québec* (p. 163). Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/1440>
- INSPQ. (2013). *Quel rôle pour la santé et la biodiversité dans les nouveaux objectifs de développement durable de l'ONU?* Institut national de santé publique du Québec.
<https://www.inspq.qc.ca/bise/article-principal-quel-role-pour-la-sante-et-la-biodiversite-dans-les-nouveaux-objectifs-de-developpement-durable-de-l-onu>
- INSPQ. (2014). *Les terrains en gazon synthétique : Bons ou mauvais pour la santé?* INSPQ.
<https://www.inspq.qc.ca/es/node/559>
- INSPQ. (2015). *Médicaments et effets indésirables : Recommandations cliniques en périodes de canicule* (p. 20). Institut national de santé publique.
<https://www.inspq.qc.ca/publications/2036>
- INSPQ. (2016). *La gestion des risques en santé publique au Québec : Cadre de référence* (p. 109). Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2106>
- INSPQ. (2017). *Verdir les villes pour la santé de la population : Revue de la littérature* (p. 111). Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2265>

- INSPQ. (2019). *Indicateurs en lien avec les vagues de chaleur et la santé de la population : Mise à jour* (p. 74). Institut national de santé publique. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2650>
- INSPQ. (2021). *Mesures d'adaptation à la chaleur* (p. 84) [Rapport de synthèse]. Institut national de santé publique. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2792>
- Janes, C., Rodriguez, L., Kelly, C., White, T., & Beegan, C. (2018). A review of the potential risks associated with chemicals present in poured-in-place rubber surfacing. *Environmental Health Review, 61*(1), 12-16. <https://doi.org/10.5864/d2018-001>
- Jim, C. Y. (2016). Solar–terrestrial radiant-energy regimes and temperature anomalies of natural and artificial turfs. *Applied Energy, 173*, 520-534. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.072>
- Jim, C. Y. (2017). Intense summer heat fluxes in artificial turf harm people and environment. *Landscape and Urban Planning, 157*, 561-576. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.09.012>
- Kawakami, T., Sakai, S., Obama, T., Kubota, R., Inoue, K., & Ikarashi, Y. (2022). Characterization of synthetic turf rubber granule infill in Japan : Rubber additives and related compounds. *Science of The Total Environment, 840*, 156716. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156716>
- Kennedy, E., Olsen, H., & Vanos, J. (2020). *Le confort thermique des terrains de jeu : Revue de littérature et enquête auprès d'experts (Rapport technique)* (p. 37). National Program for Playground Safety, Université de Northern Iowa. https://www.scc.ca/fr/system/files/publications/SCC_Playgrounds_Report_v_1.1_FR.pdf
- Lauria, M. Z., Naim, A., Plassmann, M., Fäldt, J., Sühning, R., & Benskin, J. P. (2022). Widespread Occurrence of Non-Extractable Fluorine in Artificial Turfs from Stockholm, Sweden. *Environmental Science & Technology Letters, 9*(8), 666-672. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.2c00260>
- LIRIDE. (2021). *Revue de la littérature des analyses du cycle de vie sur les terrains de soccer— Rapport sommaire* (p. 25). Laboratoire Interdisciplinaire de Recherche en Ingénierie Durable et Écoconception - Université de Sherbrooke.
- Liu, Z., & Jim, C. Y. (2021). Playing on natural or artificial turf sports field? Assessing heat stress of children, young athletes, and adults in Hong Kong. *Sustainable Cities and Society, 75*, 103271. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103271>
- Lopez-Galvez, N., Claude, J., Wong, P., Bradman, A., Hyland, C., Castorina, R., Canales, R. A., Billheimer, D., Torabzadeh, E., Leckie, J. O., & Beamer, P. I. (2022). Quantification and

- Analysis of Micro-Level Activities Data from Children Aged 1–12 Years Old for Use in the Assessments of Exposure to Recycled Tire on Turf and Playgrounds. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(4), 2483.
<https://doi.org/10.3390/ijerph19042483>
- Loveday, J., Loveday, G., Byrne, J. J., Ong, B., & Morrison, G. M. (2019). Seasonal and Diurnal Surface Temperatures of Urban Landscape Elements. *Sustainability*, 11(19), 5280.
<https://doi.org/10.3390/su11195280>
- Marsili, L., Coppola, D., Bianchi, N., Maltese, S., Bianchi, M., & Fossi, M. (2014). Release of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Heavy Metals from Rubber Crump in Synthetic Turf Fields : Preliminary Assessment for Athletes. *Journal of Environmental and Analytical Toxicology*, 5.
- Massey, R., Pollard, L., Jacobs, M., Onasch, J., & Harari, H. (2020). Artificial Turf Infill : A Comparative Assessment of Chemical Contents. *NEW SOLUTIONS: A Journal of Environmental and Occupational Health Policy*, 30(1), 10-26. <https://doi.org/10.1177/1048291120906206>
- MELCCFP. (2024). *L'analyse du cycle de vie*. Transition énergétique.
<https://transitionenergetique.gouv.qc.ca/expertises/acquisition-connaissances/analyse-cycle-de-vie>
- Mohammed, A. M. F., Saleh, I. A., & Abdel-Latif, N. M. (2023). Hazard assessment study on organic compounds and heavy metals from using artificial turf. *Heliyon*, 9(4), e14928.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14928>
- Moreno, T., Balasch, A., Bartrolí, R., & Eljarrat, E. (2023). A new look at rubber recycling and recreational surfaces : The inorganic and OPE chemistry of vulcanised elastomers used in playgrounds and sports facilities. *Science of The Total Environment*, 868, 161648.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161648>
- MSSS. (2002). *Lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique pour la santé humaine* (p. 104). Ministère de la santé et des services sociaux du Québec.
<https://publications.msss.gouv.qc.ca/msss/document-001484/>
- Murphy, M., & Warner, G. R. (2022). Health impacts of artificial turf : Toxicity studies, challenges, and future directions. *Environmental Pollution*, 310, 119841.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119841>
- Naim, A. (2020). *An Investigation into PFAS in Artificial Turf around Stockholm*. Université de Stockholm.

- NSW. (2022). *Independent review into the design, use and impacts of synthetic turf in public open spaces—Final report* (p. 539 p.). Office of the NSW Chief Scientist & Engineer. https://www.chiefscientist.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0004/542263/CSE-Synthetic-Turf-Review-Final-Report.pdf
- Office québécois de la langue française. (2023). *Toxicocinétique*. Vitrine linguistique. <https://vitrinelinguistique.oqlf.gouv.qc.ca/fiche-gdt/fiche/26570783/toxicocinetique>
- Ouranos. (2024). *Portraits climatiques—Montréal/Laval*. https://portraits.ouranos.ca/fr/spatial?a=0&c=0&discrete=1&e=CMIP6&i=tg_mean&p=50&r=26&s=annual&scen=ssp370&src=espog&w=0&yr=2071
- Pavlonis, B. T., Weisel, C. P., Buckley, B., & Liou, P. J. (2014). Bioaccessibility and Risk of Exposure to Metals and SVOCs in Artificial Turf Field Fill Materials and Fibers : Bioaccessibility and Risk of Exposure to Metals and SVOCs. *Risk Analysis*, *34*(1), 44-55. <https://doi.org/10.1111/risa.12081>
- Périard, J. D., Racinais, S., & Sawka, M. N. (2015). Adaptations and mechanisms of human heat acclimation : Applications for competitive athletes and sports. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *25*(S1), 20-38. <https://doi.org/10.1111/sms.12408>
- Perkins, A. N., Inayat-Hussain, S. H., Deziel, N. C., Johnson, C. H., Ferguson, S. S., Garcia-Milian, R., Thompson, D. C., & Vasiliou, V. (2019). Evaluation of potential carcinogenicity of organic chemicals in synthetic turf crumb rubber. *Environmental Research*, *169*, 163-172. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.10.018>
- Peterson, M. K., Lemay, J. C., Pacheco Shubin, S., & Prueitt, R. L. (2018). Comprehensive multipathway risk assessment of chemicals associated with recycled (« crumb ») rubber in synthetic turf fields. *Environmental Research*, *160*, 256-268. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.09.019>
- Petrass, L. A., Twomey, D. M., & Harvey, J. T. (2014). Understanding how the Components of a Synthetic Turf System Contribute to Increased Surface Temperature. *Procedia Engineering*, *72*, 943-948. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.06.159>
- Pronk, M. E. J., Woutersen, M., & Herremans, J. M. M. (2020). Synthetic turf pitches with rubber granulate infill : Are there health risks for people playing sports on such pitches? *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, *30*(3), Article 3. <https://doi.org/10.1038/s41370-018-0106-1>
- Russo, C., Cappelletti, G. M., & Nicoletti, G. M. (2022). The product environmental footprint approach to compare the environmental performances of artificial and natural turf.

- Environmental Impact Assessment Review*, 95, 106800.
<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106800>
- Schneider, K., Bierwisch, A., & Kaiser, E. (2020). ERASSTRI - European risk assessment study on synthetic turf rubber infill – Part 3 : Exposure and risk characterisation. *Science of The Total Environment*, 718, 137721. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137721>
- Schneider, K., de Hoogd, M., Madsen, M. P., Haxaire, P., Bierwisch, A., & Kaiser, E. (2020). ERASSTRI - European Risk Assessment Study on Synthetic Turf Rubber Infill – Part 1 : Analysis of infill samples. *Science of The Total Environment*, 718, 137174.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137174>
- Shi, Y., & Jim, C. Y. (2022). Developing a thermal suitability index to assess artificial turf applications for various site-weather and user-activity scenarios. *Landscape and Urban Planning*, 217, 104276. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104276>
- Simpson, T. J., & Francis, R. A. (2021). Artificial lawns exhibit increased runoff and decreased water retention compared to living lawns following controlled rainfall experiments. *Urban Forestry & Urban Greening*, 63, 127232. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127232>
- Smith, C. J. (2019). Pediatric Thermoregulation : Considerations in the Face of Global Climate Change. *Nutrients*, 11(9), 2010. <https://doi.org/10.3390/nu11092010>
- Soubelet, H. (2019, octobre). Biodiversité et santé. *La Dépêche Technique*, 24, 3.
- Thoms, A. W., Brosnan, J. T., Zidek, J. M., & Sorochan, J. C. (2014). Models for Predicting Surface Temperatures on Synthetic Turf Playing Surfaces. *Procedia Engineering*, 72, 895-900.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.06.153>
- Toronto Public Health. (2015). *Health Impact Assessment of the Use of Artificial Turf in Toronto* (p. 87). City of Toronto. https://www.toronto.ca/wp-content/uploads/2017/11/9180-HIA_on_Artificial_Turf_Summary_Report_Final_2015-04-01.pdf
- TURI. (2020). *Athletic Playing Fields and Artificial Turf : Considerations for Municipalities and Institutions*. Toxics Use Reduction Institute.
https://www.turi.org/content/download/13271/203906/file/Factsheet.Artificial_Turf.September2020.pdf
- UE. (2021). *Règlement (UE) 2021/1199 de la commission du 20 juillet 2021*.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021R1199&from=FR>
- UE. (2023). *Commission Regulation (EU) 2023/2055 of 25 September 2023 amending Annex XVII to Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) as regards*

- synthetic polymer microparticles (Text with EEA relevance)* (238).
<http://data.europa.eu/eli/reg/2023/2055/oj/eng>
- US EPA. (2008). Trees and Vegetation. In *Reducing Urban Heat Islands : Compendium of Strategies* (p. 32). https://www.epa.gov/sites/default/files/2017-05/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_2.pdf
- US EPA. (2019). *Synthetic Turf Field Recycled Tire Crumb Rubber Research Under the Federal Research Action Plan Final Report : Part 1—Tire Crumb Characterization Volume 1*.
- US EPA & CDC/ATSDR. (2024). *Synthetic Turf Field Recycled Tire Crumb Rubber Research Under the Federal Research Action Plan. Final Report : Part 2—Exposure Characterization (Volumes 1 and 2)* (EPA/600/R-24/020). U.S. Environmental Protection Agency, Centers for Disease Control and Prevention/Agency for Toxic Substances and Disease Registry.
<https://www.epa.gov/chemical-research/tire-crumb-exposure-characterization-report-volumes-1-and-2>
- Verschoor, A. J., van Gelderen, A., & Hofstra, U. (2021). Fate of recycled tyre granulate used on artificial turf. *Environmental Sciences Europe*, 33(1), 27. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00459-1>
- Ville de Montréal. (2018a). *Outil d'aide à la décision—Utilisation des revêtements de gazon synthétique et naturel pour les installations sportives extérieures—Document de référence* (p. 39 p.). Service de la diversité sociale et des sports, Service des grands parcs, du verdissement et du Mont-Royal, Ville de Montréal.
- Ville de Montréal. (2018b). *Plan directeur du sport et du plein air urbains* (p. 133 p.). Ville de Montréal.
https://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/PAGE/COMMISSIONS_PERM_V2_FR/MEDIA/DOCUMENTS/DOC_PLANDIRECTEUR_20180404.PDF
- Ville de Montréal. (2023). *État d'avancement 2022 du Plan climat 2020-2030*. Ville de Montréal.
https://portail-m4s.s3.montreal.ca/pdf/avancement_2022_du_plan_climat_2020_2030_vf_rev_20231103_1.pdf
- Wachtendorf, V., Kalbe, U., Krüger, O., & Bandow, N. (2017). Influence of weathering on the leaching behaviour of zinc and PAH from synthetic sports surfaces. *Polymer Testing*, 63, 621-631. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2017.09.021>
- Watterson, A. (2017). Artificial Turf : Contested Terrains for Precautionary Public Health with Particular Reference to Europe? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/ijerph14091050>

- WHO. (2018). *Air pollution and child health : Prescribing clean air. Summary* (WHO/CED/PHE/18.01; p. 32). World Health Organisation.
<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/275545/WHO-CED-PHE-18.01-eng.pdf>
- Zhang, X., Gu, Y., Wang, Y., Liu, J., Jiang, Y., Tian, Y., Zhang, Z., Tan, C., Wang, Y., Li, H., & Hu, Y. (2023). Occurrence and risk assessment of PAHs from athletic fields under typical rainfall events. *Water Science and Technology*, 87(9), 2159-2171.
<https://doi.org/10.2166/wst.2023.092>
- Zhang, X., Wang, Y., Liu, J., Jiang, Y., Tian, Y., & Zhang, Z. (2021). Distribution and Health Risk Assessment of Some Trace Elements in Runoff from Different Types of Athletic Fields. *Journal of Chemistry*, 2021, 1-15. <https://doi.org/10.1155/2021/5587057>
- Zuccaro, P., Licato, J., Davidson, E. A., Thompson, D. C., & Vasiliou, V. (2023). Assessing extraction-analysis methodology to detect fluorotelomer alcohols (FTOH), a class of perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFAS), in artificial turf fibers and crumb rubber infill. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 7, 100280.
<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2022.100280>
- Zuccaro, P., Thompson, D. C., de Boer, J., Watterson, A., Wang, Q., Tang, S., Shi, X., Llompart, M., Ratola, N., & Vasiliou, V. (2022). Artificial turf and crumb rubber infill : An international policy review concerning the current state of regulations. *Environmental Challenges*, 9, 100620.
<https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100620>

ANNEXE 1

METHODOLOGIE UTILISEE POUR RECENSER LES DONNEES DISPONIBLES DANS LA LITTERATURE SCIENTIFIQUE SUR LES TERRAINS DE GAZON SYNTHETIQUE

Il est important de noter que cet avis ne constitue pas une revue exhaustive de la littérature. La littérature sélectionnée représente les articles disponibles jugés les plus pertinents pour chacun des thèmes traités, en vue d'une analyse critique du sujet.

Ainsi, pour la réalisation du présent avis, un survol exploratoire de la littérature scientifique et de la littérature grise a d'abord été effectué afin d'identifier les enjeux de santé pouvant être soulevés par l'installation et l'utilisation de terrains de gazon synthétique sur le territoire de la Ville de Montréal. Les résultats de cette étape ont permis de constater la complexité de ce sujet et d'identifier les principales préoccupations, les enjeux émergents et certaines lacunes dans les connaissances actuelles. Les éléments identifiés lors de cette première étape ont permis de sélectionner les thèmes apparaissant comme les plus pertinents à traiter dans notre avis, soit les risques toxicologiques à la santé, le stress thermique, les changements climatiques et les inégalités sociales.

Dans un deuxième temps, une revue sommaire des littératures scientifique et grise spécifiques à chacun des thèmes sélectionnés a été réalisée. Pour ce faire, des recherches ont été effectuées dans les bases de données *PubMed*, *ScienceDirect* et *Google Scholar*. Pour la revue de la littérature grise, le moteur de recherche *Google* a été utilisé pour chercher des sites internet gouvernementaux et d'agences tels que l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ), Santé Canada, le Centre de collaboration nationale en santé environnementale (CCNSE), l'Agence américaine de protection de l'environnement (US EPA), l'Organisation mondiale de la santé (OMS), l'Union européenne (UE), l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA) et l'Institut national de santé publique et de l'environnement des Pays-Bas (RIVM).

Puisque le présent avis se veut une mise à jour des documents de 2008, 2013, 2014 et 2015 la recherche est limitée à la littérature publiée à partir de 2014¹⁸. Les articles retenus devaient répondre aux critères suivants : être rédigés en anglais ou en français, traiter des terrains de gazon synthétique en association avec l'un des thèmes sélectionnés, être révisés par des pairs et avoir des sources de données clairement détaillées. Aussi, seules les études dont les informations pouvaient être transposables au contexte montréalais ont été retenues. Enfin, bien que certains enjeux abordés dans la littérature aient leur pertinence, comme la contamination de l'eau et des sols ou les risques de blessures musculosquelettiques, ceux-ci ont été exclus du présent avis.

¹⁸ Puisque l'avis de 2015 n'était pas basé sur une revue de la littérature, mais bien sur les différents éléments présentés dans les avis précédents, que le deuxième avis de 2014 traitait de sujets très spécifiques et que le premier avis de 2014 a été réalisé en début d'année, il a été considéré plus judicieux d'utiliser une période débutant en 2014.

ANNEXE 2

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES TERRAINS DE GAZON NATUREL ET SYNTHÉTIQUE

Catégorie	Terrains de gazon naturel (TGN) ¹⁹	Terrains de gazon synthétique (TGS) ¹⁹	Points de réflexion
Entretien	<p>Avantages :</p> <p>Capacité naturelle de biodégradation (Toronto Public Health, 2015).</p> <p>Pour les TGN avec du gazon de parc (pratique libre et récréative), l'entretien se limite souvent à la tonte durant la saison (AQLM, 2019).</p> <p>Désavantages :</p> <p>Opérations d'entretien plus fréquentes (AQLM, 2019).</p> <p>La rotation de l'usage des TGN facilite la régénération du gazon (AQLM, 2019).</p> <p>Nécessite une fertilisation adaptée à la composition du sol (AQLM, 2019).</p>	<p>Avantages :</p> <p>Opérations d'entretien moins fréquentes (absence de tonte, d'arrosage, etc.) (AQLM, 2019).</p> <p>Désavantages :</p> <p>Pas de capacité naturelle de biodégradation, donc des mesures additionnelles peuvent être mises en place. Voici quelques exemples (Toronto Public Health, 2015) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Interdire l'accès aux animaux de compagnie ; - Traiter les déversements de liquides biologiques comme si cela s'était produit à l'intérieur ; - Nettoyer régulièrement les feuilles et autres débris de la surface ; - Traiter les moisissures aussitôt que possible avec des produits nettoyants spécialisés et faire un nettoyage routinier du TGS avec des antiseptiques (afin de contrôler les moisissures). <p>Un déplacement des granules de remplissage lors de fortes pluies pourrait nécessiter un entretien avant l'utilisation. La FIFA recommande une vérification des niveaux de remplissage après de fortes pluies (FIFA, 2021).</p>	<p>Est-ce possible de maintenir un entretien tel que requis au niveau municipal ?</p> <p>De plus en plus de gazons naturels à entretien minimal ont été conçus pour répondre à la réalité municipale et aux exigences environnementales (AQLM, 2019).</p> <p>L'entretien requis doit être évalué en fonction des besoins. Une estimation juste de l'usage du TGN ou TGS est donc nécessaire.</p> <p>Il est difficile d'évaluer les données d'entretien pour les TGN, car cela dépend entre autres du climat local et de la composition des sols (NSW, 2022).</p>
	<p>Les deux types de surface ont régulièrement besoin d'un entretien de haute qualité pour maximiser leur performance, capacité de jeu, sécurité des usagers et durée de vie du terrain (NSW, 2022).</p> <p>Les coûts d'entretien ne sont pas significativement différents entre les TGN et les TGS selon l'ANSES (2018).</p>		

¹⁹ Afin d'alléger le contenu du tableau, les abréviations TGS pour terrain de gazon synthétique et TGN pour terrain de gazon naturel sont utilisées.

Catégorie	Terrains de gazon naturel (TGN) ¹⁹	Terrains de gazon synthétique (TGS) ¹⁹	Points de réflexion
Coûts	<p>Avantages :</p> <p>Coûts d’installation plus faibles (AQLM, 2019).</p> <p>Coûts de remplacement plus faibles (AQLM, 2019).</p> <p>Désavantages :</p> <p>Coûts d’entretien plus élevés (AQLM, 2019).</p> <p>Les gazons développés dans les gazonières exigent plusieurs années de production avant d’être utilisés (AQLM, 2019).</p> <p>Durée de vie d’un à cinq ans (AQLM, 2019) ; un TGN bien drainé devrait avoir sa surface refaite tous les sept ans s’il est bien entretenu ou tous les deux ans sans entretien (Ville de Montréal, 2018b). Cependant en théorie la surface n’a pas besoin d’être remplacée (ANSES, 2018).</p> <p>Coûts environnementaux du processus de fabrication d’engrais (Englart, 2021).</p>	<p>Avantages :</p> <p>Coûts d’entretien annuel relativement faibles (ANSES, 2018 ; AQLM, 2019 ; Cheng et al., 2014).</p> <p>Désavantages :</p> <p>Coûts d’installation plus élevés (ANSES, 2018 ; AQLM, 2019 ; Cheng et al., 2014).</p> <p>À remplacer tous les huit ou dix ans selon le guide de l’AQLM (2019) ; dix ans s’il est bien entretenu ou six ans s’il n’y a aucun entretien selon le rapport de la Ville de Montréal (2018 b).</p> <p>Coûts de remplacement plus élevés (ANSES, 2018 ; AQLM, 2019).</p> <p>Un TGS engendre des coûts additionnels, tel que les coûts de gestion des matières résiduelles à la fin de sa vie utile selon l’ANSES (2018).</p> <p>Coûts environnementaux non comptabilisés lors de la prise de décision (Englart, 2021).</p>	<p>L’évaluation initiale devrait inclure les coûts du cycle de vie complet du TGS ainsi que les avantages et désavantages des deux types d’infrastructures, sur une période couvrant la durée de vie du terrain ou plus, afin d’avoir un portrait global (ANSES, 2018). De plus, l’augmentation d’événements météorologiques extrêmes pourrait causer une usure accélérée des TGN ou TGS et ainsi potentiellement engendrer des coûts additionnels.</p> <p>L’ANSES (2018) ne recommande pas l’un ou l’autre type de terrain après analyse, mais suggère de considérer avec attention les coûts et bénéfices lorsqu’un choix doit être fait.</p>
Performance sportive	<p>Avantages :</p> <p>Réduction de chaleur pour les joueurs (ANSES, 2018 ; AQLM, 2019) grâce à une capacité de refroidissement par évaporation (Toronto Public Health, 2015).</p> <p>« Surface idéale de jeu lorsque le terrain est de qualité » par rapport à un terrain de gazon synthétique (Ville de Montréal, 2018b).</p> <p>Désavantages :</p> <p>Moins de temps de jeu pour maintenir un état adéquat du terrain (AQLM, 2019).</p>	<p>Avantages :</p> <p>Permet plus de temps de jeu sans compromettre la qualité de la surface (ANSES, 2018 ; AQLM, 2019 ; Cheng et al., 2014)</p> <p>Désavantages :</p> <p>Augmentation de la chaleur ressentie pour les usagers (AQLM, 2019) due aux composantes du TGS qui captent la chaleur (Toronto Public Health, 2015).</p>	<p>Le rapport du NSW (2022) n’a pas pu recueillir assez de données pour conclure sur la différence de performance entre les deux surfaces. Toutefois, il affirme qu’aucun type de surface ne représente de faibles coûts et qu’aucun ne performera bien sous des conditions où ils sont laissés à l’abandon suite à leur installation (NSW, 2022).</p> <p>L’avantage de permettre plus de temps de jeu et de pratique pour les TGS est mitigé lorsque le cycle de vie complet du terrain est pris en considération (Russo et al., 2022).</p>

Catégorie	Terrains de gazon naturel (TGN) ¹⁹	Terrains de gazon synthétique (TGS) ¹⁹	Points de réflexion
Irrigation- arrosage et gestion des eaux de pluie	<p>Avantages :</p> <p>La réglementation municipale n'exige pas d'action spécifique pour la rétention des eaux de pluie (AQLM, 2019).</p> <p>Démontre une certaine résilience lorsque le TGN est inondé (NSW, 2022). Un TGN aurait une meilleure réponse hydrologique : favorise la rétention d'eaux pluviales et limite le débit de ruissellement (Simpson & Francis, 2021).</p> <p>Désavantages :</p> <p>Nécessite plus d'eau (arrosage) (AQLM, 2019).</p> <p>Essentiel de mettre des terrains sportifs sur des TGN drainés et irrigués pour une performance optimale (AQLM, 2019).</p> <p>Une irrigation régulière est requise selon les besoins du climat local, l'espèce de gazon et le niveau de sport pratiqué (NSW, 2022).</p> <p>De fortes pluies combinées à une pente faible mèneront à une saturation du sol et une rétention d'eau. Ceci compactera la surface et entraînera la disparition éventuelle du gazon pour laisser place aux mauvaises herbes (AQLM, 2019).</p>	<p>Avantages :</p> <p>N'a techniquement pas besoin d'irrigation (NSW, 2022).</p> <p>Nécessiterait moins d'eau pour l'entretien (Toronto Public Health, 2015).</p> <p>Désavantages :</p> <p>Un TGS typique qui draine les eaux pluviales directement dans le réseau d'égouts risque de surcharger le réseau municipal (Toronto Public Health, 2015).</p> <p>Un ouvrage de rétention des eaux de pluie peut être exigé selon la réglementation municipale (AQLM, 2019).</p> <p>Arrosage requis lors de fortes chaleurs afin de lubrifier/refroidir la surface et stabiliser les granules pour prévenir des pertes (FIFA, 2021).</p>	<p>La production d'un TGS aurait un besoin en eau équivalent à quatre années d'arrosage d'un terrain de gazon naturel (Englart, 2021).</p> <p>Éventuellement, de nouvelles variétés de gazons naturels pourraient nécessiter moins d'eau (Hatfield, 2017).</p> <p>La conservation de l'eau est un enjeu complexe lorsqu'on compare les TGS aux TGN et ce thème doit être traité avec soin selon Englart (2021).</p>
	<p>Les TGN et les TGS ont une grande variabilité de rétention des eaux de pluie qui se base sur leur perméabilité et leur capacité d'emmagasinage, soit du sol du TGN ou du système de drainage du TGS (NSW, 2022).</p>		

ANNEXE 3

INTERVENTIONS D'ENTRETIEN À PRÉVOIR ET LEURS FRÉQUENCES

Terrain de gazon naturel	Terrain de gazon synthétique
Fertilisation (durant la saison)	Nettoyage/soufflage (quotidien-hebdomadaire)
Tonte (selon croissance du feuillage et usage)	Brossage (mensuelle)
Regarnissage (selon croissance du feuillage et usage)	Regarnissage localisé (hebdomadaire)
Sursemis (semis d'entretien)	Contrôles des joints (hebdomadaire)
Aération (au moins annuellement) et décompaction (annuellement et dépendamment de l'usage, type de sol, etc.)	Brossage actif (mensuelle)
Terreautage (une fois par saison si forte végétation, plus souvent si texture plus fine) et sablage (au moins une fois durant période de forte végétation), défeutrage, réparation (après chaque match ou entraînement) et arrosage (selon des précipitations insuffisantes)	Décompactage (mensuelle)

Informations tirées du Guide de l'AQLM (2019)

**Centre intégré
universitaire de santé
et de services sociaux
du Centre-Sud-
de-l'Île-de-Montréal**

Québec 