



CIRAIG^{MC}

Centre international de référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services



RAPPORT TECHNIQUE

ANALYSE DE CYCLE DE VIE PRÉLIMINAIRE DES ACTIVITÉS DE LA SOCIÉTÉ DU PARC JEAN-DRAPEAU

14 MAI 2018

Préparé pour la

Société du parc Jean-Drapeau (SPJD)

À l'attention de Mme Martine Primeau

Conseillère principale projets spéciaux et développement stratégique

Parc Jean-Drapeau

Pavillon du Canada, 1 circuit Gilles-Villeneuve, Montréal, QC, H3C 1A9



Ce rapport a été préparé par le Centre international de référence sur le cycle de vie des produits procédés et services (CIRAIG).

Fondé en 2001, le CIRAIG a été mis sur pied afin d'offrir aux entreprises et aux gouvernements une expertise universitaire de pointe sur les outils du développement durable. Le CIRAIG est un des plus importants centres d'expertise en cycle de vie sur le plan international. Il collabore avec de nombreux centres de recherche à travers le monde et participe activement à l'Initiative sur le cycle de vie du Programme des Nations Unies sur l'Environnement (PNUE) et de la Société de Toxicologie et de Chimie de l'Environnement (SETAC).

Le CIRAIG a développé une expertise reconnue en matière d'outils du cycle de vie incluant l'analyse environnementale du cycle de vie (ACV) et l'analyse sociale du cycle de vie (ASCV). Complétant cette expertise, ses travaux de recherche portent également sur l'analyse des coûts du cycle de vie (ACCV) et d'autres outils incluant les empreintes carbone et eau. Ses activités comprennent des projets de recherche appliquée touchant plusieurs secteurs d'activités clés dont l'énergie, l'aéronautique, l'agroalimentaire, la gestion des matières résiduelles, les pâtes et papiers, les mines et métaux, les produits chimiques, les télécommunications, le secteur financier, la gestion des infrastructures urbaines, le transport ainsi que de la conception de produits « verts ».

AVERTISSEMENT

À l'exception des documents entièrement réalisés par le CIRAIG, comme le présent rapport, toute utilisation du nom du CIRAIG ou de Polytechnique Montréal lors de communication destinée à une divulgation publique associée à ce projet et à ses résultats doit faire l'objet d'un consentement préalable écrit d'un représentant dûment mandaté du CIRAIG ou de Polytechnique Montréal.

CIRAIG

Centre interuniversitaire de recherche
sur le cycle de vie des produits, procédés et services
École Polytechnique de Montréal
Département de génie chimique
2900, Édouard-Montpetit
Montréal (Québec) Canada
C.P. 6079, Succ. Centre-ville
H3C 3A7

www.ciraig.org

Rapport soumis par :
BUREAU DE LA RECHERCHE ET CENTRE DE
DÉVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE (B.R.C.D.T.)
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Université de Montréal Campus
C.P. 6079, Succ. Centre-ville
Montréal (Québec) H3C 3A7

Équipe de travail

Réalisation

Dominique Maxime, Ph.D.

Réalisation de l'étude



Collaboration

Sophie Fallaha, M.Sc.A.
Directrice exécutive

Coordination du projet



Direction de projet

Pr Réjean Samson, ing., Ph.D.
Directeur général, CIRAIG

Direction scientifique du projet



Résumé

La Société du parc Jean-Drapeau (SPJD) a mandaté le CIRAIG afin d'établir un portrait préliminaire des impacts environnementaux associés aux opérations et activités de la SPJD. Bien que l'intention initiale fût d'inclure également les impacts associés aux autres acteurs insulaires, afin de dresser un portrait environnemental de l'ensemble du territoire des îles du parc Jean-Drapeau, le cadre de l'étude s'est d'emblée restreint aux opérations et activités de la SPJD pour lesquelles les données nécessaires étaient disponibles en temps voulu. Ce portrait environnemental alimente l'information recueillie pour supporter la Politique de développement durable de la SPJD adoptée en 2009, en ligne avec celui de la Ville de Montréal.

L'analyse environnementale porte donc sur les activités délimitées à la Figure 1, considérant une année de fonctionnement (2016). La mobilité étant un enjeu clé pour le parc Jean-Drapeau, les déplacements des personnes ont toutefois été considérés pour l'ensemble des acteurs insulaires.

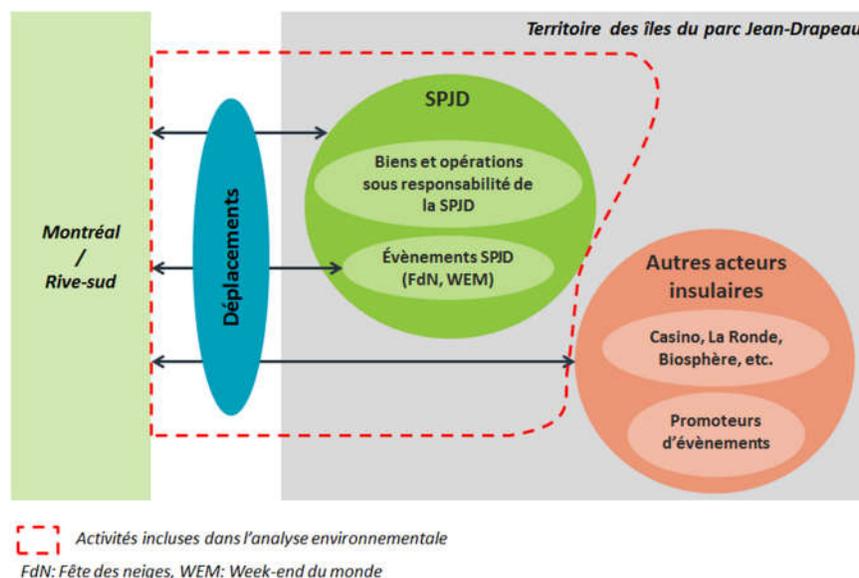


Figure 1 - Frontières du système à l'étude.

Méthodologie de l'analyse environnementale

Une analyse environnementale Entrées-Sorties (ES-E) a été utilisée. Cette approche est adaptée à l'étude de systèmes qui impliquent de très nombreux produits et services très variés lorsque réaliser l'analyse de cycle de vie traditionnelle de chacun d'eux n'est pas possible (données individuelles non disponibles ou difficilement accessibles, fardeau de travail trop élevé).

L'analyse environnementale propose une perspective « cycle de vie » grâce à laquelle :

- Les impacts sont évalués en considérant toutes les activités humaines impliquées pour permettre l'approvisionnement des biens et des services requis (extraction des ressources, fabrication des biens, création des services, gestion des déchets générés par ces activités amonts);

- Dans le cas des services, l'analyse environnementale inclut jusqu'à la livraison du service, c'est-à-dire sa réalisation¹, et pour les produits énergétiques (carburant pour les transports, pour les véhicules de la SPJD, électricité et gaz naturel consommés sur les îles pour les activités dans les bâtiments), les impacts de leur utilisation est également incluse;
- La fin de vie des biens acquis durant l'année 2016 (qu'elle ait eu lieu en 2016 ou qu'elle survienne dans le futur pour les biens durables) n'est pas incluse de façon systématique. Toutefois, des services de gestion des matières résiduelles payés en 2016 vont inclure les impacts de la fin de vie de déchets générés en 2016 et qui peuvent concerner des biens durables acquis dans le passé.

Enfin, l'analyse environnementale réalisée est multicritères : non seulement sont considérés les impacts sur le changement climatique causés par les émissions de gaz à effet de serre (GES), mais aussi les dommages sur la santé humaine et sur la qualité des écosystèmes causés par d'autres types d'émissions.

Impacts de la SPJD

La SPJD au travers de ses opérations et son fonctionnement (barre orange sur la Figure 2) ainsi qu'au travers des déplacements de ses employés, des promeneurs du parc et des visiteurs pour la Fête des neiges et les Week-end du monde (barre bleue « Mobilité SPJD » sur la Figure 2) a émis, respectivement, 4 740 et 3 370 tonnes CO₂ équivalents (t CO₂eq) de GES pour l'année 2016. Cela représente 19% (11% et 8%) de l'ensemble des GES du système évalué incluant les déplacements associés aux autres acteurs insulaires (un peu plus de 42 200 t CO₂eq).

Pour les deux autres indicateurs environnementaux de dommages sur la santé humaine et sur les écosystèmes, les profils de distribution des sources sont assez similaires (voir Figure 4-2 et Figure 4-3 dans le corps du rapport). Les opérations et le fonctionnement de la SPJD contribuent pour 4.4% aux dommages sur la santé humaine et pour 14.5% aux dommages sur la qualité des écosystèmes. Pour les GES, le détail des sources se répartissent selon les postes présentés à la Figure 3. Ainsi, les déplacements associés à la SPJD et ses visiteurs sont la première source de GES, suivi de l'ensemble des énergies consommées dans les opérations de la SPJD.

Il convient de garder à l'esprit que si, en plus des déplacements, les opérations et activités des autres acteurs insulaires (le Casino, la Ronde, la Biosphère, et les évènements tels les festivals, concerts, feux d'artifices, grand-prix de Formule 1, etc.) étaient ajoutées à l'analyse, les contributions i) de la SPJD et ii) des déplacements seraient significativement plus faibles.

¹ Par exemple, pour un service de construction ou de réparation, l'analyse inclut aussi les déplacements d'ouvriers, le transport de matériaux, l'utilisation de la machinerie nécessaire, la gestion des déchets générés sur le site. Le carburant consommé par la machinerie de l'entrepreneur et les impacts de sa combustion sont inclus.

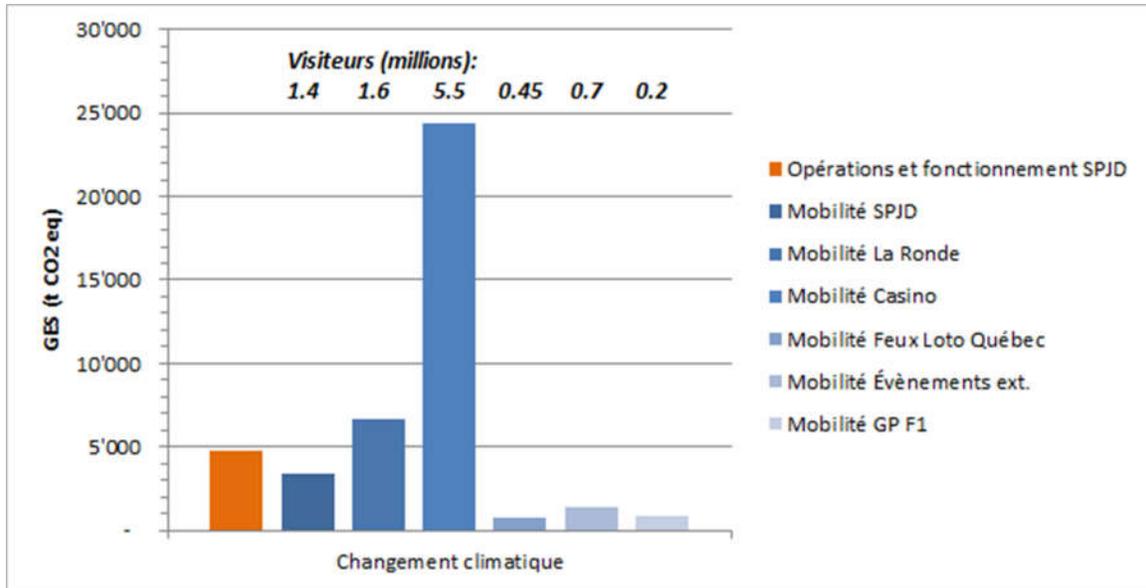


Figure 2 - Sources des émissions de GES pour l'année 2016 pour l'ensemble du système. (achalandage associé à chaque groupe de mobilité, en millions de visiteurs)

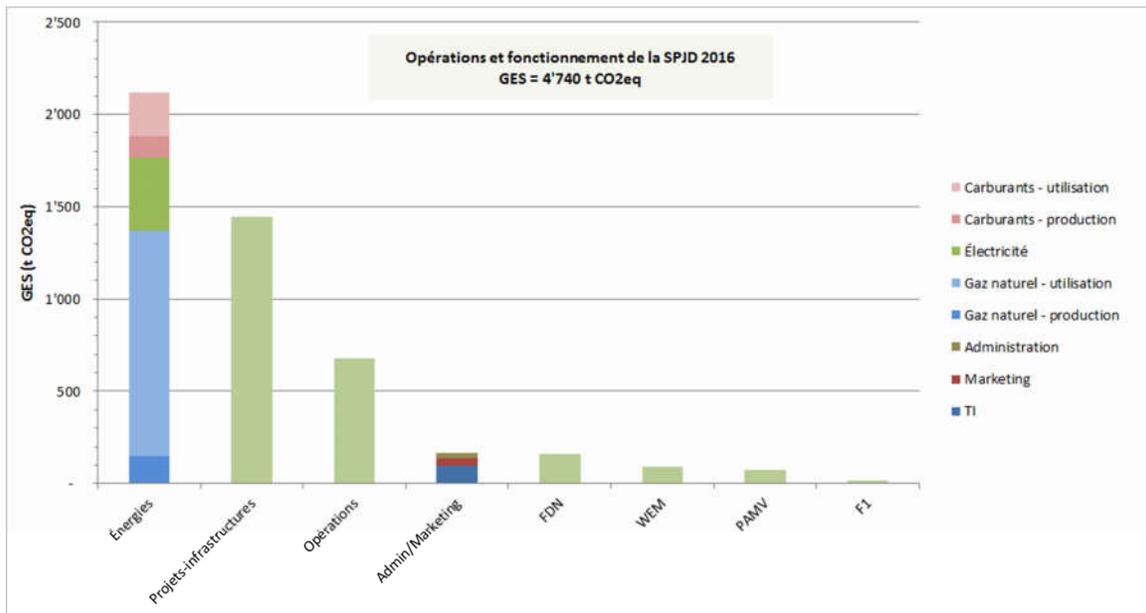


Figure 3 - Sources des GES associés aux opérations et au fonctionnement de la SPJD. (FDN : Fête des neiges, WEM : Week-end du monde, PAMV : plan d'aménagement et de mise en valeur du parc, F1 : travaux infrastructures paddocks et circuits du grand prix de F1, TI : technologies de l'information)

Impacts des opérations et du fonctionnement la SPJD

Plus spécifiquement, les principales sources des GES sont, par ordre d'importance :

- Les grands projets reliés aux infrastructures et la consommation de gaz naturel sont les deux sources majeures (30% et 29%, respectivement)
 - Projets – infrastructures : Toiture du Pavillon du Canada, Aménagement du secteur Ouest de l'île Ste-Hélène ;
 - Gaz naturel : Complexe aquatique (42%), Pavillon du Canada et autres (35%), Services techniques (14%).
- les approvisionnements pour les opérations et la maintenance (14%, dont les services et travaux arboricoles et l'acquisition de véhicules et machineries) ;
- la consommation d'électricité (8%) ;
- le carburant (8%) pour la flotte de véhicules et les machines.

Hormis une contribution réduite des produits pétroliers, les deux autres indicateurs environnementaux relatifs à la santé humaine et à la qualité des écosystèmes révèlent sensiblement les mêmes niveaux de contribution.

Recommandations

Les actions de réduction des impacts sous la responsabilité de la SPJD devraient cibler, par ordre de priorité:

- La mobilité : cet enjeu territorial rejoint des actions qui doivent être décidées conjointement entre les acteurs insulaires et autres partenaires dont la Ville de Montréal et la Société des transports de Montréal. Elles devraient viser :
 - réduire le nombre de véhicules à passager unique (favoriser le co-voiturage) ;
 - promouvoir les transports en commun et actifs;
 - promouvoir l'électrification des transports.
- L'énergie consommée dans les opérations :
 - auditer en particulier la consommation de gaz naturel au long terme des infrastructures, en particulier le complexe aquatique (42% des GES associés au gaz naturel) ;
 - identifier les efficacités énergétiques potentielles et les récupérations de chaleur possibles ;
 - évaluer le potentiel des énergies de sources renouvelables disponibles sur les îles à fournir la demande énergétique requise (y incluses les pointes de demande).
- Les chantiers majeurs de construction et de réparation d'infrastructures :
 - En particulier, toute réduction de la fabrication de ciment et béton vierge (p.ex. par l'ajout d'agrégats cimentaires aux matériaux utilisés), toute réduction de matériaux métalliques, des peintures, des adhésifs achetés par l'entrepreneur, ou encore favoriser un approvisionnement local qui réduit les distances de transport, contribuera à la réduction des GES et des autres impacts ;
 - Sur la base de ces constats, la SPJD peut exercer un rôle dans ses exigences contractuelles au travers de critères spécifiques dans ses appels d'offres de travaux de construction. Ils peuvent aussi concerner la consommation de carburant, le contrôle des émissions des véhicules et des machines-outils, la formation des conducteurs des machines à l'éco-conduite, etc.;

- Les services d'architecture et de génie :
 - la SPJD peut mettre en place une entente avec ses fournisseurs de tels services pour que ses déplacements soient réduits et optimisés.
- Les carburants consommés :
 - Continuer la transition déjà engagée vers plus de véhicules hybrides ou électriques dans la flotte de la SPJD ;
 - Promouvoir l'éco-conduite auprès des employés.

Cette étude préliminaire se veut un premier pas vers une analyse territoriale complète où tous les acteurs insulaires seraient impliqués pour contribuer à une étude transversale et co-construire des options de réponses qui répondent aux enjeux et aux attentes de tous. Durant cette étude, les contacts pris avec certains des acteurs insulaires ont montré leur intérêt et leur désir de participer à une étude plus complète. Une telle étude supportera un plan stratégique de développement durable pour l'ensemble du territoire des îles du parc Jean-Drapeau et aidera à élaborer une feuille de route cohérente et ambitieuse. Différentes autres pistes d'amélioration sont également proposées en fin de rapport pour accroître la robustesse et la complétude d'une étude ultérieure.

Table des matières

FIGURES	X
TABLEAUX	X
LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SIGLES	XI
1 MISE EN CONTEXTE	12
2 OBJECTIFS ET CHAMP DE L'ÉTUDE	13
2.1 OBJECTIFS.....	13
2.2 CHAMP DE L'ÉTUDE.....	13
2.2.1 <i>Description du système étudié et de ses frontières</i>	13
2.2.2 <i>Note sur les acteurs et activités exclus de l'étude</i>	14
3 MÉTHODOLOGIE	16
3.1 METHODE D'ANALYSE.....	16
3.1.1 <i>Outil et modèle</i>	16
3.1.2 <i>Indicateurs d'impacts environnementaux</i>	17
3.1.3 <i>Émissions de l'utilisation des produits énergétiques achetés</i>	17
3.1.4 <i>Impact des déplacements</i>	18
3.2 DONNEES.....	18
3.2.1 <i>Achats de la Société du parc Jean-Drapeau</i>	18
3.2.2 <i>Déplacements</i>	18
4 RÉSULTATS	20
4.1 VUE D'ENSEMBLE DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX.....	20
4.1.1 <i>Changement climatique</i>	20
4.1.2 <i>Santé humaine et qualité des écosystèmes</i>	20
4.2 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA MOBILITE ASSOCIEE AUX VISITEURS SUR LES ILES DU PARC JEAN-DRAPEAU.....	21
4.3 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES OPERATIONS ET DU FONCTIONNEMENT DE LA SPJD.....	22
4.3.1 <i>Changement climatique</i>	23
4.3.2 <i>Autres indicateurs environnementaux</i>	23
4.3.3 <i>Détails des opérations et du fonctionnement de la Société du parc Jean-Drapeau</i>	24
5 RECOMMANDATIONS	26
6 PISTES DE SOLUTIONS POUR PALIER AUX LIMITES DE L'ÉTUDE	28
7 RÉFÉRENCES	30
ANNEXE A.0 : MÉTHODE D'ANALYSE ENVIRONNEMENTALE ENTREES-SORTIES (ES-E)	32
ANNEXE A.1 : CODES DE PRODUITS DES ENTRÉES-SORTIES (IOCC), 2009, NIVEAU LIEN 1961, UTILISÉS DANS OPEN IO-CANADA	39
ANNEXE A.2 : LIMITATIONS DE OPEN IO-CANADA (V1.0)	40
ANNEXE A.3 : CONVERSION DES ACHATS D'ÉNERGIES	43
ANNEXE A.4 : MODÉLISATION DE L'UTILISATION DES PRODUITS ÉNERGÉTIQUES ET DES MODES DE DÉPLACEMENT	45
ANNEXE A.5 : TABLE DES TAUX D'INFLATION CATÉGORIELS UTILISÉS AVEC LES BIENS ET SERVICES DE LA CLASSIFICATION IOCC UTILISÉE DANS OPEN IO-CANADA	47

ANNEXE B : MÉTHODE IMPACT 2002+	48
ANNEXE D : AUTRES RÉSULTATS D'IMPACT	51

Figures

Figure 2-1 : Frontières du système à l'étude.....	13
Figure 2-2 : Étapes du cycle de vie considérées dans les frontières du système.....	14
Figure 4-1 : Contributeurs à l'indicateur changement climatique. (achalandage associé à chaque groupe de mobilité, en millions de visiteurs)	20
Figure 4-2 : Contributeurs à l'indicateur santé humaine.	21
Figure 4-3 : Contributeurs à l'indicateur qualité des écosystèmes.....	21
Figure 4-4 : Acteurs insulaires associés aux GES des déplacements.....	22
Figure 4-5 : Contribution relative des opérations et de la mobilité pour la SPJD pour trois indicateurs environnementaux.....	23
Figure 4-6 : Sources des GES associés aux opérations et au fonctionnement de la SPJD. (FDN : Fête des neiges, WEM : Week-end du monde, PAMV : plan d'aménagement et de mise en valeur du parc, F1 : travaux infrastructures paddocks et circuits du grand prix de F1, TI : technologies de l'information).....	24
Figure 4-7 : GES selon les biens et services acquis pour les « Projets – Infrastructures » des activités de la SPJD.....	25
Figure 5-1 : Principaux contributeurs des GES émis en amont du cycle de vie pour la construction de bâtiments (à gauche) et pour des services d'architecture et de génie (à droite).	27
Figure 6-1 : Tableau non normalisé d'entrées-sorties (exemple fictif simplifié de 3 produits). ...	34
Figure 6-2 : Catégories de dommage et catégories d'impacts de la méthode IMPACT 2002+.....	49

Tableaux

Tableau 3-1 : Regroupements des déplacements, achalandages, modes de transport et distances considérées.....	19
--	----

Liste des abréviations et sigles

ACV	Analyse du cycle de vie
CA-QC	Canada, Québec (localisation pour processus base de données ecoinvent)
CC	Changement climatique
CIRAIG	Centre international de référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services
CO ₂	Dioxyde de carbone
CO ₂ eq	Équivalent dioxyde de carbone
DALY	<i>Disability-adjusted life years</i>
E/S	Entrées/Sorties
E/S-E ou ES-E	Entrées/Sorties Environnementales
ÉICV	Évaluation des impacts du cycle de vie (appelé ACVI par ISO)
FDN	Fête des neiges
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC en anglais)
GLO	<i>Global</i> (localisation pour processus base de données ecoinvent)
GJ	Gigajoule
GWP	<i>Global warming potential</i> (potentiel de réchauffement global)
HT	Hors taxes
ICV	Inventaire du cycle de vie
IOCC	Classification des produits du système Entrées-Sorties (<i>Input Output Commodity Classification</i>)
IOIC	Classification des industries du système Entrées-Sorties (<i>Input Output Industry Classification</i>)
kWh	kiloWatt-heure
L	Litres
MJ	Mégajoule
MWh	MegaWatt-heure
PAMV	Plan d'aménagement et de mise en valeur
PIB	Produit Intérieur Brut
PRC	Potentiel de réchauffement climatique (<i>GWP</i> en anglais)
QE	Qualité des écosystèmes
RoW	<i>Rest of the World</i> (localisation pour processus base de données ecoinvent)
SH	Santé humaine
SPJD	Société du Parc Jean-Drapeau
UNSPSC	United Nations Standard Products and Services Code
WEM	Week-end du monde

1 Mise en contexte

Les îles du parc Jean-Drapeau forment un territoire sur lequel ont lieu différentes activités humaines. La Société du parc Jean-Drapeau (SPJD) gère le territoire et assure les opérations d'entretien des îles et de leurs infrastructures. La SPJD offre également des services récréotouristiques aux visiteurs du parc, dont l'organisation de certains gros événements sous sa responsabilité (Fête des neiges, Week-end du monde).

D'autres acteurs insulaires ont également des responsabilités sur le territoire aux travers de l'offre de services très divers se déroulant à l'année longue (le Casino de Montréal), de façon saisonnière (la Ronde), de façon récurrente (comme les différents spectacles, concerts et festivals, les feux d'artifice) voire ponctuelle (p.ex. le Grand Prix de Formule 1). Le Casino et la Ronde sont les deux acteurs insulaires pleinement responsables de leurs infrastructures (bâtiments, manèges et autres installation récréatives) et propriétaire (pour le Casino) ou locataire long terme (pour la Ronde) du terrain qu'ils occupent sur les îles du parc Jean-Drapeau.

La SPJD a mandaté le CIRAIG afin d'établir un portrait préliminaire des impacts environnementaux associés aux opérations et activités de la SPJD prenant place sur le territoire du parc Jean-Drapeau en 2016. Ce portrait environnemental actualisé permettra de prioriser les actions à mettre en œuvre par la SPJD, et de guider sa démarche de suivi et d'amélioration, en particulier sur les enjeux mondiaux actuels de lutte contre les changements climatiques et de la mobilité durable. Cette démarche s'inscrit dans une stratégie locale et nationale où le développement durable est un fil conducteur, en accord avec les engagements de la Ville de Montréal (Plan Montréal durable 2016-2020), les lois et stratégies provinciales et fédérales, et les principes et objectifs de développement durable recommandés par l'ONU (Ellio, 2017). En particulier, Montréal s'engage à réduire ses émissions de gaz à effet de serre (GES) de 30% comparativement au niveau de 1990 et de 80% d'ici à 2050, et à devenir le leader nord-américain en électrification des transports et en mobilité durable d'ici 2020. Ces engagements se concrétiseront dans les choix et les décisions en matière de pratiques de gestion du Parc, de préservation de ses espaces verts et de réduction des sources d'émission de GES (SPJD, 2018).

2 Objectifs et champ de l'étude

2.1 Objectifs

Plus spécifiquement les objectifs de l'étude consistent à :

- d'établir un portrait préliminaire des impacts environnementaux associés aux opérations et activités de la SPJD ayant lieu sur les îles du parc Jean-Drapeau en 2016;
- Révéler les contributeurs aux impacts pour identifier des axes stratégiques d'action et pour élaborer des recommandations en matière de projets porteurs possibles.

2.2 Champ de l'étude

2.2.1 Description du système étudié et de ses frontières

L'étude se focalise sur les **activités et les opérations sous la responsabilité de la SPJD** menées durant l'année **2016**. Ces activités incluent les deux événements annuels dont la SPJD est le promoteur, soit la Fête des neiges et les Week-end du monde. La mobilité étant un enjeu clé pour le parc Jean-Drapeau, tous les déplacements des visiteurs du parc et des participants aux événements ayant lieu sur les îles sont également considérés. La Figure 2-1 schématise les frontières du système étudié.

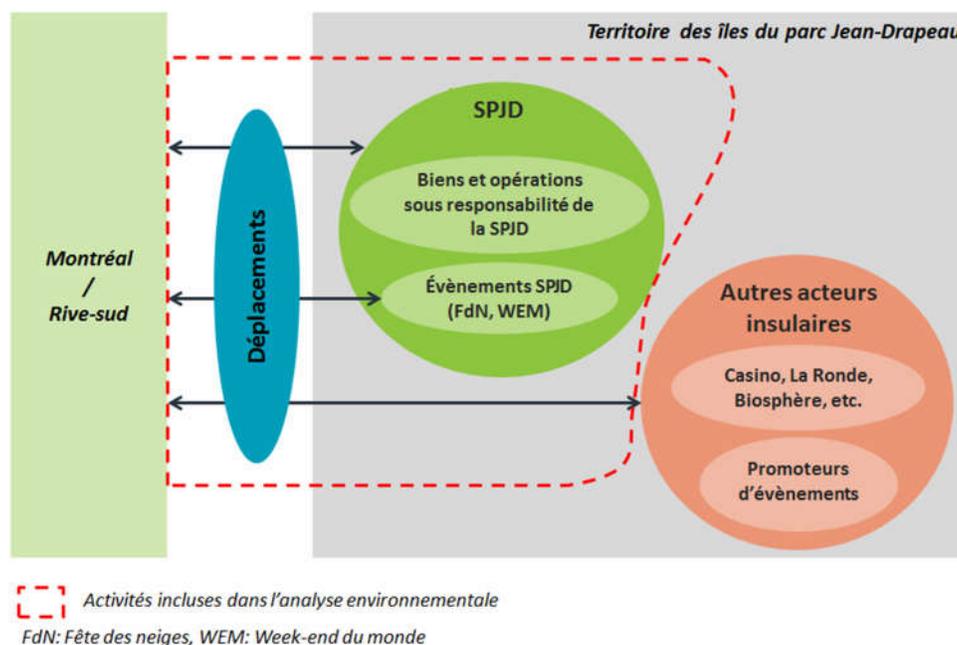


Figure 2-1 : Frontières du système à l'étude.

Il est **hors du champ** de cette étude préliminaire d'évaluer les impacts :

- associés aux activités des autres acteurs insulaires que la SPJD, entres autres le Casino de Montréal, la Ronde, la Biosphère, les compagnies organisatrices d'évènements dont la SPJD n'est pas le promoteur (spectacles, festivals, Grand Prix de F1) ;
- associés aux achats réalisés par les employés de la SPJD à titre individuel en lien avec des activités comme les repas hors mission/déplacement professionnel.

Dans le cadre de cette étude, les impacts environnementaux sont évalués au travers des dépenses en biens et services effectuées par la SPJD pour assurer ses opérations et le fonctionnement du parc Jean-Drapeau, ainsi qu'au travers des déplacements des visiteurs des îles, à partir des données disponibles fournies par la SPJD. Ces données sont décrites plus bas à la section 3.2.

Les impacts sont évalués en suivant une approche cycle de vie. Les étapes du cycle de vie des acquisitions considérées dans l'évaluation environnementale sont représentées sur la Figure 2-2.

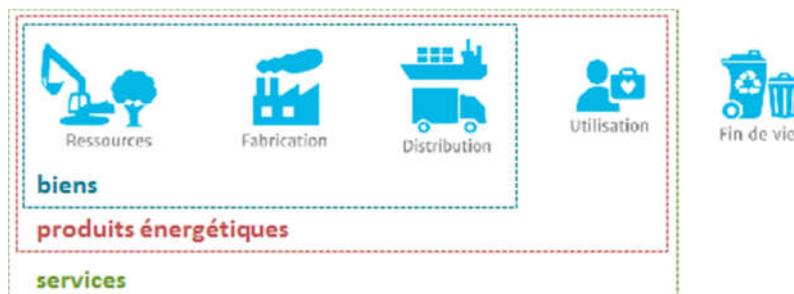


Figure 2-2 : Étapes du cycle de vie considérées dans les frontières du système.

L'étape d'utilisation des produits énergétiques pétroliers achetés (essence, gaz naturel, etc.), c'est-à-dire leur combustion et les impacts qui en résultent, est aussi considérée. Ainsi, au travers des achats en produits énergétiques mais aussi en électricité, l'étape d'utilisation de biens acquis consommant de telles ressources est considérée (p.ex. véhicules, produits électriques et électroniques), tout du moins pour l'aspect de leurs consommables en énergie.

Pour les services achetés, les émissions directes par le fournisseur de services sont incluses. Par exemple, lorsque la SPJD achète un service de travaux de construction, le carburant consommé par l'entrepreneur et les émissions de sa combustion sont incluses. Le traitement des déchets qu'il génère est considéré (par exemple des déchets de construction ou de réparation de bâtiments).

Bien que l'étape de **fin de vie** des biens achetés en 2016 ne soit pas modélisée comme telle, elle est toutefois **en partie estimée** au travers des achats de services de gestion de fin de vie. La section suivante de description méthodologique fournit des explications à ce sujet.

2.2.2 Note sur les acteurs et activités exclus de l'étude

Comme mentionné plus haut, les impacts associés aux activités des autres acteurs insulaires que la SPJD ne sont pas considérés. L'objectif initial de cette étude était d'inclure l'ensemble des activités de tous les acteurs insulaires, afin d'offrir une **perspective territoriale** et de dresser un

portrait environnemental complet des activités ayant lieu sur le territoire des îles du parc Jean-Drapeau. Il aurait alors été plus facile d'identifier les priorités d'actions ainsi que les acteurs insulaires et les parties prenantes à impliquer dans des projets cohérents de réduction des impacts environnementaux.

La participation de tous les autres acteurs insulaires dans les délais prévus pour le présent mandat n'a malheureusement pas pu être obtenue. L'étude réalisée est donc incomplète à ce titre et ne fournit qu'un portrait partiel des impacts associés au territoire du parc Jean-Drapeau. Ainsi, hormis les déplacements, les opérations et activités du Casino, de la Ronde, de la Biosphère, des événements tels les festivals, concerts, feux d'artifices, grand-prix de Formule 1, etc. n'ont donc pas été considérées.

Enfin, les aspects suivants n'ont pas pu être évalués :

- par manque d'information disponible sur les volumes d'eau prélevée, l'utilisation de l'eau directement sur le site du parc Jean-Drapeau n'a pas pu être quantifiée.
- par manque de données disponibles sur les ventes de services alimentaires durant les événements dont la SPJD est le promoteur (Fête des neiges et les Week-end du monde), les impacts associés à ces produits et services n'ont pas pu être quantifiés.

3 Méthodologie

Ce chapitre présente la méthodologie développée pour la réalisation du projet. Plus de détails méthodologiques sont rapportés dans les annexes A et B.

3.1 Méthode d'analyse

La méthodologie proposée pour l'étude repose sur l'**analyse environnementale Entrées-Sorties (ES-E)** dérivée de l'analyse économique Entrées-Sorties (ES). L'analyse ES-E est couramment utilisée pour réaliser des analyses environnementales dans des situations où l'ACV traditionnelle est moins adaptée. C'est particulièrement le cas lorsque le système à l'étude implique de très nombreux produits et services et que réaliser l'ACV de chacun d'eux pour modéliser le système n'est finalement pas possible (données individuelles non disponibles ou difficilement accessibles, fardeau de travail trop élevé). Avec cette méthodologie, les impacts environnementaux sont évalués à partir des **montants** des biens et services achetés, classifiés selon leur type.

3.1.1 Outil et modèle

L'outil d'analyse utilisé est une adaptation de *openIO-Canada*. *Open IO-Canada* est un modèle ES-E canadien développé par le CIRAIG en 2014. Les données environnementales qu'il considère sont les **émissions de GES** et l'**utilisation d'eau** (prélèvements directs de l'environnement et acquisition des services publics d'approvisionnement) selon les Comptes de l'environnement de Statistique Canada et les **émissions de polluants toxiques à l'air, à l'eau et au sol** selon l'Inventaire national des rejets de polluants d'Environnement Canada (INRP). L'adaptation de *openIO-Canada* concerne i) la modification du modèle pour y intégrer la production **d'électricité au Québec** et ii) le calcul des émissions liées à l'étape **d'utilisation des produits énergétiques achetés**. Le modèle économique de *openIO-Canada* distingue plus de 420 types de biens et services différents qui couvrent l'ensemble des activités économiques Canadiennes et pour chacun desquels les impacts environnementaux sont calculables. Il faut noter que ces biens et services sont identifiés selon la classification IOCC de Statistique Canada (*Input-Output Commodity Classification*), différente de la classification UNSPSC des contrats d'achats utilisée par la SPJD.

Fin de vie des achats de la SPJD :

De nombreux contrats sont passés qui, inévitablement, vont inclure la gestion par l'entrepreneur lui-même des matières résiduelles générées: par exemple, les contrats de réparation et maintenance ou démolition de bâtiments ou de structures de génie civil, de construction, de services d'entretien des routes, etc. En fait, à l'instar des émissions directes de l'étape d'utilisation par un fournisseur, la fin de vie des matières résiduelles gérée par un fournisseur de services est incluse dans le modèle d'analyse et ses impacts sont évalués.

Des données d'achats concernent aussi des contrats passés par la SPJD pour la collecte et la gestion des matières résiduelles. On peut penser que ces matières résiduelles concernent essentiellement des acquisitions antérieures à 2016 qui sont devenues matières résiduelles en 2016. Leur fin de vie et les impacts associés se trouvent donc évalués dans l'étude.

Ainsi, et afin d'éviter tout double-comptage, l'étape de fin de vie des biens achetés en 2016 n'est pas modélisée. On fait l'hypothèse qu'au travers des services de gestion de fin de vie cités ci-dessus qui se rapportent à des biens acquis antérieurement, on « capture » les impacts de ce que sera la fin de vie des biens achetés en 2016.

La méthodologie, l'outil *openIO-Canada* utilisé, ainsi que les **limites du modèle d'analyse** sont décrits plus en détail à l'annexe A0.

3.1.2 Indicateurs d'impacts environnementaux

L'évaluation des émissions de GES, représentées par l'indicateur **Changement climatique**, a été réalisée à l'aide de la méthode « IPCC 2007 », considérant le forçage radiatif cumulé sur un horizon de 100 ans. Cette méthode se base sur les potentiels de réchauffement climatiques (PRCs) publiés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC ou IPCC en anglais) en 2007. Ces facteurs sont en accord avec ceux présentement utilisés pour les rapports d'inventaire des GES des gouvernements du Québec et du Canada ainsi que dans les comptes environnementaux de Statistique Canada.

L'indicateur **Utilisation d'eau** ne représente que la somme des volumes d'eau prélevée directement de l'environnement et d'eau acquise des services publics d'approvisionnement.

L'évaluation des impacts environnementaux potentiels autres que le changement climatique et l'utilisation de l'eau est réalisée à l'aide de la méthode IMPACT 2002+ décrite à l'Annexe B. La méthode propose ainsi les indicateurs *Santé humaine* et *Qualité des écosystèmes*.

L'indicateur **Santé humaine** prend en compte les substances ayant des effets toxiques (cancérogènes et non cancérogènes) et respiratoires, produisant des radiations ionisantes et qui contribuent à la destruction de la couche d'ozone. Afin d'évaluer le facteur de dommage à la santé humaine, la gravité de la maladie potentiellement causée par ces substances est exprimée en DALY - *Disabled Adjusted Life Years*.

L'indicateur **Qualité des écosystèmes** regroupe les impacts liés à la toxicité aquatique et terrestre, à l'acidification et à l'eutrophisation aquatique, à l'acidification et à la nutrification terrestre et à l'occupation des terres. Elle est quantifiée en fraction d'espèces potentiellement disparues, sur une surface donnée et durant une certaine période de temps, par kilogramme de substance émise (PDF*m²*an/kg).

Il est important de garder à l'esprit que les résultats de l'évaluation représentent pour les indicateurs *Changement climatique*, *Santé humaine* et *Qualité des écosystèmes* des impacts environnementaux **potentiels** et non réels. Il s'agit d'expressions relatives qui ne permettent pas de prédire les impacts finaux ou le risque sur les milieux récepteurs et le dépassement des normes ou marges de sécurité.

3.1.3 Émissions de l'utilisation des produits énergétiques achetés

La base de données d'inventaire de cycle de vie (ICV) *ecoinvent v3.2* est utilisée pour en extraire les données d'émissions directes à l'environnement lors de la combustion des carburants et produits pétroliers achetés. Pour un même produit énergétique, les émissions sont parfois dépendantes des usages (p.ex. diesel pour véhicule vs. diesel pour machinerie). Les processus *ecoinvent* utilisés et certaines hypothèses sous-jacentes nécessaires aux calculs sont rapportés en annexe A4.

3.1.4 Impact des déplacements

Les impacts des déplacements ne sont pas estimés avec l'outil Open IO-Canada qui utilise des données financières mais selon une approche d'analyse de cycle de vie standard, en se basant sur les données d'achalandage et les modes de transport correspondants. Les déplacements sont d'abord modélisés à l'aide de la base de données ICV *ecoinvent v3.2* afin d'estimer les émissions associées à chaque mode de déplacement. Les scores d'impact sont ensuite calculés à partir des émissions à l'aide de la même méthode IMPACT2002+. Les processus *ecoinvent* utilisés et certaines hypothèses sous-jacentes nécessaires aux calculs sont rapportés en annexe A4. Les autres données, sources et hypothèses sur l'achalandage et les modes de transport sont décrites ci-dessous.

3.2 Données

3.2.1 Achats de la Société du parc Jean-Drapeau

Les données d'achats suivantes ont été fournies par la SPJD. Elles concernent :

- Les contrats d'achats passés par appel d'offre entre le 1 janvier et le 31 décembre 2016 qui concernent diverses catégories de biens et services. Ceux-ci sont aussi regroupés selon une classification interne à la SPJD. Ces achats représentent près de 12 millions de dollars, hors taxes.

Dans le cas de contrats attribués en 2016 qui couvrent la livraison à la SPJD d'un bien ou d'un service durant plusieurs années, une imputation du montant sur la période concernée a été réalisée, avec validation par la SPJD. Ainsi, le montant réellement évalué s'élève à 11.1 millions de dollars, hors taxes (86%).

- Les achats en produits énergétiques de la SPJD sur la même période, selon les factures Hydro-Québec pour l'électricité, les factures gaz Métro pour le gaz naturel, et une compilation interne des achats d'essence et de diesel pour les carburants consommés par la flotte de véhicules et par les machines-outils de la SPJD.

3.2.2 Déplacements

Les données sur l'achalandage et les modes de transport des personnes sont issues de diverses sources :

- Principalement, la synthèse « Mobilité au parc Jean-Drapeau : portrait, enjeux et orientations » (Ville de Montréal, 2017);
- Le calendrier des événements annuels sur les îles, avec un estimé du nombre de participants (SPJD 2017, communication personnelle);
- Le nombre d'employés de la SPJD : 232 personnes équivalent temps-plein en 2016 (SPJD, 2017, communication personnelle);
- Les résultats des sondages CROP auprès des festivaliers et spectateurs pour les événements type Osheaga, ÎleSoniq, etc. (Evenko, 2017);
- Le portrait de la mobilité des Montréalais (STM, 2016).

Pour simplifier la modélisation et la présentation ultérieure des résultats, des regroupements de mobilité sont réalisés et décrits au Tableau 3-1. Dans tous les cas, seul les transports depuis un point de départ à Montréal (ou la rive Sud) sont considérés. C'est-à-dire que sont exclus les

déplacements de personnes qui doivent se rendre d'abord à Montréal depuis l'étranger ou ailleurs du Québec ou d'une autre province. Cela peut représenter une part importante des visiteurs pour certains évènements tels le grand prix de F1 ou les festivals (Evenko, 2017) ou encore pour le Casino de Montréal. Toutefois, pour ces déplacements, non seulement l'information de l'origine n'est pas disponible, mais ils devraient être alloués en partie seulement au déplacement sur les îles puisque ces personnes visitent également d'autres endroits à Montréal ou sa région durant leur séjour. Les distances de transport sont des estimations à partir de données géographiques (Google maps) et de l'étude STM (2016). Enfin, les transports par navette fluviale et les déplacements piétons sont exclus car plutôt marginaux (1% et 2% des visiteurs pour la SPJD, respectivement). Le total de la répartition des modes de transport peut dépasser 100% en raison du transport multimodal (autobus et métro par exemple).

Tableau 3-1 : Regroupements des déplacements, achalandages, modes de transport et distances considérées

Regroupement	Achalantage 2016	Mode de transport			
		Voiture (pers./véhic. ; km)	Vélo	Métro	Autobus
Mobilité Casino	5 457 359	80% (2 pers; 30 km)		10% (+6 km bus)	10%
Mobilité La Ronde	1 620 154	61% (2.6 pers; 46 km)		39%	
Mobilité SPJD (visiteurs + FdN et WEM)	1 449 611	32% (2 pers; 36 km)	13% (20 km)	52%	
Mobilité SPJD (employés)	54 520	59% (2 pers; 36 km)	2% (20 km)	34%	5% (36 km)
Mobilité Les Feux d'artifice	440 000	25% (2 pers; 30 km)	10% (20 km)	75% (+15 km bus)	20%
Mobilité des autres évènements (Picnik, Osheaga, etc.)	698 305	31% (2.3 pers; 36 km)	1% (20 km)	76% (+15 km bus)	10%
Mobilité Grand Prix de F1	195 000	80% (2 pers; 30 km)		10% (+6 km bus)	20%

4 Résultats

Une première section de ce chapitre présente d'abord une vue d'ensemble des impacts environnementaux selon leurs sources, et selon les indicateurs changement climatique (CC), santé humaine (SH) et qualité des écosystèmes (QE). Par la suite, les résultats sont présentés et discutés plus en détail.

4.1 Vue d'ensemble des impacts environnementaux

4.1.1 Changement climatique

Sur l'année 2016, pour l'ensemble du système à l'étude, les émissions de GES s'élèvent à un peu plus de 42 200 tonnes CO₂ équivalents (t CO₂eq). La SPJD au travers de ses opérations et son fonctionnement ainsi qu'au travers des déplacements des employés, promeneurs du parc et visiteurs pour la Fête des neiges et les Week-end du monde, contribue pour 19% de cet impact, soit 8 110 t CO₂eq. La Figure 4-1 présente les contributions des autres groupes de déplacements. De loin, les déplacements associés au Casino de Montréal constituent le plus gros poste de contribution (58%).

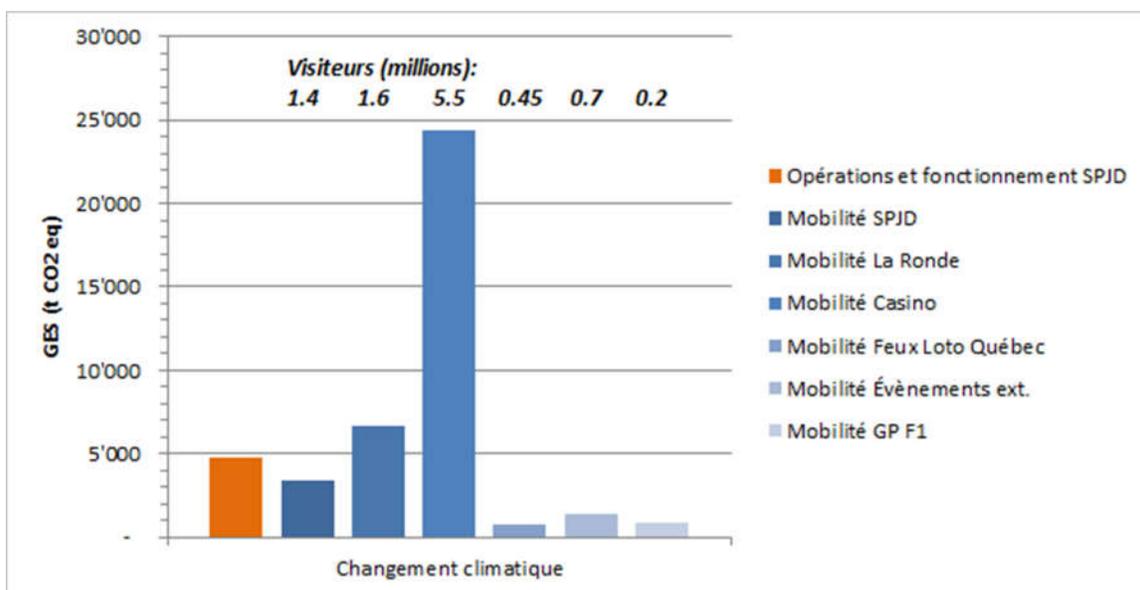


Figure 4-1 : Contributeurs à l'indicateur changement climatique.
(achalandage associé à chaque groupe de mobilité, en millions de visiteurs)

4.1.2 Santé humaine et qualité des écosystèmes

La Figure 4-2 et la Figure 4-3 présentent les mêmes résultats pour les deux indicateurs santé humaine et qualité des écosystèmes, respectivement. La SPJD cumule 13% des dommages sur la SH et 22% pour la QE. On observe à la Figure 4-2 que les déplacements contribuent relativement plus au dommage sur la SH que les activités du fonctionnement de la SPJD. Ceci est surtout causé par les polluants atmosphériques émis lors de la production de l'essence pour les

véhicules (hydrocarbures aromatiques) et lors de la fabrication des véhicules (particules fines de moins de 2.5 micron).

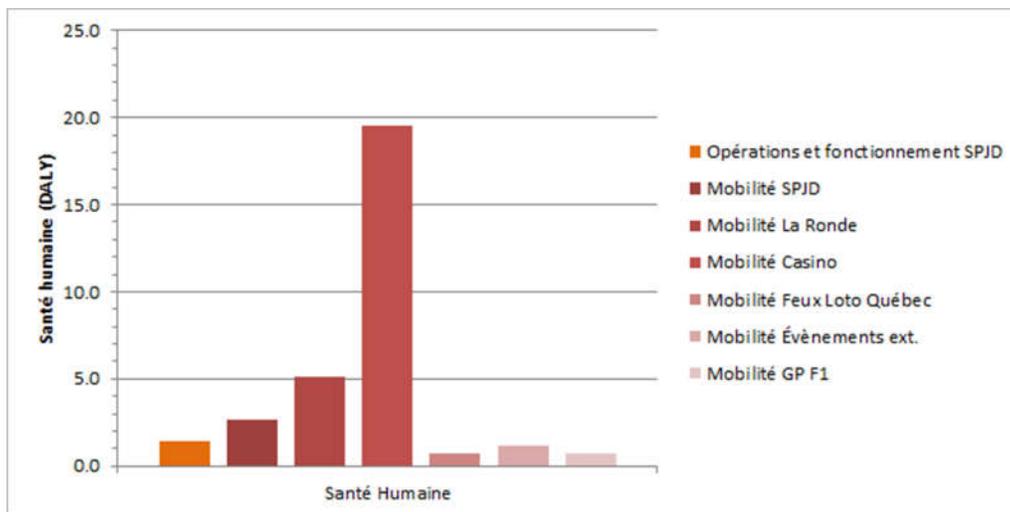


Figure 4-2 : Contributeurs à l'indicateur santé humaine.

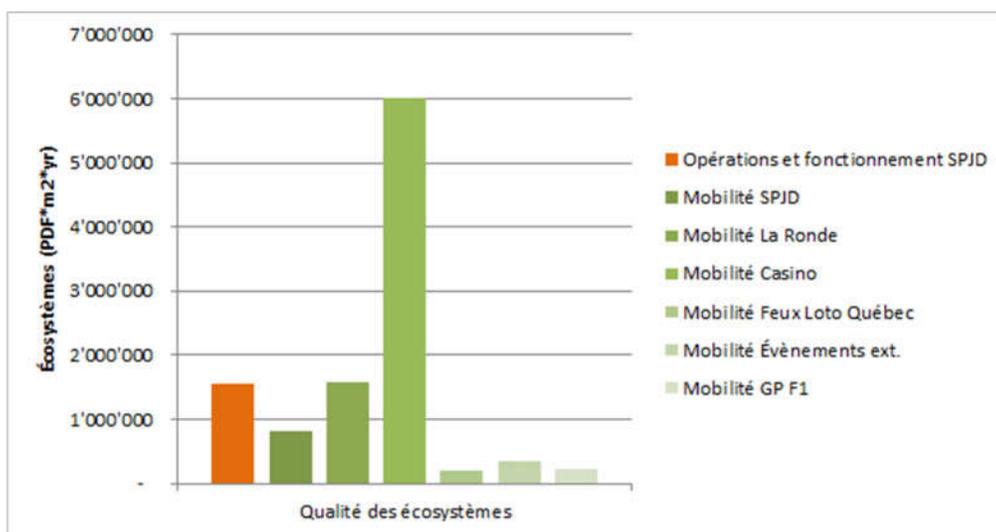


Figure 4-3 : Contributeurs à l'indicateur qualité des écosystèmes.

4.2 Impacts environnementaux de la mobilité associée aux visiteurs sur les îles du parc Jean-Drapeau

La mobilité dans son ensemble cause une part majeure des impacts environnementaux estimés. Notez que cette contribution est artificiellement **exacerbée** ici, puisque –on le rappelle– l'évaluation n'inclut pas les impacts causés par le fonctionnement du Casino de Montréal, de la

Ronde, de la Biosphère, du Grand Prix de Formule 1 et des autres acteurs et promoteurs d'évènements (leurs consommations d'énergies, les approvisionnements et services alimentaires, etc.).

La mobilité contribue, en % des scores totaux évalués, à :

- 89% du score d'impact changement climatique;
- 96% du score de dommage sur la santé humaine ;
- 85% du score de dommage sur la qualité des écosystèmes.

Pour l'indicateur changement climatique, les sources se partagent tel que montré à la Figure 4-4 : Les déplacements associés au Casino contribuent pour près des deux tiers. Ceux associés à La Ronde pour 18% et ceux à la SPJD contribuent pour 9%. Les résultats sont similaires pour les autres indicateurs environnementaux.

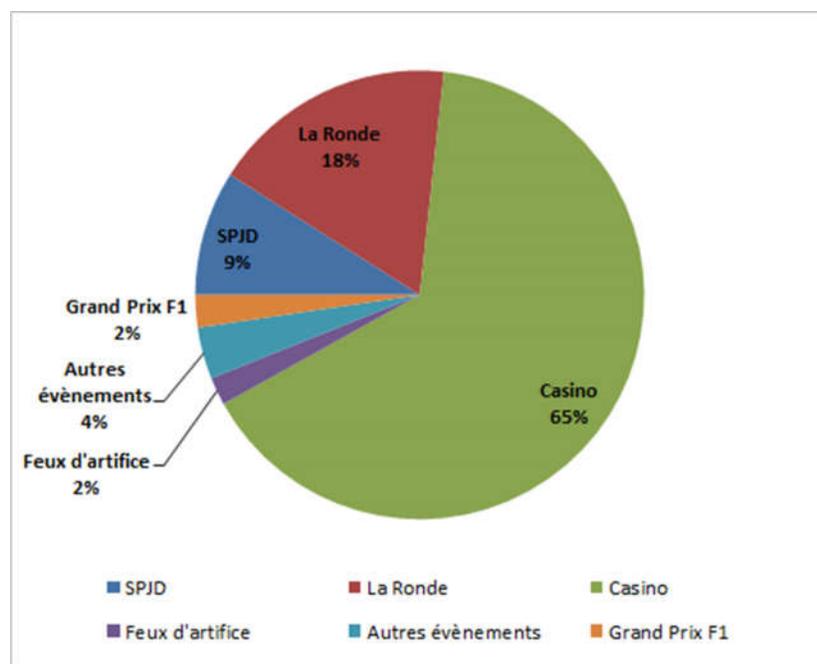


Figure 4-4 : Acteurs insulaires associés aux GES des déplacements.

4.3 Impacts environnementaux des opérations et du fonctionnement de la SPJD

Les opérations et le fonctionnement de la SPJD contribuent pour 11%, 4.4% et 14.5% à l'impact total du système évalué sur le changement climatique, la santé humaine et la qualité des écosystèmes, respectivement. La Figure 4-5 montre comment ces impacts se positionnent par rapport à la mobilité de la SPJD (promeneurs du parc, visiteurs des événements SPJD et employés).

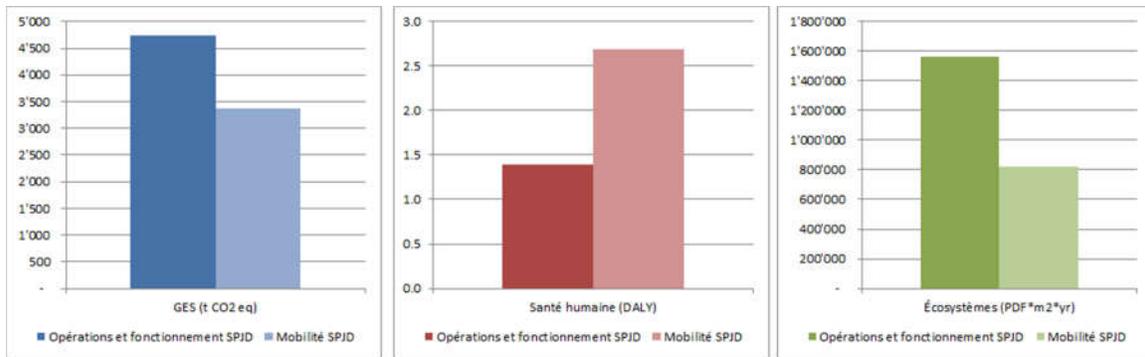


Figure 4-5 : Contribution relative des opérations et de la mobilité pour la SPJD pour trois indicateurs environnementaux.

4.3.1 Changement climatique

Les opérations et le fonctionnement de la SPJD génèrent 4 740 t CO₂eq. Les principales sources de ces GES sont

- Les grands projets reliés aux infrastructures et la consommation de gaz naturel sont les deux sources majeures (30% et 29%, respectivement)
 - Projets – infrastructures : Toiture du Pavillon du Canada, Aménagement du secteur Ouest de l'île Ste-Hélène ;
 - Gaz naturel : Complexe aquatique (42%), Pavillon du Canada et autres (35%), Services techniques (14%).
- les approvisionnements pour les opérations et la maintenance (14%, dont les services et travaux arboricoles et l'acquisition de véhicules et machineries) ;
- la consommation d'électricité (8%) ;
- le carburant (8%) pour la flotte de véhicules et les machines.

La Figure 4-6 présente l'ensemble des sources selon les principaux groupes. Ensemble, les produits énergétiques représentent la première source, pour 45% de l'impact et pour 31% de l'impact au travers d'émissions directes sur les îles du parc lors de la combustion des carburants et du gaz naturel.

4.3.2 Autres indicateurs environnementaux

Hormis une contribution réduite des produits pétroliers, les autres indicateurs environnementaux révèlent sensiblement les mêmes niveaux de contribution. Ils sont reportés à l'annexe D de ce rapport. L'indicateur d'utilisation de l'eau (volumes d'eau prélevée directement de l'environnement et d'eau acquise des services publics d'approvisionnement) y est inclus.

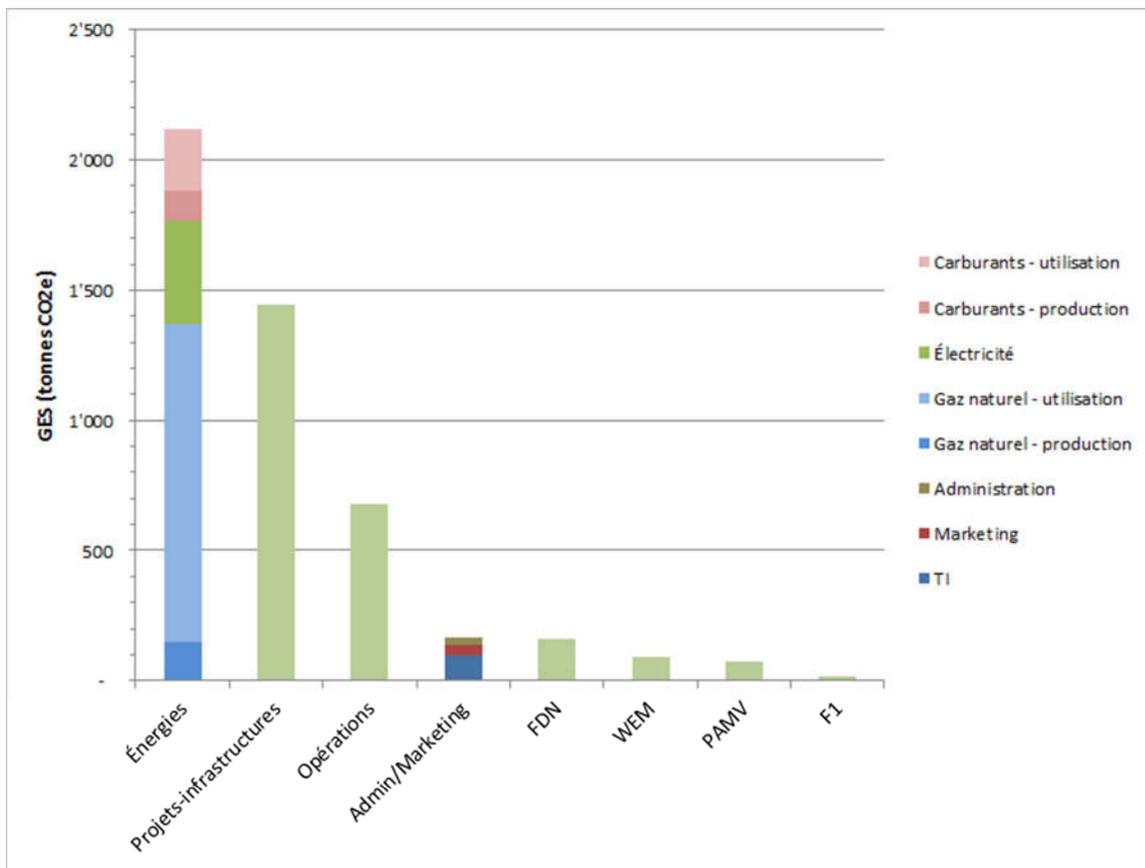


Figure 4-6 : Sources des GES associés aux opérations et au fonctionnement de la SPJD.
 (FDN : Fête des neiges, WEM : Week-end du monde, PAMV : plan d'aménagement et de mise en valeur du parc, F1 : travaux infrastructures paddocks et circuits du grand prix de F1, TI : technologies de l'information)

4.3.3 Détails des opérations et du fonctionnement de la Société du parc Jean-Drapeau

Comme mentionné ci-dessus, les deux groupes « Projets-Infrastructures » et « Opérations » sont deux sources majeures d'impacts des activités de la SPJD. Et cela vaut pour les indicateurs environnementaux autres que le changement climatique (voir Annexe D).

Parmi le groupe des **grands projets reliés aux infrastructures** (30% de l'impact changement climatique des opérations et du fonctionnement de la SPJD), les activités liées aux bâtiments causent plus de la moitié des GES. En l'occurrence, la réfection de la toiture du pavillon du Canada est un chantier d'envergure et le principal contributeur. Viennent ensuite des services professionnels reliés à l'aménagement du secteur Ouest de l'île Ste-Hélène, en architecture, paysagisme et en génie civil et de l'environnement (Figure 4-7).

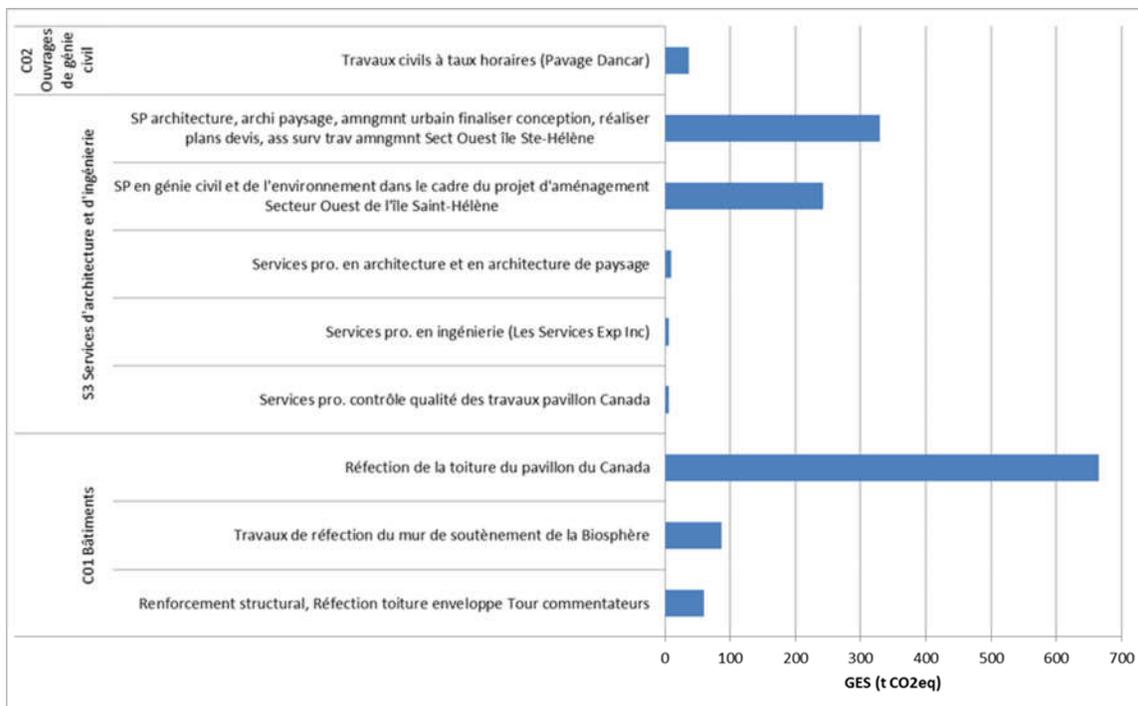


Figure 4-7 : GES selon les biens et services acquis pour les « Projets – Infrastructures » des activités de la SPJD.

Parmi le groupe « **Opérations** » (14% de l'impact changement climatique des opérations et du fonctionnement de la SPJD), ce sont principalement des travaux d'arboriculture (46%), des services d'entrepreneurs généraux et spécialisés (10%), puis l'acquisition de véhicules, d'embarcations et de divers matériels techniques (38% en cumulé). On note que pour les indicateurs Santé humaine et Qualité des écosystèmes, les plus forts contributeurs sont plutôt les véhicules et les équipements techniques. On remarquera enfin que les travaux d'arboriculture s'inscrivent dans une stratégie volontaire de la SPJD d'augmentation de la canopée du territoire et, à minima, de recouvrement sur un horizon de 30 ans des deux tiers de la canopée perdue par les abattages à l'occasion du plan d'aménagement et de mise en valeur (PAMV) du parc (Del Degan, Massé, 2016).

5 Recommandations

L'enjeu de la mobilité mis à part, la SPJD peut d'ores et déjà identifier quelques champs d'actions à privilégier pour réduire les impacts environnementaux de ses activités. L'étude révèle que des actions de réduction sous le contrôle de la SPJD devraient cibler, par ordre de priorité, pour réduire non seulement les GES mais aussi les autres sources d'impact :

- L'énergie consommée :
 - auditer en particulier la consommation de gaz naturel au long terme des infrastructures, en particulier le complexe aquatique (42% des GES associés au gaz naturel) ;
 - identifier les efficacités énergétiques potentielles et les récupérations de chaleur possibles ;
 - évaluer le potentiel des énergies de sources renouvelables disponibles sur les îles à fournir la demande énergétique requise (y inclus les pointes de demande).
- Les chantiers majeurs de construction et de réparation d'infrastructures :
 - Pour la construction et les réparations majeures de bâtiments, la source principale des impacts sur le cycle de vie est reliée à la production des matériaux de construction et à leur transport (Figure 5-1, gauche) ;
 - En particulier, toute réduction de la fabrication de ciment et béton vierge (p.ex. par l'ajout d'agrégats cimentaires aux matériaux utilisés), toute réduction de matériaux métalliques, des peintures, des adhésifs achetés par l'entrepreneur, ou encore favoriser un approvisionnement local qui réduit les distances de transport, contribuera à la réduction des GES et des autres impacts ;
 - Sur la base de ces constats, la SPJD peut exercer un rôle dans ses exigences contractuelles au travers de critères spécifiques dans ses appels d'offres de travaux de construction ;
 - La SPJD peut également influencer ses achats et mettre en concurrence des compagnies appelées à soumettre leurs services sur des critères supplémentaires de consommation de carburant, de contrôle des émissions des véhicules et des machines-outils, de formation des conducteurs des machines à l'éco-conduite, etc.
- Les services d'architecture et de génie :
 - Les GES d'un fournisseur de services d'architecture et de génie sont principalement associés à ses émissions directes (par l'usage de ses véhicules) et via des services de transport lors des déplacements (Figure 5-1, droite) ;
 - Sur la base de ces constats, la SPJD peut mettre en place une entente avec ses fournisseurs de tels services pour que ses déplacements soient réduits et optimisés.
- Les carburants consommés :
 - Continuer la transition déjà engagée vers plus de véhicules hybrides ou électriques dans la flotte de la SPJD ;
 - Promouvoir l'éco-conduite auprès des employés.

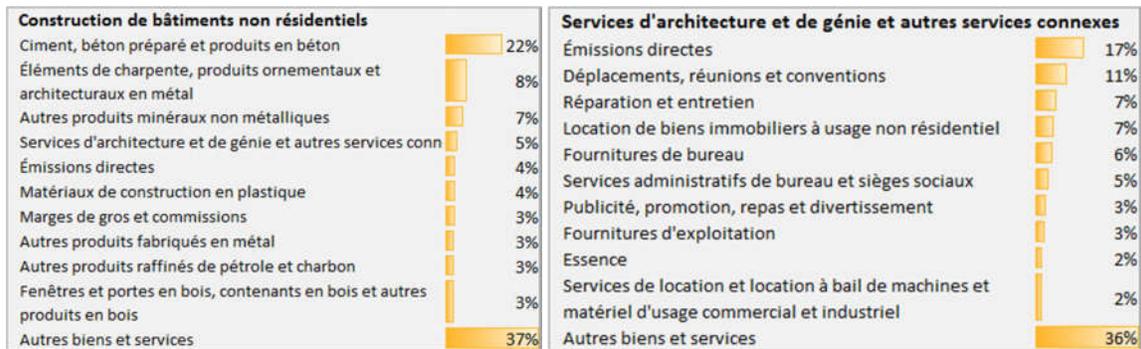


Figure 5-1 : Principaux contributeurs des GES émis en amont du cycle de vie pour la construction de bâtiments (à gauche) et pour des services d'architecture et de génie (à droite).

Enfin, en ce qui concerne la mobilité, l'étude fait le constat, peu surprenant, que les déplacements vers/depuis les îles du parc sont une source majeure d'impact environnemental. En l'état de cette étude préliminaire, il n'est pas possible de faire des recommandations étayées et spécifiques. Certes, la promotion et la facilitation du co-voiturage et du transport en commun iront dans le bon sens d'une réduction des impacts. Le paragraphe suivant aborde quelques aspects relatifs aux déplacements.

6 Pistes de solutions pour palier aux limites de l'étude

Cette étude établit un portrait **préliminaire** des impacts environnementaux associés aux opérations et activités de la SPJD prenant place sur le territoire du parc Jean-Drapeau. En particulier, pour les approvisionnements en biens et services, la méthode d'analyse entrées-sorties environnementale est adéquate pour évaluer des centaines de biens et services très différents entre eux, pour lesquels des informations précises et des données physiques ne sont pas disponibles. Elle a toutefois l'inconvénient d'être peu spécifique. Mais c'est une bonne méthode pour identifier des « points chauds » sur lesquels un raffinement pourra être apporté lors d'études ultérieures plus spécifiques.

Cette étude se veut un **premier pas vers une analyse territoriale** complète. Elle met l'emphasis sur les activités et le fonctionnement de la SPJD seulement. Comme mentionné au paragraphe 2.2.2 sur les acteurs et activités exclus, la présente étude n'a pas pu considérer les opérations et activités du Casino de Montréal, de la Ronde, de la Biosphère, des événements tels les festivals, concerts, feux d'artifices, grand-prix de Formule 1, etc. Si elles étaient ajoutées à l'analyse, les contributions de la SPJD ainsi que de l'ensemble des déplacements seraient logiquement réduites, et possiblement de façon significative.

Durant l'étude, les contacts pris avec certains des acteurs insulaires ont montré leur intérêt et leur désir de participer à une étude plus complète. Une **collaboration** est en cours avec certains d'entre eux, qui pourra mener à une collecte de données complémentaires et permettra d'étendre la couverture de cette étude. Sa pertinence en sera accrue, afin d'orienter des décisions en cohérence avec les besoins et les capacités de chacun des acteurs insulaires. Une telle étude supportera un plan stratégique de développement durable pour l'ensemble du territoire des îles du parc Jean-Drapeau et aidera à élaborer une **feuille de route cohérente** et ambitieuse.

Il convient de noter toutefois que les impacts de certains autres acteurs insulaires, s'ils étaient ajoutés à l'analyse, ne peuvent l'être dans leur entièreté. Certaines externalités associées à des événements et à la venue de touristes et spectateurs devraient être **allouées** entre le parc Jean-Drapeau et, par exemple, l'économie touristique de la ville de Montréal.

Les **services alimentaires** ne sont pas inclus dans cette étude par manque de données disponibles sur cet aspect (ventes durant la Fête des neiges et les Week-end du monde, principalement). On peut raisonnablement penser que leurs impacts n'affecteraient pas significativement les scores obtenus pour cette étude. Toutefois, dans une perspective territoriale où tous les acteurs insulaires seraient inclus, il est fort probable que les importants services alimentaires fournis par le Casino, la Ronde et les grands événements (festivals, grand prix de F1, etc.) soient un contributeur majeur.

La mobilité étant un enjeu clé pour la SPJD comme pour tous les autres acteurs insulaires, cette étude a pris le parti de ne pas se limiter à la mobilité pour les seuls visiteurs du parc et des événements dont la SPJD est le promoteur mais de considérer tous les déplacements, y compris ceux pour le Casino de Montréal, La Ronde, etc. Pour autant, les données de répartition des différents **modes de transport** mériteraient d'être raffinées, d'autant que la mobilité est la première source d'impact environnemental. Aussi, la modélisation de modes de transport plus détaillés selon des scénarios (carburant, taille des véhicules, personnes/véhicule, etc.) serait nécessaire pour permettre d'avancer des recommandations. Les infrastructures (ponts et route) sont un paramètre clé additionnel pour l'évaluation comparative des modes de transport.

L'enjeu étant transversal, la collaboration avec les autres acteurs insulaires qui ont pu mener des études et qui disposent de données sur les déplacements est à soutenir.

Enfin, le parc Jean-Drapeau est un territoire dont la durabilité ne peut être évaluée que sur le seul aspect des impacts ou bénéfices environnementaux. C'est un lieu qui offre également des **services écosystémiques** qui ont une forte valeur ajoutée dans un contexte de bassin urbain (valeur sociale du paysage offert par le parc et de son écosystème, fonction de « poumon vert » et de réduction des ilots de chaleurs, valeur récréotouristique, etc.). Les services écosystémiques peuvent être évalués puis quantifiés selon une approche de monétarisation, comme peuvent être monétarisés les impacts et bénéfices environnementaux (p.ex. la tonne de CO₂eq a un prix de marché, l'unité des dommages sur la Santé humaine – le DALY – a un prix, etc.). Au travers d'un dénominateur monétaire commun, une analyse territoriale prendrait tout son intérêt. L'application de la connaissance scientifique existante dans ce domaine de l'analyse de cycle de vie (**monétarisation des indicateurs ACV et des services écosystémiques**) pourrait être mise à profit.

7 Références

- ALVAREZ, S., & RUBIO, A. (2015). Carbon footprint in Green Public Procurement: a case study in the services sector. *Journal of Cleaner Production*, 93, 159-166.
- BABOULET, O., & LENZEN, M. (2010). Evaluating the environmental performance of a university. *Journal of Cleaner Production*, 18(12), 1134-1141. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.04.006>
- BRETZ, R., & FRANKHAUSER, P. (1996). Screening LCA for large numbers of products. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1(3), 139-146.
- ECOINVENT (2016). Ecoinvent Life Cycle Inventory database v3.2. ecoinvent, Zurich, Switzerland. <http://www.ecoinvent.org/database/database.html>
- ELLIO (2017). Parc Jean-Drapeau - Réflexion stratégique de développement durable. Rapport pour la SPJD, 30 Novembre 2017, 52p.
- EVENKO (2017). Moyens de transport utilisés — Étude auprès des participants du festival ÎleSoniq 2017; Étude auprès des participants du festival Osheaga 2017
- ERICKSON, P., ALLAWAY, D., LAZARUS, M., & STANTON, E.A. (2012). A consumption-based GHG inventory for the US State of Oregon. *Environmental science & technology*, 46(7), 3679-3686.
- GÓMEZ, N., CADARSO, M.Á., & MONSALVE, F. (2016). Carbon footprint of a university in a multiregional model: the case of the University of Castilla-La Mancha. *Journal of Cleaner Production*, 138, Part 1, 119-130.
- DEL DEGAN, MASSÉ (2016). Estimation du nombre d'arbres et de la canopée sur les deux îles du parc Jean-Drapeau. Rapport présenté à la Société du Parc Jean-Drapeau, 16 p. Référence interne : 16-1224.
- HERTWICH, E.G., & PETERS, G.P. (2009). Carbon footprint of nations: A global, trade-linked analysis. *Environmental science & technology*, 43(16), 6414-6420.
- HUANG, Y.A., LENZEN, M., WEBER, C.L., MURRAY, J., & MATTHEWS, H.S. (2009). The role of input–output analysis for the screening of corporate carbon footprints. *Economic Systems Research*, 21(3), 217-242.
- HUPPES, G., DE KONING, A., SUH, S., HEIJUNGS, R., VAN OERS, L., NIELSEN, P. & GUINÉE, J.B. (2006). Environmental Impacts of Consumption in the European Union: High-Resolution Input-Output Tables with Detailed Environmental Extensions. *Journal of Industrial Ecology*, 10:129–146. <http://dx.doi.org/10.1162/jiec.2006.10.3.129>
- JOLLIET, O., MARGNI, M., CHARLES, R., HUMBERT, S., PAYET, J., REBITZER, G. & ROSENBAUM, R. (2003). IMPACT 2002+ : A New Life Cycle Impact Assessment Methodology. *International Journal of Life Cycle Assessment* 8(6) p.324-330.
- KANEMOTO, K., MORAN, D., & HERTWICH, E.G. (2016). Mapping the Carbon Footprint of Nations. *Environmental Science & Technology* 50(19), 10512-10517. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.6b03227>
- KJAER, L.L., HØST-MADSEN, N.K., SCHMIDT, J.H., & McALOONE, T.C. (2015). Application of Environmental Input-Output Analysis for Corporate and Product Environmental Footprints—Learnings from Three Cases. *Sustainability*, 7(9), 11438-11461.
- LARSEN, H.N., & HERTWICH, E.G. (2011). Analyzing the carbon footprint from public services provided by counties. *Journal of Cleaner Production*, 19(17), 1975-1981.
- LARSEN, H.N., & HERTWICH, E.G. (2010). Identifying important characteristics of municipal carbon footprints. *Ecological Economics*, 70(1), 60-66.

- LARSEN, H.N., PETTERSEN, J., SOLLI, C., & HERTWICH, E.G. (2013). Investigating the Carbon Footprint of a University-The case of NTNU. *Journal of Cleaner Production*, 48, 39-47.
- LEONTIEF, W. (1970). Environmental repercussions and the economic structure: an input-output approach. *The Review of Economics and Statistics*, 52(3):262–271.
- LESAGE, P. (2014). OpenIO-Canada model methodological report: Transparent guide to the building of a Canadian economic input–output life cycle assessment model version 1.0. http://www.ciraig.org/en/open_io_canada/documentation.html
- MINX, J.C., WIEDMANN, T., WOOD, R., PETERS, G.P., LENZEN, M., OWEN, A., ... & PAUL, A. (2009). Input–output analysis and carbon footprinting: an overview of applications. *Economic Systems Research*, 21(3), 187-216. <http://dx.doi.org/10.1080/09535310903541298>
- NORMAN, J., CHARPENTIER, A.D., & MACLEAN, H.L. (2007). Economic input-output life-cycle assessment of trade between Canada and the United States. *Environmental Science & Technology*, 41(5), 1523-1532.
- SPJD (2018). État des lieux du Parc Jean-Drapeau dans le cadre des consultations publiques et préparation du plan directeur de développement et d’aménagement du parc Jean-Drapeau 2018-2028. 1 mars 2018, 72 p.
- STM (2016). La mobilité des Montréalais. Rapport de la Société des Transports de Montréal, 164 p.
- TOWNSEND, J., & BARRETT, J. (2015). Exploring the applications of carbon footprinting towards sustainability at a UK university: reporting and decision making. *Journal of Cleaner Production*, 107, 164-176.
- THURSTON, M., & ECKELMAN, M.J. (2011). Assessing greenhouse gas emissions from university purchases. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 12(3), 225-235. <http://dx.doi.org/10.1108/14676371111148018>
- TUKKER, A. (2006). Identifying priorities for environmental product policy. *Journal of Industrial Ecology*, 10(3), 1-4.
- UNIVERSITY OF ARKANSAS (2016). NAICS-UNSPSC partial mapping file. https://www.waltoncollege.uark.edu/lab/openio/Crosswalks/Sectors/NAICS_UNSPSCcrosswalk/UNSPSC-NAICS_partialMapping.xlsx (accédé le 07/11/2016).
- VILLE DE MONTRÉAL (2017). Mobilité au parc Jean-Drapeau: Portrait, enjeux et orientations. Présentation aux entretiens Jacques-Cartier, par l’unité de Développement des transport du Service des infrastructures, de la voirie et des transports (SIVT) de la Ville de Montréal, 16 octobre 2017.
- WIEDMANN, T.O., & BARRETT, J. (2011). A greenhouse gas footprint analysis of UK Central Government, 1990–2008. *Environmental science & policy*, 14(8), 1041-1051.
- WIEDMANN, T.O., GUANGWU C., & BARRETT, J. (2015). The concept of city carbon maps: a case study of Melbourne, Australia. *Journal of Industrial Ecology*, 20(4), 676–691.

Annexe A.0 :
Méthode d'analyse environnementale Entrées-Sorties (ES-E)

La méthodologie proposée pour l'étude repose sur l'**analyse environnementale Entrées-Sorties (ES-E)** dérivée de l'analyse économique Entrées-Sorties (ES). L'analyse ES-E est couramment utilisée pour réaliser des analyses environnementales dans des situations où l'ACV traditionnelle² est peu -ou moins- adaptée. C'est particulièrement le cas lorsque le système à l'étude implique de très nombreux produits et services et que réaliser l'ACV de chacun d'eux pour modéliser le système n'est finalement pas possible (données individuelles non disponibles ou difficilement accessibles, fardeau de travail trop élevé). Typiquement, l'analyse ES-E est utilisée pour évaluer les impacts de toute une nation (Hertwich & Peters 2009; Huppés et al. 2006), d'une région (Erickson et al. 2010; Larsen & Hertwich 2011) ou d'une ville (Larsen & Hertwich 2010; Wiedmann et al. 2015), y inclus les échanges commerciaux entre ces économies (Norman et al. 2007 ; Hertwich & Peters 2009; Wiedmann et al. 2015; Kanemoto et al. 2016). Elle est aussi adaptée à l'évaluation des multiples activités et approvisionnements d'organisations telles que les corporations (p.ex. Huang et al. 2009), les universités (Baboulet & Lenzen 2010; Thurston & Eckelman 2011; Larsen et al. 2013; Townsend & Barrett 2015; Gómez et al. 2016) ou les services publics et les gouvernements (Minx et al. 2009 ; Wiedmann & Barrett 2011; Larsen & Hertwich 2011; Alvarez & Rubio 2015 ; Kjaer et al. 2015). L'analyse ES-E est aussi utilisée conjointement à l'ACV traditionnelle, en phase d'analyse préliminaire car, tout comme l'ACV traditionnelle, elle permet d'identifier les sources d'impact le long des chaînes d'approvisionnement et aussi de discerner les responsabilités entre fournisseurs et consommateurs. Aussi, la taille des systèmes qu'elle permet d'analyser rend la méthode adaptée pour supporter les politiques publiques liées à la consommation, par exemple lorsqu'il s'agit d'identifier des priorités d'actions par catégories de produits et services (voir Minx et al. 2009; Tukker 2006; Huppés et al. 2006).

Les paragraphes qui suivent introduisent brièvement les principes généraux de l'analyse ES et de son extension à l'analyse environnementale ES-E. Puis, le modèle d'analyse développé pour l'étude est présenté.

L'analyse Entrées/Sorties économique

Les analyses ES considèrent l'entièreté de l'économie comme un ensemble d'acteurs regroupés en industries (ou secteurs) qui s'achètent et se vendent des biens et services (« produits »). Des tableaux ES monétaires sont construits à partir des données des agences de statistiques nationales. Ces tableaux ES sont des inventaires comptables nationaux, et se réfèrent à une année. La consommation «finale» de produits par les ménages et les gouvernements, ainsi que les imports et exports sont représentés dans des tableaux à part. Tout autre flux qui ne peut être considéré comme un échange de produits est représenté dans des extensions; pour une analyse économique, cela se résume typiquement à la valeur ajoutée, notamment le paiement des salaires et les profits

² Par la suite, il est entendu par « ACV » la méthode traditionnelle d'analyse du cycle de vie utilisant des processus unitaires dont l'inventaire est exclusivement en données physiques. L'inventaire est généralement tronqué par l'application d'un seuil de coupure (p.ex. les intrants représentant moins de 1% en masse du total des entrants du processus sont exclus de l'inventaire partant du principe que leur contribution ne sera pas significative à l'impact) ou par l'exclusion de certaines activités (p.ex. le transport des employés sur leur lieu de travail). *Ecoinvent* est un exemple reconnu de base de données de type « ACV ».

Les tableaux ES sont généralement construits symétriques de façon à décrire quels produits servent à la production de quels produits (**Z**, voir Figure 7-1). Autrement dit, on élimine les industries de la représentation de l'économie, et on se concentre sur l'interdépendance entre les différents produits.

Un tableau ES est ensuite normalisé par rapport à la production totale de chaque produit. Chaque colonne constitue donc une sorte de « recette de cuisine » pour produire 1\$ d'un produit (Leontief, 1970). La matrice des flux **Z** devient alors la matrice des coefficients techniques (**A**). Cette dernière est utilisée ensuite dans les modèles d'analyse ES à l'aide de la matrice de Leontief ($L=(I-A)^{-1}$) qui introduit l'approche **cycle de vie**. En multipliant un vecteur de demande finale de produits (p.ex. la demande des ménages) par **L**, on calcule la production totale du « **berceau au consommateur** » requise pour chaque produit afin de satisfaire la demande. Ce modèle dit « des quantités » se retrouve au cœur de toute analyse ES et aussi de l'ACV traditionnelle. L'analyse ES et l'ACV partagent donc les mêmes fondements mathématiques et bon nombre de présuppositions.

[€]		Produits manufacturés	Électricité	Services	Ménages	total		
Prod. manufacturés	Z :	0	20	45	h :	x :		
Électricité		30	0	30			35	100
Services		0	80	0			140	200
Valeur ajoutée	va :	70	100	75	70	150		
total	x' :	100	200	150				

Figure 7-1 : Tableau non normalisé d'entrées-sorties (exemple fictif simplifié de 3 produits).

*La colonne «Électricité» compile les flux des différents produits (**Z**) et la valeur ajoutée (**va**) dédiés à la production d'électricité dans l'économie ; la rangée «Électricité» dénombre la consommation d'électricité dans la production des différentes commodités (**Z**) et par les consommateurs finaux (**h**). Les sommes des rangées et des colonnes se doivent d'être égales ($x=x'$).*

Analyse ES multirégionale : En combinant les tableaux de tous les pays disponibles, et en réconciliant leurs déclarations d'importations et d'exportations, on peut développer un tableau global du monde entier où chaque pays est représenté explicitement, et chaque industrie utilise des intrants domestiques et importés. La compilation de tableaux ES multirégionaux est une tâche passablement ardue, réalisée par des experts du monde académique, mais leur utilisation n'est pas plus compliquée ensuite que celle d'un tableau ES national. De tels tableaux ouvrent la voie à des analyses où la provenance des produits peut être considérée.

Les tableaux ES sont typiquement publiés tous les 5 ans par les agences statistiques nationales, et avec un délai de quelques années. L'analyste doit donc gérer cet aspect de la temporalité à l'aide d'indices de prix pour corriger au besoin l'inflation ou la déflation.

L'analyse Entrées/Sorties environnementale (ES-E)

L'analyse ES calcule en \$ la production totale (du « berceau au consommateur ») requise pour une consommation finale donnée. Une des principales applications de l'analyse ES-E est plutôt de calculer **les émissions totales pour une consommation donnée**. Pour ce faire, on ajoute des extensions environnementales aux données d'inventaire de l'économie. Mathématiquement, on compile et on traite les extensions environnementales de la même manière que la valeur ajoutée présentée plus haut à la Figure 7-1. Les tableaux ES-E sont donc les tableaux ES enrichis d'une matrice de flux environnementaux exprimés en unités physiques, comme des émissions à l'air de kg CO₂ ou de kg SO₂, des prélèvements de m³ d'eau, de kg de pétrole brut, etc. Chaque colonne, c'est-à-dire chaque processus de production et activité de services (cf. Figure 7-1) possède donc l'inventaire de ses intrants de l'environnement (ressources naturelles prélevées) et ses émissions directes à l'environnement (polluants émis à l'air, l'eau ou au sol). Certains tableaux ES-E fournissent également les émissions de la phase d'utilisation des produits, sous forme d'émissions directes des ménages par \$ d'achat de chaque produit (p. ex., CO₂ émis par \$ d'achat d'essence automobile).

Les extensions environnementales peuvent être ajoutées aux tables économiques par les agences statistiques elles-mêmes, mais elles sont alors souvent limitées aux GES et à quelques ressources. Les modèles les plus complets sont plutôt développés par le monde académique. Les ressources impliquées sont très importantes, autant pour collecter les données disponibles que pour le travail d'estimation des données manquantes, de mise à l'échelle, et de contrôle qualité (identification de biais, cohérence des totaux, etc.). Ceci explique la disponibilité somme toute réduite de bases de données pour l'analyse ES-E (i.e. tableaux ES-E), nationales comme multirégionales. Il est très important de noter que, bien qu'une analyse ES-E assure la prise en compte exhaustive des activités économiques impliquées, la couverture des enjeux environnementaux n'est que partielle si l'inventaire contenu dans les tableaux est incomplet. Un modèle d'analyse ES-E, s'il est jugé comme suffisamment détaillé et complet, peut être utilisé conjointement à une ACV pour guider la collecte de données et la modélisation dans une phase exploratoire préliminaire à l'ACV traditionnelle (Bretz & Frankhauser 1996; Huang et al. 2009).

Le modèle open IO Canada (adapté)

Open IO-Canada est un modèle ES-E canadien développé par le CIRAIG³ en 2014. Ses principales caractéristiques sont (Lesage 2014) :

- Couverture et année de référence : Canada, 2009.
- Tables économiques au niveau de désagrégation "L61" publiées par Statistique Canada : 112 industries et 246 commodités (biens et services) (voir annexe A.1).
- Données environnementales : **émission de GES** et **utilisation d'eau** (prélèvements directs de l'environnement et acquisition des services publics d'approvisionnement) selon les Comptes de l'environnement de Statistique Canada et **émission de polluants toxiques à l'air, à l'eau et au sol** selon l'Inventaire national des rejets de polluants d'Environnement Canada (INRP). Il n'inclut pas, dans sa version v1.0, l'occupation des sols, les prélèvements de ressources fossiles et minérales. 238 différentes substances échangées avec l'environnement sont répertoriées.
- Type du modèle développé (v.1.0) : matrice normalisée de dimension 112 selon une approche « *Industrie-Industrie* », avec allocation des co-produits basée sur l'hypothèse

³ http://www.ciraig.org/en/open_io_canada/

qu'une industrie donnée produit de la même façon tous ses co-produits (hypothèse dite « *Industrie-Technologie* »).

Open IO-Canada est un modèle « ouvert » (*open source*) et un outil en ligne a été créé à partir du modèle. Il possède des limitations directement reliées à la complétude, la transparence et la qualité des données primaires sur lesquelles il se base. Les principales limitations sont listées à l'annexe A.2.

Open IO-Canada est un modèle qui représente l'économie du Canada dans son ensemble, sans offrir de détail au niveau provincial. Aussi, il considère le Canada comme une économie isolée du reste du monde puisque les échanges d'imports/exports n'y sont pas inclus. Ces deux limitations réduisent l'intérêt du modèle pour évaluer des produits achetés et utilisés au Québec quand on sait que beaucoup d'entre eux peuvent être fabriqués et importés de l'étranger, ou fabriqués et utilisés sur place au Québec en profitant d'une hydro-électricité au profil environnemental sensiblement différent de celui de l'électricité Canadienne « moyenne ». De plus, la version v1.0 de open IO-Canada n'inclut pas les émissions de l'étape d'utilisation des produits (p.ex. le CO₂ émis lors de la combustion du gaz naturel acheté pour le chauffage), ni de leur fin de vie. Pour cette étude, le modèle utilisé est une adaptation qui concerne les aspects suivants.

- a) Modification du modèle pour y intégrer la production d'électricité au Québec;
- b) Calculs des émissions liées à l'étape d'utilisation des produits énergétiques achetés.

a) Modification du modèle open IO-Canada

Tout d'abord, afin d'augmenter la performance du modèle et d'en faciliter son développement continu, open IO-Canada est intégré à un environnement de programmation Python. Le modèle est ensuite modifié selon les étapes suivantes :

- Les tables initiales sont redéfinies avec l'ajout de la dimension géographique (en l'occurrence CA, pour Canada) afin que puissent être ajoutées ultérieurement des industries et des produits propres à la géographie du Québec (QC).
- Des produits exprimés en unité physiques sont ajoutés aux tables, notamment : la production d'électricité québécoise (exprimée en kWh) ; la combustion d'essence, de diesel, de carburant marin et de carburant aviation dans la flotte de véhicules (lourds et légers), les machineries, les autobus, trains, bateaux et avions (exprimée en litre) ; la combustion de gaz naturel, d'huile de chauffage et de propane (exprimée en MJ). Le calcul des émissions de combustion est expliqué à la section suivante.
- Pour la production d'électricité, les émissions à l'environnement sont des émissions « cycle de vie », tenant compte par exemple de la construction des barrages hydroélectriques, du transport et de la distribution, et des imports d'électricité. Les émissions sont basées sur une étude réalisée par le CIRAIG pour Hydro-Québec et sont extraites de la base de données d'inventaire de cycle de vie ecoinvent v3.2 (2016).
- Par la suite, des biens et services canadiens des tables initiales peuvent être dupliqués dans les tables ES-E élargies, et virtuellement « délocalisés » au Québec (i.e. alimentés par une électricité québécoise) s'il s'avère que de tels biens ou services produits au Québec sont effectivement achetés par le gouvernement et devraient être modélisés comme tel. Cette **recontextualisation** est réalisée pour l'ensemble des 246 biens et services des tables ES-E, de sorte que le modèle d'analyse contient deux versions, une Canadienne et une Québécoise, de chacun des biens et service. C'est lors de l'analyse que sera décidé quelle version est utilisée pour chaque catégorie d'acquisition.

- Pour cette recontextualisation, il a été nécessaire de convertir le montant d'électricité achetée pour chaque produit des tables ES-E en quantité physique (kWh) d'électricité. Deux prix d'électricité ont été considérés pour tenir compte des « grands consommateurs » qui bénéficient d'un **tarif industriel** (0,0479\$/kWh) plus faible que les petits consommateurs auquel on a attribué le **tarif résidentiel** (0,0678\$/kWh) d'Hydro-Québec. À achat d'électricité par unité de produit égal, plus le prix supposé est faible, plus les émissions associées à la production d'électricité par unité de produit sont grandes.

b) Émissions liées à l'étape d'utilisation des produits

Les émissions directes de l'étape d'utilisation sont ajoutées au modèle pour les produits pétroliers et les carburants achetés. Ces émissions sont extraites de la base de données d'inventaire de cycle de vie ecoinvent v3.2 (2016) selon les détails présentés par ailleurs.

Limitations du modèle d'analyse

- Le modèle open IO-Canada considère la structure de l'économie Canadienne ainsi que les émissions à l'environnement de chacun de ses secteurs tel qu'en 2009, alors que nous cherchons à évaluer des impacts potentiels pour l'année 2016. Tout changement structurel de l'économie, tout progrès technologique qui a permis de réduire les émissions à l'environnement, mais aussi toute dégradation des performances environnementales des activités industrielles qui a pu survenir entre 2009 et 2016 n'est pas pris en compte. Toutefois, selon notre expérience, un délai de 6 ans est très acceptable dans le cadre d'une analyse exploratoire dont l'objectif est d'identifier les principaux contributeurs aux impacts.
- L'adaptation du modèle au contexte Québécois n'est que partielle puisqu'elle ne concerne que la production de l'électricité.
- Intrinsèquement, l'analyse ES-E est granulaire en raison du nombre limité de catégories de produits et services considéré par le modèle. Le niveau d'agrégation réduit la possibilité de distinguer des acquisitions relativement similaires, comme par exemple celle regroupées dans la catégorie des ordinateurs et périphériques informatiques.
- Les extensions environnementales de open IO-Canada ne sont pas exhaustives et ne permettent pas la caractérisation de certains impacts, dont l'appauvrissement en ressources primaires fossiles et minérales, et les dommages sur la biodiversité (au travers de l'occupation des terres).
- Les extensions environnementales ne sont pas parfaitement alignées avec les méthodes d'évaluations des impacts du cycle de vie disponibles. Par exemple, les émissions de métaux et de métalloïdes sont souvent exprimées dans l'inventaire national des rejets de polluants (INRP) (source première des émissions de polluants du modèle open IO) comme « composés métalliques » ou simplement comme « métal », alors que les facteurs de caractérisation pour les métaux de la méthode Impact 2002+ sont donnés pour des métaux sous forme ionique, ce qui surestime les impacts écotoxiques et, conséquemment, le score de dommages sur la Qualité des écosystèmes.
- Enfin, l'INRP ne fournit des émissions que pour des sites dont l'importance est supérieure à un seuil, ce qui omet certaines petites sources d'émissions.

L'ensemble des limites associées au modèle open IO sont décrites à l'annexe A.2.

Annexe A.1 :
Codes de produits des entrées-sorties (IOCC), 2009,
niveau lien 1961, utilisés dans open IO-Canada

Source : Statistique Canada.

La dernière colonne présente le tarif choisi pour l'électricité consommée pour la production du produits ou service (CIRAIG).

L'annexe est incluse dans le fichier « **CIRAIG_SPJD_Annexes.xlsx** » qui peut être fourni sur demande.

Annexe A.2 : Limitations de open IO-Canada (v1.0)

Voir aussi : http://www.ciraig.org/en/open_io_canada/known_limitation.html

Note : comme décrit ci-dessous, les données environnementales pour 2009 des émissions de GES et d'utilisation de l'eau ont été mises en jour en 2017 par Statistique Canada.

A) DONNÉES ÉCONOMIQUES

Missing elements in the original Input and Output tables

For confidentiality reasons, Statistics Canada wilfully excluded some elements from the Supply and Use tables. Some of these elements were estimated by CIRAIG in version 1.0 of OpenIO-Canada. Missing elements ultimately lead to an underestimation of impacts and potential errors in contribution analyses.

Imports, exports, investments, etc.

Imports, exports and any other issue not directly covered in the Supply and Use table were ignored in the model.

B) DONNÉES ENVIRONNEMENTALES

Greenhouse gases coverage (2017 update of 2009 data)

The data from Statistics Canada on GHG emissions used in this model only covers three gases: CO₂, CH₄ and N₂O. What is more, the emissions data is only made available as an aggregate Carbon dioxide equivalent (CO₂e) and use global warming potentials (GWP) of 25 and 298 for CH₄ and N₂O, respectively (IPCC 2007, 100-year time horizon). The 2017 update of 2009 emission data covers the following sources: “combustion of fossil fuels and biomass; non-combustion uses of fossil fuels; industrial processes; agricultural soils; livestock manure and enteric fermentation”.

Incomplete data on emissions due to excluded facilities in NPRI

Emission data for non-GHG substances comes from the NPRI, a pollutant release inventory managed by Environment Canada. It collects data from Canadian industries on their emissions of over 300 substances or grouped substances. However, not all facilities are required to report to the NPRI. For example, facilities where less than 20 000 employee-hours are worked in a given year are not, under certain conditions, required to report. See <https://www.ec.gc.ca/inrp-npri/> for all requirements. This necessarily leads to an underestimation of emissions.

VOC emissions

VOC emission data comes from the NPRI. The sum of speciated VOC emissions was subtracted from total VOC emissions to avoid double counting. This resulted in negative emissions for 4 industries (GS91300-Other municipal government services, BS541D0-Computer systems design and other professional, scientific and technical services, BS31B00-Clothing and leather and allied product manufacturing and BS31110-Animal food manufacturing). The cause for these negative values is unknown. The sum of unspicated VOC emissions from these sectors was set to 0.

Total reduced sulphur

Total reduced sulphur emission data comes from the NPRI. As explained on their website, emissions of Total reduced sulphur (TRS) are actually the sum of six emissions, three of which

(hydrogen sulphide [H₂S], carbon disulphide [CS₂] and carbonyl sulfide [COS]) are also reported separately. In order to avoid double counting, the sum emission of these three substances, expressed in H₂S equivalents, was removed from the reported Total reduced sulphur emission. This was done separately for Air, Water and Soil emissions. This resulted in negative TRS emissions for some industries. The cause for these negative values is unknown. The TRS values for these industries was set to 0. This happened in the following cases:

- Air: BS21220, BS21300, BS22110, BS327A0, BS33100 and BS56200.
- Water: BS221A0
- Soil: BS21100, BS221A0

Particulate matter emissions

Particulate matter emission data comes from the NPRI. The particulate matter emissions, reported as Total PM, PM₁₀ and PM_{2.5}, are converted to the elementary flow names (and corresponding values) used in ecoinvent and most LCIA methods, i.e. "Particulates, > 10 µm" (PM-PM₁₀), "Particulates, > 2.5 µm, and < 10µm" (PM₁₀-PM_{2.5}) and Particulates, < 2.5 µm (PM_{2.5}). This resulted in negative emissions of "Particulates, > 10 µm" in 31 cases and negative emissions of "Particulates, > 2.5 µm, and < 10µm" in one case: these were set to 0. Contrary to TRS and VOC emissions, the cause of these negative calculated emissions is known and is unavoidable with the current data.

Compounds reported as elements

In the NPRI, some substances are reported as elements and their compounds/salts. This necessarily overestimates the weight of the actual elements, and hence leads to an overestimation of their impacts once characterized. The substances are: Acrylic acid (and its salts); Aniline (and its salts); Antimony (and its compounds); Arsenic (and its compounds); Cadmium (and its compounds); Chromium (and its compounds); Cobalt (and its compounds); Copper (and its compounds); Hexavalent chromium (and its compounds); Lead (and its compounds); Manganese (and its compounds); Mercury (and its compounds); Nickel (and its compounds); Nonylphenol and its ethoxylates; Selenium (and its compounds); Silver (and its compounds); Zinc (and its compounds).

Grouped emissions: isomers

In the NPRI, some substances are reported as "molecules and their isomers". Isomers will likely not have the same characterization factors, and hence this leads to a misrepresentation of impacts (uncertainty). The molecules are "HCFC-123 and all isomers" and "Xylene (all isomers)".

Water use (2017 update of 2009 data)

Physical flows of water use from Statistics Canada' environmental accounts are used in this model. The original dataset is modified to match the IOIC L-61 classification since it is provided with some more aggregated sectors, particularly for the manufacturing sectors. The account provides water use volume for every IOIC sector of the economy which is the sum of water withdrawn directly from the environment by the sector plus the tap water intake supplied to it by public/municipal systems.

Annexe A.3 : Conversion des achats d'énergies

Données de conversion des achats de produits énergétiques en quantités physiques

Énergie	2016\$ HT	par	Source
Essence	1.2029	Litre	Calculateur openIO Canada v1.03 (CIRAIG, 2017)
Diesel	1.1944	Litre	Calculateur openIO Canada v1.03 (CIRAIG, 2017)

Énergie	MJ	par	Source
Gaz naturel	37.9	m3	

Annexe A.4 :
Modélisation de l'utilisation des produits énergétiques et des
modes de déplacement

Modélisation de la combustion des produits énergétiques achetés

Produit	Processus <i>ecoinvent</i> utilisé	Commentaires
Huile à chauffage No. 2	heat production, light fuel oil, at boiler 100kW condensing, non-modulating {RoW}	seules les émissions directes du processus sont considérées. L'entrant de carburant est exclu. Densité : 0.86 kg/L; Pouvoir calorifique : 45.2 MJ/kg; Efficacité : 1 MJ/MJ heat
Gaz naturel	heat production, natural gas, at boiler condensing modulating <100kW {RoW}	<i>idem</i> Efficacité : 1.02 MJ/MJ heat
Propane	heat production, propane, at industrial furnace >100kW {CA-QC}	<i>idem</i> Efficacité : 1.0526 MJ/MJ heat
Diesel (véhicules)	Transport, passenger car, medium size, diesel, EURO 3 {RoW}	seules les émissions directes du processus liées à la combustion sont considérées. L'entrant de carburant est exclu.
Essence (véhicules)	Transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 4 {RoW}	<i>idem</i>
Diesel (véhicules-outils et stationnaires, rétrocaveuses, chargeurs sur roue, etc.)	Diesel, burned in building machine {GLO}	<i>idem</i>

Modélisation des modes de déplacement

Produit	Processus <i>ecoinvent</i> utilisé	Commentaires
Voiture essence	Transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 5 {RoW} Alloc Rec, U	source : ecoinvent 3.2
Voiture essence	Transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 5 {RoW} Alloc Rec, U	source : ecoinvent 3.2
Autobus	Transport, regular bus {RoW} processing Alloc Rec, U	source : ecoinvent 3.2
Vélo	Transport, passenger, bicycle {RoW} processing Alloc Rec, U	source : ecoinvent 3.3
Metro	Transport, metro, electric {CA-QC} electricity use, per person	<i>Modélisation CIRAIG pour un voyageur entrant sur le réseau STM, sans égard de la distance parcourue. Seule la consommation d'électricité est considérée par manque d'information sur les infrastructures.</i> 290 000 MWh d'électricité haut voltage en 2003 (source: http://www.metrodemontreal.com/forum/viewtopic.php?t=1261&sid=8aab93816e1d6631aff16f9276ebaf2) et 394 666 666.7 déplacements pour 2011 (source: http://www.stm.info/fr/presse/communiqués/2011/un-record-d-achalandage-historique-dans-le-reseau-de-la-stm)

Annexe A.5 :

Table des taux d'inflation catégoriels utilisés avec les biens et services de la classification IOCC utilisée dans open IO-Canada

Source : Statistique Canada.

Indices des prix :

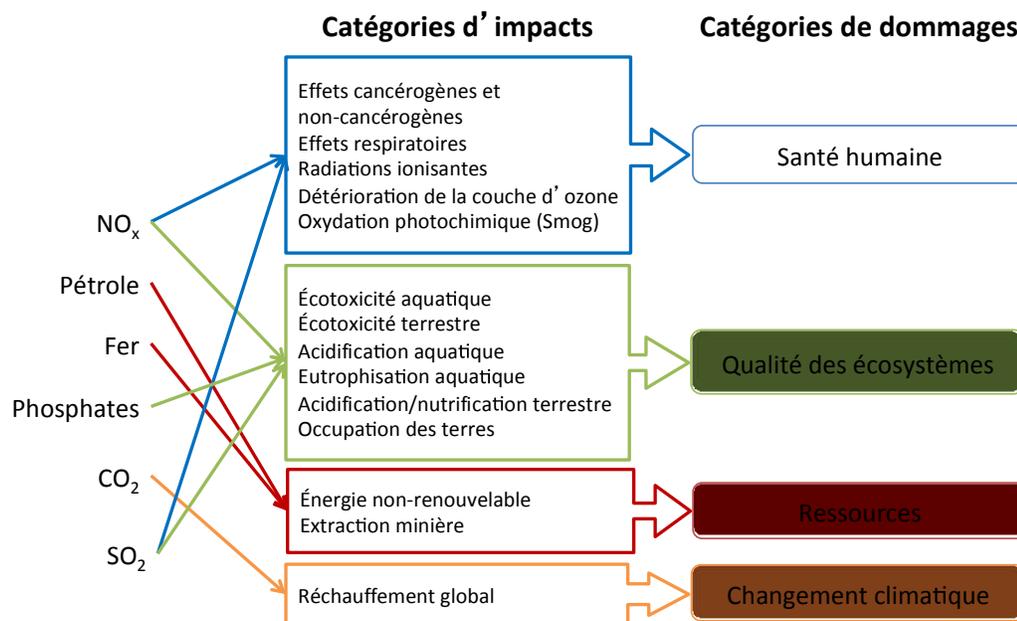
- IPPI : indice des prix producteurs industriels
- CPI : indice des prix consommateur
- WPI : indice des prix de vente en gros
- RPI : l'indice des prix de vente au détail

L'annexe est incluse dans le fichier « **CIRAIG_SPJD_Annexes.xlsx** » qui peut être fourni sur demande.

Annexe B :
Méthode IMPACT 2002+

La méthode européenne IMPACT 2002+ (Jolliet *et al.* 2003), reconnue internationalement, a été choisie pour effectuer l'évaluation des impacts du cycle de vie. La version utilisée par le CIRAIG correspond à la version 2.15, modifiée afin que les catégories d'impact *Eutrophisation aquatique* et *Acidification aquatique* soient intégrées à l'indicateur de dommages *Qualité des écosystèmes* (Figure 7-2).

Cette méthode, bien que développée pour le contexte européen, a été préférée aux méthodes ÉICV nord-américaines existantes (TRACI 2 par exemple) dû au caractère complet des catégories de problème incluses, à la mise à jour fréquente des facteurs de caractérisation et à l'agrégation des catégories de problème en quatre catégories de dommage, ce qui simplifie la compréhension des résultats par des non initiés à l'ACV.



Des centaines d' autres. . .

Figure 7-2 : Catégories de dommage et catégories d'impacts de la méthode IMPACT 2002+.

L'agrégation des impacts environnementaux selon quatre catégories de dommage fournit des résultats plus simples à comprendre et à interpréter pour les non-initiés à l'ACV, en plus de permettre une évaluation rapide des principaux enjeux environnementaux potentiels associés aux scénarios à l'étude.

Les catégories de dommage peuvent se résumer ainsi :

- **Santé humaine** : cette catégorie prend en compte les substances ayant des effets toxiques (cancérogènes et non cancérogènes) et respiratoires, produisant des radiations ionisantes et qui contribuent à la destruction de la couche d'ozone. Afin d'évaluer le facteur de dommage, la gravité de la maladie potentiellement causée par ces substances est exprimée en DALY - *Disabled Ajusted Life Years*, unité reflétant le dommage à la santé humaine.

- **Qualité des écosystèmes** : cette catégorie regroupe les impacts liés à la toxicité aquatique et terrestre, à l'acidification et à l'eutrophisation aquatique, à l'acidification et à la nutrification terrestre et à l'occupation des terres. Elle est quantifiée en fraction d'espèces potentiellement disparues, sur une surface donnée et durant une certaine période de temps, par kilogramme de substance émise ($\text{PDF} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{an} / \text{kg}$).
- **Changement climatique** : le potentiel de chaque gaz à effet de serre (GES) est calculé en kilogrammes de dioxyde de carbone équivalent ($\text{kg CO}_2 \text{ éq.}$), basé sur les données sur le forçage radiatif infrarouge. Les potentiels de réchauffement climatiques (PRCs) publiés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC ou IPCC en anglais) en 2007, considérant un horizon de 500 ans, sont utilisés. Puisqu'une évaluation sur 100 ans était désirée, les résultats de cette catégorie ont aussi été évalués avec les PRC du GIEC considérant un horizon de 100 ans.
- **Ressources** : cette catégorie prend en compte l'utilisation de ressources énergétiques non renouvelables et l'extraction de minéraux, quantifiés en mégajoules d'énergie (MJ).

L'évaluation des impacts associés aux émissions de GES a aussi été réalisée à partir de la méthode « IPCC 2007 » pour la catégorie *Changement climatique*. Cette méthode se base sur les potentiels de réchauffement climatiques (PRCs) publiés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC ou IPCC en anglais) en 2007.

Mentionnons que :

- Ces catégories ne couvrent pas tous les impacts environnementaux possibles associés aux activités humaines. Plusieurs types d'impacts, dont le bruit, les odeurs, la qualité de l'air intérieur et les champs électromagnétiques ne font pas partie de la présente analyse. De plus, l'utilisation de l'eau n'est pas considérée par les modèles de caractérisation actuels.
- Aucune normalisation des résultats par rapport à une base de référence n'a été effectuée. De même, aucune pondération des catégories de dommage pour ramener les résultats à un score unique n'a été réalisée.

Enfin, il est toujours important de garder à l'esprit que les résultats de l'ÉICV présentent des impacts environnementaux potentiels et non réels. Il s'agit d'expressions relatives (à l'unité fonctionnelle notamment) qui ne permettent pas de prédire les impacts finaux ou le risque sur les milieux récepteurs et le dépassement des normes ou marges de sécurité.

Annexe D : Autres résultats d'impact

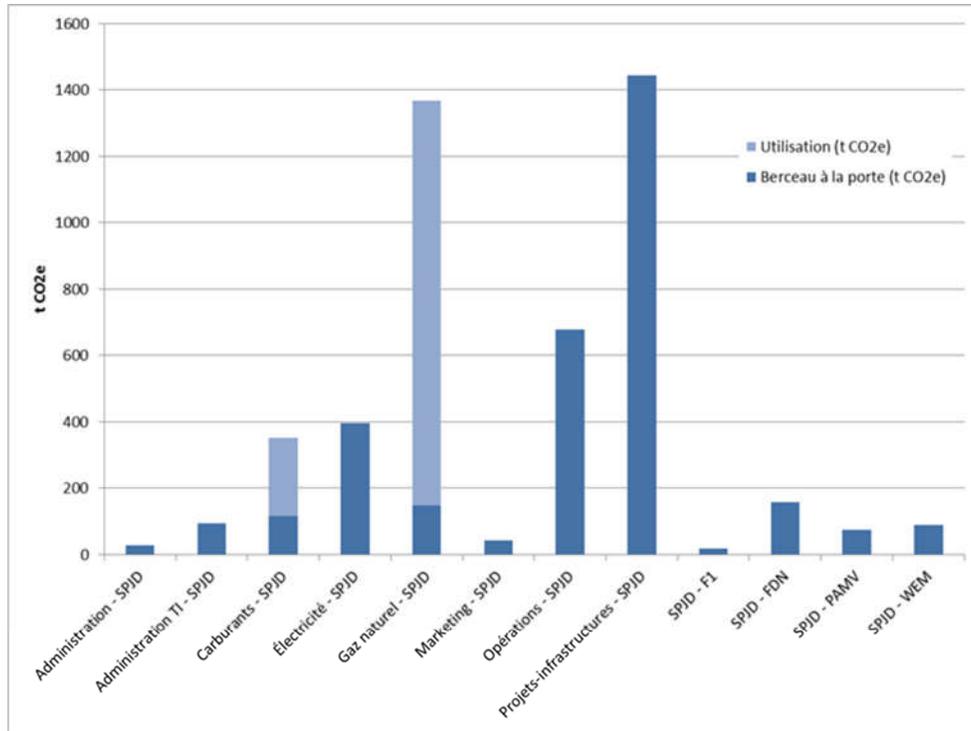
- Score de l'indicateur changement climatique selon les opérations de la SPJD.
- Score de l'indicateur qualité des écosystèmes (QE) selon les opérations de la SPJD.
- Score de l'indicateur santé humaine (SH) selon les opérations de la SPJD.
- Score de l'indicateur utilisation de l'eau selon les opérations de la SPJD.

Les opérations sont classées dans le même ordre alphabétique sur chaque figure pour faciliter la comparaison d'un indicateur à l'autre.

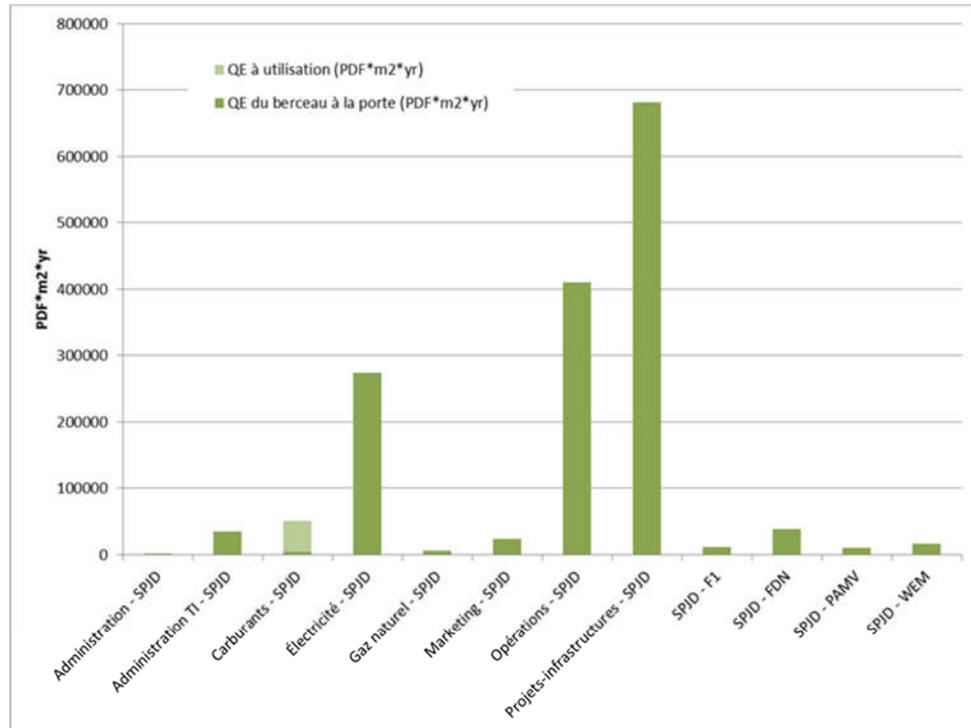
Pour l'utilisation de l'eau, il s'agit d'eau utilisée pour la production des biens et services, et cela n'inclut pas toute eau utilisée directement sur le site du parc Jean-Drapeau. Cette dernière n'a pas pu être inventoriée par manque d'information disponible.

Abréviations :

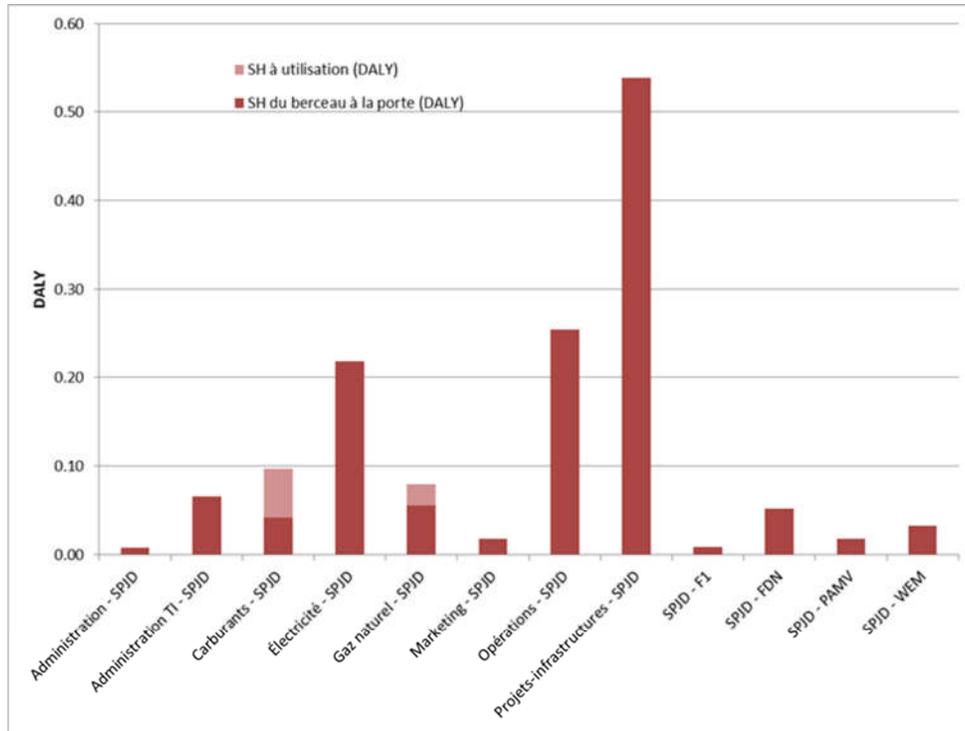
- FDN : Fête des neiges
- WEM : Week-end du monde
- PAMV : plan annuel de mise en valeur du parc
- F1 : infrastructures (paddocks, circuit) pour le grand prix de F1
- TI : technologie de l'information



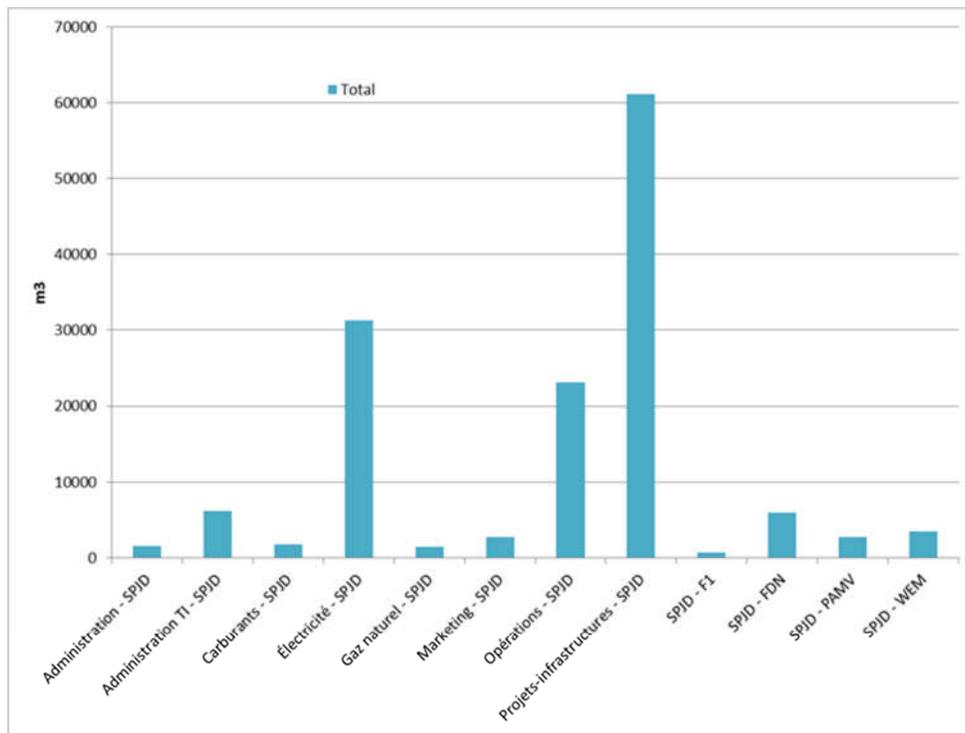
Sources de l'impact changement climatique des opérations et du fonctionnement de la SPJD.



Sources du dommage sur les écosystèmes des opérations et du fonctionnement de la SPJD.



Sources du dommage sur la santé humaine des opérations et du fonctionnement de la SPJD.



Sources de l'utilisation de l'eau des opérations et du fonctionnement de la SPJD.

