



CIRAIG^{MC}

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



RAPPORT TECHNIQUE

ANALYSE DU CYCLE DE VIE DE DIFFÉRENTS TYPES DE VAISSELLE ET
DE SCÉNARIOS D'OPÉRATION DES AIRES DE SERVICE ALIMENTAIRE DE **POLYTECHNIQUE MONTRÉAL**

JANVIER 2017

Préparé pour

**Bureau du Développement durable
Polytechnique Montréal**

À l'attention de

Jean-François Desgroseilliers
Conseiller en développement durable

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 international de référence
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

François Saunier, M.Sc.A.

Réalisation de l'ACV et rédaction du rapport

Hugues Imbeault-Tétrault, ing., M.Sc.A

Réalisation de la revue bibliographique

Jean-François Ménard, B.Sc., B.ing.

Révision interne

Dominique Maxime, Ph.D.

Révision interne

Collaboration

Valérie Patreau, M.Sc.A.

Coordination du projet

Direction du projet

Pr. Réjean Samson, ing., Ph.D.

Directeur du projet

Sommaire

À la demande du Bureau du Développement durable de Polytechnique de Montréal, le CIRAIQ a réalisé une analyse du cycle de vie comparant différentes options de vaisselle pour ses zones cafétérias et incluant plusieurs analyses des modes de gestion de matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire de l'institution.

Cette étude souhaite combler un manque d'informations quant aux choix qui s'offrent aux services alimentaires dans le contexte québécois d'approvisionnement et de gestion des matières résiduelles.

En premier lieu, une revue des publications pertinentes (études ACV ou autres) portant sur la vaisselle à usage unique a été effectuée. Ceci a permis de dresser un portrait des travaux déjà réalisés à l'échelle internationale en ce qui a trait à l'analyse environnementale du cycle de vie dans ce domaine et d'aider à la réalisation de la présente étude en identifiant les principaux enjeux à considérer.

Par la suite, l'étude a été réalisée de manière itérative, constituant au final trois volets.

Volet A : Comparaison des pièces de vaisselle

D'abord, des pièces de vaisselle jetables en polystyrène (contenants), en polypropylène (ustensiles) ou en matériaux compostables (carton ou bagasse ou PLA pour les contenants, amidon de maïs pour les ustensiles) offertes par les distributeurs d'Aramark Québec et des pièces réutilisables (céramique, contenants de plastiques réutilisables, ustensiles en acier inoxydable) ont été comparées sur la base de leurs profils environnementaux, c'est-à-dire leurs scores obtenus pour quatre catégories de dommages : *Changement climatique*, *Santé humaine*, *Qualité des écosystèmes* et *Ressources*.

Cette comparaison inclut la consommation d'énergie et de matières et les émissions générées lors de la production des pièces, leur emballage, leur transport et leur gestion en fin de vie (enfouissement ou compostage selon l'option). Pour les pièces réutilisables, l'énergie, l'eau et le savon requis pour leur lavage, de même que leur durée de vie ont été pris en considération.

Conclusions du volet A : Les options de vaisselle réutilisable sont toujours nettement préférables aux options de vaisselle à usage unique en ce qui a trait aux catégories *Changement climatique*, *Santé humaine* et *Ressources*, et ce, dès que les pièces sont réutilisées plus de 300 fois et même moins selon les options. Pour la catégorie *Qualité des écosystèmes*, les scores étant souvent proches, l'incertitude reliée aux données d'inventaire (utilisées pour modéliser les systèmes comparés) et aux facteurs de caractérisation (utilisés pour calculer les scores d'impacts des systèmes comparés) ne permet pas de conclure.

Les pièces de vaisselle en polystyrène et les ustensiles en polypropylène sont le plus souvent environnementalement préférables aux options en matériaux biodégradables évaluées dans le cadre de cette étude. Cet avantage de la vaisselle régulière tient principalement à des pièces ayant une masse plus faible que la vaisselle compostable et au fait de leur production au Québec ou en Amérique du Nord, impliquant l'utilisation d'énergie électrique moins dommageable et des distances de transport moindres que la vaisselle biodégradable principalement produite en Asie. Néanmoins, il n'est pas possible de départager de façon globale les options d'assiettes ou de coquilles en PSE et en carton,

chacune étant l'option préférable pour au moins une des quatre catégories de dommages considérées. Parmi les matériaux alternatifs comparés pour les contenants, l'option en carton est souvent préférable à celle en bagasse : elle l'emporte dans trois catégories de dommages.

L'utilisation d'un produit qui serait fabriqué au Québec est souvent avantageuse grâce au faible impact du mélange d'approvisionnement électrique québécois et à la réduction des transports associés.

Volet B : Fin de vie des matières organiques générées à Polytechnique

Dans un second temps, trois modes de gestion des matières organiques générées à Polytechnique ont été comparés : l'enfouissement, le compostage et la décomposition catalytique par micro-ondes.

L'enfouissement représente la situation où les matières organiques ne sont pas triées et sont éliminées avec les résidus ultimes. Ces résidus sont gérés par la société RCI Environnement et envoyés, via le site de transbordement de Laval, au LET de Ste-Sophie.

Le compostage des matières organiques a été instauré à Polytechnique courant 2015. Les matières organiques sont collectées séparément par NI Corporation et envoyées au site de compostage de Laflèche, en Ontario.

Pour la décomposition catalytique par micro-ondes, la technologie Pyrowave, développée à Polytechnique et actuellement en phase pilote, a été considérée. Elle utilise des micro-ondes pour chauffer les déchets en absence d'air afin de décomposer la matière en un liquide (huile de monomères), une cire, un gaz combustible et un combustible solide (noir de carbone).

Conclusions du volet B : La décomposition catalytique par micro-ondes des matières organiques est préférable à leur enfouissement ou leur compostage, grâce à la valorisation de ses coproduits. Cette technologie étant en cours de développement, les données utilisées et hypothèses faites à son sujet devraient néanmoins être revalidées lorsque la technologie sera disponible sur le marché.

Il n'est pas possible de distinguer la meilleure option entre l'enfouissement et le compostage des matières organiques générées à Polytechnique, les conclusions changeant selon la catégorie d'impact considérée ou étant influencées par des paramètres incertains.

Le transport des matières organiques entre Polytechnique et leur lieu de traitement a une contribution significative aux impacts potentiels. Il est donc préférable de minimiser cette distance autant que possible.

Volet C : Scénarios d'approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire de Polytechnique

Pour finir, différents scénarios d'approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles (papier, carton, verre, métaux, plastiques, matières organiques et résidus ultimes) générées dans les services alimentaires de Polytechnique ont été comparés. Les scénarios se différencient sur deux aspects : le choix de la vaisselle (mêmes options que pour le volet A) et les options de gestion des différentes matières résiduelles (enfouissement, compostage, recyclage ou décomposition catalytique par micro-ondes selon les matériaux et les scénarios).

La vaisselle biodégradable facilitant la mise en place d'un système de collecte des résidus compostables, un des objectifs était ici de vérifier si le fait d'inclure la gestion des résidus alimentaires dans l'analyse modifiait les conclusions du volet A.

À noter que cette étude n'avait pas pour objectif de couvrir l'ensemble des activités associées aux services alimentaires. À ce titre, il n'est pas établi de profil environnemental (soit les résultats pour les quatre catégories d'impacts considérées) pour les services alimentaires puisque sont exclues les activités telles que la préparation des repas, la gestion des aliments, l'entretien des locaux, etc.

Conclusion du volet C : Comme pour le volet A, l'emploi de vaisselle réutilisable est très avantageux par rapport aux options à usage unique, que les résidus de tables soient enfouis ou compostés. L'option de vaisselle réutilisable n'est cependant pas envisageable à court terme pour Polytechnique Montréal à cause de contraintes d'aménagement. Parmi les options de vaisselle à usage unique, le scénario le plus favorable est celui de vaisselle non biodégradable, avec décomposition catalytique par micro-ondes des matières résiduelles.

La gestion en fin de vie des matières résiduelles (déchets de vaisselle, résidus alimentaires, matières recyclables et résidus ultimes) a une faible influence sur les scénarios comparés, à l'exception de ceux utilisant la décomposition catalytique par micro-ondes. Dans tous les scénarios, le principal contributeur est l'approvisionnement en vaisselle (et son utilisation dans le cas de la vaisselle réutilisable).

Table des matières

1	MISE EN CONTEXTE ET HISTORIQUE DU PROJET	1
1.1	REVUE DE LITTÉRATURE D'ÉTUDES PUBLIÉES SUR LA VAISSELLE À USAGE UNIQUE	3
1.1.1	<i>Comparaisons entre options jetables et réutilisables</i>	<i>3</i>
1.1.2	<i>Comparaisons entre options jetables</i>	<i>4</i>
1.2	ÉTAT DE LA SITUATION ET OPTIONS POSSIBLES POUR POLYTECHNIQUE MONTRÉAL	6
1.2.1	<i>Recyclage et valorisation du polystyrène expansé et non expansé</i>	<i>6</i>
1.2.2	<i>Solutions de remplacement à la vaisselle en polystyrène expansé et non expansé.....</i>	<i>8</i>
1.2.3	<i>Conclusion.....</i>	<i>10</i>
2	MODÈLE D'ÉTUDE ACV.....	13
2.1	OBJECTIFS DE L'ÉTUDE ET APPLICATION ENVISAGÉE	13
2.2	DESCRIPTION DES OPTIONS ÉTUDIÉES	14
2.2.1	<i>Volet A : Pièces de vaisselle à l'étude</i>	<i>14</i>
2.2.2	<i>Volet B : Fin de vie des matières organiques</i>	<i>19</i>
2.2.3	<i>Volet C : Scénarios annuels d'approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire de Polytechnique.....</i>	<i>20</i>
2.3	FONCTIONS ET UNITÉ FONCTIONNELLE	26
2.4	TRAITEMENT DES FONCTIONS SECONDAIRES ET RÈGLES D'IMPUTATION.....	26
2.5	FRONTIÈRES DES SYSTÈMES	29
2.5.1	<i>Processus inclus dans la modélisation de chaque pièce de vaisselle (volet A).....</i>	<i>29</i>
2.5.2	<i>Processus inclus dans la modélisation de la fin de vie des matières organiques (volet B).....</i>	<i>33</i>
2.5.3	<i>Processus inclus dans la modélisation des scénarios annuels d'approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire (volet C)</i>	<i>34</i>
2.5.4	<i>Frontières géographiques et temporelles</i>	<i>36</i>
2.6	SOURCES, HYPOTHÈSES ET DONNÉES D'INVENTAIRE DU CYCLE DE VIE (ICV)	37
2.6.1	<i>Collecte des données.....</i>	<i>37</i>
2.6.2	<i>Données spécifiques à l'étude.....</i>	<i>39</i>
2.6.3	<i>Sources et hypothèses.....</i>	<i>43</i>
2.7	ÉVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	50
2.8	INTERPRÉTATION.....	52
2.8.1	<i>Analyse de l'inventaire.....</i>	<i>52</i>
2.8.2	<i>Évaluation de la qualité des données d'inventaire</i>	<i>53</i>
2.8.3	<i>Analyse de cohérence et de complétude</i>	<i>53</i>
2.8.4	<i>Analyses de sensibilité et analyses de scénarios.....</i>	<i>54</i>

2.8.5	<i>Analyse d'incertitude</i>	57
2.9	REVUE CRITIQUE	58
3	RÉSULTATS ET DISCUSSION	60
3.1	VOLET A : COMPARAISONS INDIVIDUELLES DES PIÈCES DE VAISSELLE À L'ÉTUDE.....	60
3.1.1	<i>Comparaison environnementale des pièces de vaisselle</i>	60
3.1.2	<i>Qualité des données d'inventaire</i>	70
3.1.3	<i>Analyses de sensibilité</i>	71
3.1.4	<i>Comparaison avec la revue de littérature</i>	73
3.2	VOLET B : GESTION DE LA FIN DE VIE DES RESIDUS ALIMENTAIRES	75
3.2.1	<i>Comparaison environnementale des options de gestion en fin de vie des résidus alimentaires</i> 75	
3.2.2	<i>Qualité des données</i>	77
3.2.3	<i>Analyses de sensibilité</i>	78
3.3	VOLET C : COMPARAISON ENVIRONNEMENTALE DE SCENARIOS D'APPROVISIONNEMENT EN VAISSELLE ET DE GESTION DES MATIÈRES RÉSIDUELLES GÉNÉRÉES DANS LES AIRES DE SERVICE ALIMENTAIRE.....	84
3.3.1	<i>Comparaison environnementale de scénarios d'approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire</i>	84
3.3.2	<i>Qualité des données</i>	88
3.3.3	<i>Analyses de sensibilité</i>	88
3.4	APPLICATIONS ET LIMITES DE L'ACV	92
3.5	RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES.....	94
3.5.1	<i>Pistes d'amélioration de l'étude</i>	94
3.5.2	<i>Mise en perspective des résultats pour un contexte plus général</i>	95
4	CONCLUSIONS	96
5	RÉFÉRENCES	97
	ANNEXE A : MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE DU CYCLE DE VIE (ACV)	105
	ANNEXE B : MÉTHODE D'ÉVALUATION DES IMPACTS DU CYCLE DE VIE	106
	ANNEXE C : DONNÉES ET HYPOTHÈSES	107
	ANNEXE D : ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES DONNÉES D'INVENTAIRE	108
	ANNEXE E : RÉSULTATS BRUTS	113
	ANNEXE F: GLOSSAIRE	114
	ANNEXE G: REVUE DE LITTÉRATURE	116
	ANNEXE H : REVUE CRITIQUE	123

Liste des tableaux

Tableau 1-1 : Résumé des différentes solutions de remplacement à l'utilisation ou l'enfouissement de vaisselle en polystyrène	11
Tableau 2-1 : Caractéristiques des pièces de vaisselle évaluées.....	15
Tableau 2-2 : Options de vaisselle réutilisable	18
Tableau 2-3 : Scénarios d'approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire à l'étude	21
Tableau 2-4 : Fin de vie des pièces de vaisselle et des matières résiduelles selon les scénarios à l'étude	24
Tableau 2-5 : Fin de vie des pièces de vaisselle et des matières résiduelles selon les scénarios à l'étude (suite).....	25
Tableau 2-6 : Taux de décomposition des matières en site d'enfouissement.....	27
Tableau 2-7 : Processus inclus et exclus des frontières de l'ACV (volet A - comparaison des pièces de vaisselle unitaires)	32
Tableau 2-8 : Processus inclus et exclus des frontières de l'ACV (volet B – fin de vie des matières organiques)	34
Tableau 2-9 : Processus inclus et exclus des frontières de l'ACV (volet C – approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire).....	36
Tableau 2-10 : Mélanges d'approvisionnement énergétique utilisés.....	38
Tableau 2-11 : Comparaison des options de fin de vie selon les options de vaisselle.....	40
Tableau 2-12 : Matières résiduelles générées annuellement dans les aires de service alimentaire de Polytechnique	42
Tableau 2-13 : Principales données, sources et hypothèses utilisées dans l'établissement de l'ICV d'avant-plan – Fournisseurs (volets A et C)	43
Tableau 2-14 : Principales données, sources et hypothèses utilisées dans l'établissement de l'ICV d'avant-plan – matériaux non biodégradables (volets A et C)	44
Tableau 2-15 : Principales données, sources et hypothèses utilisées dans l'établissement de l'ICV d'avant-plan – matériaux biodégradables (volets A et C)	45

Tableau 2-16 : Principales données, sources et hypothèses utilisées dans l'établissement de l'ICV d'avant-plan – fournisseurs, vaisselle réutilisable (volets A et C).....	46
Tableau 2-17 : Principales données, sources et hypothèses utilisées dans l'établissement de l'ICV d'avant-plan – matériaux, vaisselle réutilisable (volets A et C).....	47
Tableau 2-18 : Principales données, sources et hypothèses utilisées dans l'établissement de l'ICV d'avant-plan – fin de vie des matières organiques (volet B)	47
Tableau 2-19 : Principales données utilisées dans l'établissement de l'ICV d'avant-plan – fin de vie des matières résiduelles (volet C)	48
Tableau 2-20 : Membres constituants du comité de revue critique.....	58
Tableau 3-1 : Facteurs liés au contexte de Polytechnique et leur influence sur les résultats finaux	95

Liste des figures

Figure 2-1 : Unité de traitement Pyrowave.....	19
Figure 2-2 : Frontières des systèmes – pièces de vaisselle unitaires (volet A).....	30
Figure 2-3 : Frontières des systèmes – fin de vie des matières organiques (volet B).	33
Figure 2-4 : Frontières des systèmes – scénarios annuels d'approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire (volet C).....	35
Figure 2-5 : Catégories de dommage et catégories d'impacts de la méthode IMPACT 2002+... ..	50
Figure 3-1 : Comparaison des scores environnementaux relatifs au cycle de vie d'une assiette (méthode IMPACT 2002+).	61
Figure 3-2 : Influence du nombre d'utilisations de l'assiette réutilisable sur les scores environnementaux et la comparaison avec les options à usage unique (méthode IMPACT 2002+).	63
Figure 3-3 : Comparaison des scores environnementaux relatifs au cycle de vie des bols (méthode IMPACT 2002+).	64
Figure 3-4 : Influence du nombre d'utilisations du bol réutilisable sur les scores environnementaux et la comparaison avec les options à usage unique (méthode IMPACT 2002+).	65
Figure 3-5 : Comparaison des scores environnementaux relatifs au cycle de vie d'un gobelet ou d'une tasse (méthode IMPACT 2002+).	66

Figure 3-6 : Influence du nombre d'utilisations de la tasse réutilisable sur les scores environnementaux et la comparaison avec les options à usage unique (méthode IMPACT 2002+).	67
Figure 3-7 : Comparaison des scores environnementaux relatifs au cycle de vie d'un couteau (méthode IMPACT 2002+).	68
Figure 3-8 : Influence du nombre d'utilisations du couteau réutilisable sur les scores environnementaux et la comparaison avec les options à usage unique (méthode IMPACT 2002+).	69
Figure 3-9 : Analyse de scénario – Influence du lieu de production des pièces de vaisselle (méthode IMPACT 2002+).	72
Figure 3-10 : Comparaison environnementale des options de fin de vie des matières organiques récoltées à Polytechnique (méthode IMPACT 2002+).	77
Figure 3-11 : Analyse de scénario - comparaison environnementale de technologies de compostage des matières organiques récoltées à Polytechnique (méthode IMPACT 2002+).	79
Figure 3-12 : Analyse de scénario – Influence de la source d'énergie substituée par le syngaz coproduit lors de la décomposition catalytique (méthode IMPACT 2002+).	80
Figure 3-13 : Analyse de sensibilité – Influence du taux de captage du biogaz sur la comparaison des technologies (méthode IMPACT 2002+). (TC : taux de captage ; Enf. : enfouissement ; Décomp. cata. : Décomposition catalytique).	81
Figure 3-14 : Analyse de sensibilité – Influence du taux de dégradation des matières organiques en site d'enfouissement sur la comparaison des technologies (méthode IMPACT 2002+).	83
Figure 3-15 : Comparaison environnementale de scénarios d'approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire (méthode IMPACT 2002+).	86
Figure 3-16 : Analyse de sensibilité pour le volet C – approche par <i>cut-off</i> pour les frontières de fin de vie (méthode IMPACT 2002+).	89
Figure 3-17 : Analyse de sensibilité pour le volet C - nombre d'utilisation pour le scénario 3 (« tout réutilisable ») (méthode IMPACT 2002+).	91

Liste des abréviations et sigles

ACV	Analyse du cycle de vie
AEP	Association des étudiants de Polytechnique Montréal
BDD	Bureau du Développement durable de Polytechnique Montréal
CIRAIG	Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services
DALY	<i>Disabled Ajusted Life Years</i>
ÉICV	Évaluation des impacts du cycle de vie
ICV	Inventaire du cycle de vie
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LCA	<i>Life cycle assessment</i>
LET	Lieu d'enfouissement technique
MO	Matières organiques
MR	Matières résiduelles
PDF	<i>Potentially Disappeared Fraction</i>
PE	Polyéthylène
PEBD	Polyéthylène basse densité
PEHD	Polyéthylène haute densité
PET	Polyéthylène téréphtalate
PLA	Acide polylactique
PP	Polypropylène
PS	Polystyrène
PSE	Polystyrène expansé
PVC	Polychlorure de vinyle
UF	Unité fonctionnelle
UQÀM	Université du Québec à Montréal
XPS	Polystyrène extrudé

1 Mise en contexte et historique du projet

Les services alimentaires de Polytechnique utilisent actuellement de la vaisselle jetable (principalement faite en polystyrène, carton-PE et polypropylène) pour toutes leurs pièces de vaisselle. Les clients de la cafétéria sont cependant encouragés à utiliser leurs pièces de vaisselle réutilisables (assiette ou tasse) via un rabais sur le plat ou sur le café. Ces pièces de vaisselle réutilisables ne sont pas fournies par les services alimentaires et sont donc à la discrétion du client. Bien que souvent critiqué par des membres de la communauté de Polytechnique, le choix de la vaisselle jetable est lié à des considérations techniques et économiques : la configuration de la cafétéria principale de Polytechnique ne permet pas d'installer un lave-vaisselle industriel, essentiel pour l'utilisation quotidienne de vaisselle réutilisable. Des consultants externes, engagés par l'Association des étudiants de Polytechnique et par l'administration de l'École en 2011-2012, ont ainsi conclu que modifier les installations représenterait des travaux très importants et un coût substantiel. Néanmoins le fait de vouloir utiliser de la vaisselle jetable générant moins d'impacts environnementaux fait partie des préoccupations de Polytechnique et des prestataires des services alimentaires.

À l'automne 2012, Aramark Québec, le fournisseur alimentaire de Polytechnique Montréal, a mandaté un groupe d'étudiants du cours GCH6310 – Analyse du cycle de vie, afin qu'ils comparent la vaisselle jetable actuellement employée à la cafétéria de l'établissement, à de la vaisselle biodégradable. Leur rapport (Mami et coll., 2012) a été remis au professeur chargé du cours, ainsi qu'aux responsables d'Aramark Québec.

L'Association des étudiants de Polytechnique (AEP), en collaboration avec le Bureau du Développement durable de Polytechnique (BDD), a mandaté le CIRAIG afin qu'il révise et complète l'étude effectuée par les étudiants. Entre juin 2013 et janvier 2014, le CIRAIG a analysé et comparé, à l'aide de l'analyse du cycle de vie (ACV), les profils environnementaux de plusieurs options de vaisselle à usage unique et d'une option de vaisselle réutilisable.

Entre avril 2014 et mai 2015, des analyses supplémentaires incluant la gestion de l'ensemble des résidus de cafétéria et d'une nouvelle option de fin de vie, la décomposition catalytique par micro-ondes par la technologie émergente Pyrowave, ont été réalisées pour le BDD et intégrées au rapport de janvier 2014.

Les résultats de cette étude ont fait l'objet d'une revue critique s'étant déroulée de juin 2016 à janvier 2017. En effet, les résultats ont pour vocation d'être utilisés par le Bureau du Développement durable pour être communiqués à toute la communauté de Polytechnique afin de mieux expliquer les choix actuels ou expliquer les changements à envisager.

Au final, l'étude est constituée de trois volets concernant respectivement la comparaison de pièces de vaisselle, d'options de fin de vie des matières organiques et de scénarios d'approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire de Polytechnique.

Ce rapport présente l'ensemble des travaux réalisés par le CIRAIG, soit :

- Une revue de littérature sur le sujet de l'étude (**Chapitre 1**).
- Les objectifs et le champ de l'étude (**Chapitre 1.2**).
- Les résultats de l'ACV, leur interprétation et les recommandations associées (**Chapitre 3**).
- Les conclusions résultantes (**Chapitre 4**).

Le rapport qui suit constitue le rapport final de l'étude ACV.

Il est à noter que l'Annexe A présente la méthodologie ACV en détail, comprenant une section définissant les termes spécifiques au domaine. Un glossaire est aussi joint en Annexe F pour définir certains termes.

1.1 Revue de littérature d'études publiées sur la vaisselle à usage unique

En premier lieu, une revue des publications ACV pertinentes publiées après 2005 et portant sur la vaisselle à usage unique ou réutilisable a été effectuée. Elle a permis de dresser un portrait des travaux déjà réalisés à l'échelle internationale en ce qui a trait à l'analyse environnementale du cycle de vie dans ce domaine. Le Tableau G-1 résumant les études répertoriées est disponible en Annexe G et la liste complète des documents consultés est présentée dans les références (Chapitre 5). Cette liste de références est en partie basée sur celle de Martineau et Lanmafankpotin (2014).

Les types d'études suivants ont été exclus : travaux dans le cadre d'un cours, contexte géographique non spécifié, étude de type « cradle-to-gate », analyses qualitatives des impacts du cycle de vie, articles de revue scientifique sur des travaux de rapports détaillés disponibles, comparaisons d'emballages alimentaires jetables non dans un contexte de services alimentaires (ex. bouteille d'eau, barquette de fruits à l'épicerie).

1.1.1 Comparaisons entre options jetables et réutilisables

Il est possible de distinguer deux types d'études : celles comparant des items de service alimentaire à usage unique avec des items réutilisables et celles comparant des options jetables entre elles. Les études recensées du premier type concernent les items suivants :

- Assiettes, plateaux et emballages double coque (To et Chan, 2006; Broca, 2008; Franklin Associates, 2009a; Harnoto, 2013);
- Gobelets et tasses (Vercalsteren *et al.*, 2006; Garrido et Alvarez del Castillo, 2007; Ligthart et Ansems, 2007; Pladerer *et al.*, 2008; Grandchamp et Giger, 2009; Bouvier et Bossut, 2011; RDC Environment, 2013; Refiller, 2013; Martineau et Lanmafankpotin, 2014);
- Serviettes de table (Jelse et Westerdahl, 2011);
- Caisses pour le transport de légumes et de fruits (Accorsi *et al.*, 2014).

Les items pour servir un repas (assiettes, plateaux et emballages double coque) ne font pas l'objet de travaux poussés : seulement deux études ont été jugées de qualité suffisante pour considérer leurs résultats. Initialement, les études de To et Chan (2006) et Broca (2008) ont été répertoriées, mais elles ont finalement été exclues n'étant pas conformes aux principes ACV de base décrits par la norme ISO 14044 (ex. exclusion injustifiée d'étapes importantes du cycle de vie dont l'extraction des matières premières, mauvaise compréhension du principe d'unité fonctionnelle, etc.). Les deux études retenues sont celles de Franklin Associates (2009a) et Harnoto (2013) qui comparent respectivement les options réutilisables et à usage unique de vaisselle de cafétéria, incluant le plateau de service, et d'emballage pour emporter double coque (« clamshell ») sur tout leur cycle de vie. Elles sont des empreintes carbone incluant des valeurs d'inventaire de consommation d'énergie et de production de déchets. Harnoto (2013) quantifie en sus la consommation d'eau. Franklin Associates (2009a), qui a fait l'objet d'une révision par une tierce partie, montre que l'option d'un cabaret compartimenté jetable en PS est une option offrant une meilleure performance environnementale sur tous les indicateurs, le plateau compartimenté réutilisable en polycarbonate arrivant en deuxième place. La validité de ce résultat est cependant remise en question par la définition du scénario « plateau jetable » simplement estimé par la modélisation d'une assiette compartimentée jetable (autre scénario étudié). Les résultats du plateau compartimenté jetable ne sont ainsi pas présentés dans le résumé de l'étude. Une durée de vie de 2 700 utilisations y a été posée dans un contexte de

cafétéria scolaire pour les items réutilisables (plateau compartimenté et plateau plat). Finalement, Harnoto (2013) indique que l'emballage à double coque réutilisable doit servir au moins 15 fois pour mieux performer que l'option à usage unique, sauf pour la consommation d'eau qui est toujours supérieure. L'étude indique également que les hypothèses sur la fin de vie telles que le taux de compostage et le ratio de compostage sur mise en décharge influencent les impacts environnementaux et peuvent modifier les conclusions de l'étude.

Bien qu'il ne s'agisse pas de comparaisons d'assiettes, les études sur les gobelets et tasses apportent des informations intéressantes dans le contexte de cette étude et on en compte un grand nombre. Elles analysent les gobelets et tasses à breuvages chauds ou froids dans un contexte d'événements (sportifs, culturels, etc.) ou de restauration. Ce sont en général des études complètes et de bonne qualité. Quatre d'entre elles ont fait l'objet d'une revue critique (Vercauteren *et al.*, 2006; Ligthart et Ansems, 2007; Pladerer *et al.*, 2008; Martineau et Lanmafankpotin, 2014). Les tendances ressortant de ces études sont qu'une optimisation du nettoyage (ex. minimiser la quantité d'eau utilisée) et du nombre de réutilisations (ex. maximiser le taux de retour) rend l'option réutilisable environnementalement préférable. Ainsi, les études de Pladerer *et al.* (2008), Bouvier et Bossut (2011), Grandchamp et Giger (2009) et Refiller (2013) concluent que l'option réutilisable est préférable pour l'environnement. En contrepartie, Garrido et Alvarez del Castillo (2007), RDC Environment (2013), Vercauteren *et al.* (2006) et Martineau et Lanmafankpotin (2014) sont plus nuancés, notamment en quantifiant le nombre minimal de réutilisations nécessaires pour mieux performer que l'option jetable, et en effectuant des analyses de scénarios et de sensibilité démontrant que dans des cas extrêmes (ex. bas taux de retour ou nettoyage non optimisé), l'option de réutilisation peut être pire que l'option à usage unique. Finalement, les travaux de Ligthart et Ansems (2007) concluent que l'utilisation d'un gobelet de café jetable minimise les impacts environnementaux potentiels en comparaison avec une tasse de céramique ou de terre cuite. Dans ce cas, les conclusions étaient très sensibles à trois paramètres : l'utilisation d'eau pour le nettoyage, la réutilisation possible des gobelets jetables et les crédits attribués aux gobelets jetables en fin de vie (recyclage et valorisation énergétique). En analyse de sensibilité, l'étude démontre que des valeurs de paramètres plus favorables à l'option réutilisable peuvent la rendre plus avantageuse que l'option à usage unique.

Deux autres études mettent en évidence d'autres types de produits : les serviettes réutilisables (Jelse et Westerdahl, 2011) et les caisses pour le transport de fruits et légumes (Accorsi *et al.*, 2014). Les impacts de la serviette réutilisable sont supérieurs pour toutes les catégories d'impacts évaluées même si elle est utilisée 60 fois. Cependant, l'étude de Jelse et Westerdahl (2011) indique que les résultats dépendent de nombreux paramètres (taille des serviettes, poids des serviettes, textile, nombre d'utilisations, catégories étudiées, etc.) et qu'il n'est pas possible d'indiquer la supériorité environnementale d'un système. Quant aux caisses, Accorsi *et al.* (2014) concluent que l'option réutilisable est préférable, mais que les résultats sont sensibles aux distances de transport.

1.1.2 Comparaisons entre options jetables

Il existe une multitude d'études comparant différents types de vaisselle jetable : en plastique, biodégradable, compostable, etc. Les études de Franklin Associates (2009b, 2011), Detzel et Krüger (2006), Häkkinen et Vares (2010), Krüger *et al.* (2009), Madival *et al.* (2009), PE Americas (2009), Razza *et al.* (2009), Simon *et al.* (2012), Uihlein *et al.* (2008) et van der Harst *et al.* (2014) appartiennent à cette catégorie et évaluent souvent les possibles bénéfices apportés par

l'utilisation de PLA ou de plastique biodégradable en comparaison avec d'autres plastiques plus couramment utilisés tel que le PS, le PE et le PET. Les études de Detzel et Krüger (2006), Krüger *et al.* (2009), PE Americas (2009), Madival *et al.* (2009), Uihlein *et al.* (2008) et van der Harst *et al.* (2014) arrivent à la conclusion qu'il n'est pas possible d'indiquer la supériorité d'un système, car en fonction de la catégorie d'impact c'est un système ou l'autre qui est supérieur. L'étude de Madival *et al.* (2009) met en évidence que le poids de la vaisselle joue un rôle important dans les impacts environnementaux, car une part importante de ceux-ci est liée à la production et au transport de la vaisselle. Ce constat met en évidence un désavantage récurrent de la vaisselle biosourcée (plastique dégradé ou carton) qui est souvent plus lourde. Seule l'étude de Razza *et al.* (2009) indique une conclusion claire en faveur de la vaisselle compostable. Cependant, la fin de vie des déchets de nourritures est incluse dans les frontières de l'étude. Ainsi, les bénéfices environnementaux du compostage de la nourriture (qui est utilisée comme fertilisant) sont entièrement attribués au couvert. Cette inclusion donne ainsi un avantage important à la vaisselle biodégradable qui permet le compostage de la nourriture contrairement au scénario où la vaisselle est en plastique ne permettant pas de composter la nourriture, car les déchets obtenus sont un mélange de déchets biodégradables et non biodégradables. Par ailleurs, seuls les couverts sont étudiés dans cette étude, il serait donc nécessaire d'incorporer le reste de la vaisselle dans les frontières du système pour obtenir une conclusion robuste sur la supériorité environnementale d'un des systèmes.

Simon *et al.* (2012) révèlent que, en plus de la masse, l'utilisation d'énergie renouvelable, les hypothèses quant aux matériaux agrosourcés, à la fin de vie et aux méthodes d'imputation et le choix des données (qui peuvent dépendre du logiciel utilisé et de son niveau de complexité) influencent grandement les résultats d'une comparaison de gobelets à usage unique.

Franklin Associates (2009b) et Franklin Associates (2011) ont réalisé une analyse de l'inventaire pour des tasses, des assiettes et des contenants de type « clamshells » composés de PET recyclé, polystyrène, carton et PLA. L'inventaire a été résumé en 4 catégories : utilisation d'énergie, déchet solide, gaz à effet de serre (GES) et utilisation d'eau. Similairement à l'étude de Madival *et al.* (2009), Franklin Associates ne peuvent pas démontrer la supériorité d'un matériau, car en fonction de l'ustensile ou de la catégorie étudiés les conclusions changent. Par ailleurs, Franklin Associates observe également l'importance du poids des ustensiles sur les résultats finaux, donnant un avantage aux ustensiles composés de matériaux plus légers tel le polystyrène. Franklin Associates indique que les émissions de GES pour les ustensiles en carton dépendent fortement du scénario de fin de vie. Effectivement, la dégradation du papier dans les centres de traitement des déchets peut énormément varier pouvant multiplier par un facteur 10 les émissions de GES des ustensiles en papier.

Finalement, il existe également différentes études réalisées dans le cadre de projet universitaire tel que celle de Brownlee *et al.* (2013), qui analyse les impacts environnementaux de couvert en bois. Elle conclut que les étapes de production de matériaux et de transports sont les plus impactantes. La comparaison avec des ustensiles en plastique est uniquement faite pour les GES et avec des données très grossières. Ainsi, la conclusion de Brownlee *et al.* (2013) sur la supériorité, des ustensiles en bois est très incertaine.

1.2 État de la situation et options possibles pour Polytechnique Montréal

La vaisselle présentement utilisée à la cafétéria de Polytechnique Montréal est principalement constituée de polystyrène ou de polystyrène expansé (voir Tableau 2-1 pour le détail). Or, le recyclage de ce matériau est actuellement assez marginal au Québec (SECOR, 2011), peu de centres de tri étant équipés pour l'accepter. Sa récupération et sa valorisation font néanmoins l'objet de plusieurs études visant à améliorer cette situation (SECOR, 2011; RRPS, 2015; CTTEI, 2016).

La sous-section 1.2.1 présente des technologies qui permettraient de recycler ou de valoriser le polystyrène expansé et non expansé. Pour un inventaire plus exhaustif sur le recyclage du polystyrène, se référer au récent document du CTTEI (2016). Toutefois, puisque les technologies présentées demeurent marginales ou en développement, des options de remplacement envisageables par Polytechnique ont également été considérées. Ces dernières sont présentées à la sous-section 1.2.2.

1.2.1 Recyclage et valorisation du polystyrène expansé et non expansé

1.2.1.1 Récupération municipale

À l'automne 2012, la Ville de Sherbrooke a mis sur pied un projet pilote visant à récupérer la styromousse dans ses écocentres et à l'acheminer à des entreprises locales en mesure de la recycler. Parmi les produits pouvant être fabriqués à partir de styromousse recyclée se trouvent les lunettes de sécurité, des règles, des boîtiers à disques compacts et des bancs de parc. Les trois types de styromousse récupérés sont les suivants : les contenants de styromousse alimentaire rincés et nettoyés, la styromousse d'emballage et la styromousse isolante (Ville de Sherbrooke, 2012). En 2014, le polystyrène n'était toujours pas inclus dans la collecte sélective, mais était récupéré à ses écocentres (Richard, 2014).

À Montréal, plusieurs projets pilotes de recyclage du polystyrène ont eu lieu ces dernières années (CTTEI, 2015). De juin à septembre 2011, les résidents étaient invités à apporter leurs contenants propres de polystyrène expansé ou non à l'Écocentre Eadie (Recyc-Québec, 2011). Les matières récupérées ont ensuite été acheminées chez Cascades Récupération à Lachine où des essais de densification ont été effectués sur cette matière (RRPS, 2015). En parallèle de ce premier projet, un projet pilote sur des techniques de tri du PS a aussi été effectué en 2011 au centre de tri de Gaudreau Environnement à Victoriaville, qui est le seul centre de tri au Québec acceptant le PS. Le PS a aussi été récupéré lors d'un projet pilote à l'Écocentre LaSalle d'octobre 2013 à septembre 2014 (Ville de Montréal, 2013) afin de l'acheminer à l'entreprise Polyform de Granby, la même entreprise accueillant le polystyrène récupéré à Sherbrooke (Marchand, 2013). Suite au succès de ce dernier projet, il a été prolongé pour une période de cinq ans, qui devrait donc se terminer en 2019 (RRPS, 2015; Ville de Montréal, 2016). Le polystyrène doit être préalablement lavé et est trié sur place entre expansé et non expansé.

1.2.1.2 Conditionnement du polystyrène

L'un des plus gros obstacles au recyclage du polystyrène expansé est lié au fait qu'il soit constitué à près de 90 % d'air. Il prend donc beaucoup d'espace et est coûteux à transporter. Cependant, il existe des technologies de densification qui permettent de compresser la mousse et d'en expulser l'air afin de densifier le résidu (ACPP, 2013). De cette façon, le polystyrène expansé peut être transporté de manière plus économique.

Par contre, cette option n'est pas une solution finale; il s'agit simplement d'une façon de le transporter plus économiquement. Au Québec, tel que mentionné précédemment, il n'existerait qu'un seul centre de tri recueillant le polystyrène expansé et non expansé.

- Densification mécanique

Le collège Rosemont, situé à Montréal, a pour sa part opté pour cette option pendant plusieurs années. Systématiquement, une équipe nettoyait, déchiquetait et entreposait les articles en polystyrène en vue d'une expédition bisannuelle à un centre de recyclage du polystyrène (Lauzon-Gosselin, 2004a). Le recycleur de styromousse, situé à Mississauga en Ontario, a cependant dû fermer ses portes en 2007 (Stewart, 2007). Depuis 2009, le collège de Rosemont utilise de la vaisselle réutilisable dans sa cafétéria (Nioucel, 2014).

L'entreprise Polyform, basée à Granby, offre une variété de contenants en polystyrène, de même que le service de moulage de n'importe quel produit désiré à base de polystyrène (Polyform ne produit cependant pas de vaisselle). Une fois utilisé, l'entreprise se charge de la récupération et du recyclage du polystyrène par déchiquetage ou densification chimique (Polyform, 2013). Le recyclage permet d'utiliser le polystyrène dans de nouveaux contenants ou comme matière première afin de produire des cadres ou des matériaux de construction.

La mise en place à Polytechnique Montréal de cette option pour gérer la vaisselle jetable en fin de vie est cependant difficile, car Polyform ne recycle pas de polystyrène souillé par de la nourriture. L'entreprise traite cependant les emballages nettoyés et apportés par les citoyens aux écocentres de Sherbrooke (voir section 1.2.1.1)

- Densification chimique

L'entreprise Polystyvert, basée à Montréal, propose une solution de recyclage du polystyrène par densification chimique. Le procédé mis au point par cette entreprise permet de dissoudre le polystyrène dans un solvant, puis de séparer la résine de PS obtenue du solvant qui est ensuite réutilisé. La résine de PS produite possède une grande pureté et peut servir à produire du polystyrène ayant les mêmes propriétés qu'un produit fabriqué à base de résine vierge (Polystyvert, 2013). Cette entreprise opère actuellement une usine pilote à Anjou.

Le souillage du polystyrène utilisé dans les options de vaisselle actuelles rendrait difficile son traitement par un tel procédé à cause d'une contamination du solvant et de la résine. Son application à Polytechnique Montréal n'est donc pas envisageable à court terme.

1.2.1.3 Valorisation du polystyrène

- Décomposition biologique du polystyrène

Des étudiants de l'Université Concordia auraient réussi à isoler trois souches bactériennes pouvant décomposer le polystyrène : *pseudomonas fluorescents*, *pseudomonas putida* et *streptomyces griseus*. Sous certaines conditions (non répertoriées), les souches bactériennes ont été en mesure de décomposer totalement le polystyrène en trois semaines (Primeau, 2012). Le résidu de cette décomposition semble être du styrène, qui serait réutilisable, mais peu d'informations précises ont été trouvées à ce sujet.

Aux dernières nouvelles, les deux étudiants viseraient à commercialiser leur procédé auprès de Recyc-Québec (Volstad, 2012). Cette option n'est donc pas opérationnelle dans l'immédiat.

- Liquéfaction du polystyrène

Un procédé de liquéfaction des résidus de polystyrène a été produit par l'Energy Research Laboratories (ERL). Peu d'information a été trouvée quant à ce procédé (Ying, 2001) : il inclurait une décomposition thermique des résidus dans une fournaise à une température de 400°C. Le procédé produirait de la vapeur et des huiles lourdes. Les vapeurs seraient condensées afin de former des huiles légères et des gaz combustibles. Les huiles et les gaz peuvent être utilisés après la séparation. Cependant, le peu d'information disponible et l'absence de preuve d'une opérationnalisation rendent peu probable l'application du procédé à court terme.

Un procédé de dépolymérisation catalytique par micro-ondes du polystyrène en monomères a aussi été développé au sein de Polytechnique en partenariat avec le laboratoire du Pr Jamal Chaouki. Cette technologie, appelée Pyrowave (Pyrowave, 2014), est en voie de commercialisation. Celle-ci permet de transformer un mélange composé de papier, de polymères et de matières organiques en produits formant un mélange de noir de carbone, de biogaz, de cire et d'huile de monomères de styrène valorisables dans différentes applications. Un prototype commercial est en phase de test depuis 2015 (Laviolette, 2014). L'avantage de cette technologie est de pouvoir s'implanter directement sur le site de production des déchets et de permettre leur traitement sur place. L'huile de monomère de styrène est purifiée et est utilisée comme matière première pour la production de polystyrène recyclée. La fraction non styrénique de l'huile est utilisée comme substitut au combustible fossile au site de purification de l'huile ou en raffinerie. La cire produite peut être purifiée pour produire une cire de polyéthylène recyclée. Le noir de carbone peut être récupéré pour remplacer du charbon fossile, comme celui utilisé actuellement par les cimenteries. Le gaz combustible peut quant à lui être consommé comme source d'énergie directement sur site, en remplaçant du gaz naturel traditionnel. Cette technologie fait l'objet d'analyses présentées aux sections 3.2 et 3.3.

L'implantation de cette technologie à Polytechnique Montréal a déjà été discutée par les membres de ce projet et le Bureau du Développement durable de l'école. Cette technologie permettrait de recycler la vaisselle jetable en polystyrène sans avoir à la laver ou la trier des autres déchets produits à la cafétéria, à l'exception des résidus ultimes.

- Gazéification du polystyrène

La gazéification consisterait à transformer entièrement le polystyrène en gaz combustible, via la décomposition thermique de la matière à haute température dans une atmosphère très restreinte en oxygène (RRPS, 2015). Le gaz formé, qui est un mélange de monoxyde de carbone et d'hydrogène, peut ensuite être utilisé tel quel pour la production d'énergie ou converti en carburant.

Un projet de ce type est en préparation afin d'être implémenté courant 2017 dans la région de Montréal (RRPS, 2015). Il permettrait de traiter tout type de plastiques, dont le PS, mais ce dernier doit être exempt de souillures (RRPS, 2015). Son utilisation dans un contexte alimentaire est donc peu probable à moins qu'un système de tri et de traitement efficace l'accompagne.

1.2.2 Solutions de remplacement à la vaisselle en polystyrène expansé et non expansé

Le polystyrène étant non biodégradable et non compostable, plusieurs institutions d'enseignement québécoises ont cherché et appliqué des alternatives à l'utilisation de vaisselle en styromousse afin notamment de réduire les quantités de déchets envoyés à l'enfouissement : l'Université de Sherbrooke, l'Université Laval, HEC et l'Université de Montréal

proposent ainsi de la vaisselle réutilisable et lavable dans au moins une de leurs cafétérias, ainsi que des options compostables ou recyclables pour la vente à emporter (Fagnen, 2016). Dans le souci de limiter la quantité de déchets envoyés à l'enfouissement, Polytechnique a par ailleurs banni la coquille en styromousse depuis le 1^{er} février 2016. Seules les assiettes sont désormais disponibles et des contenants en plastique refermables, lavables et réutilisables ont été mis en vente. Le lavage de ce contenant reste à la discrétion du client.

Les paragraphes qui suivent effectuent un bref survol de ces différentes options que sont la promotion de la vaisselle réutilisable, l'utilisation de contenants plastiques réutilisables à la discrétion des clients et l'utilisation de vaisselle compostable. D'autres types de vaisselle jetable qui pourraient potentiellement remplacer la vaisselle à base de polystyrène, comme par exemple la vaisselle à usage unique recyclable en PET, sont aussi envisageables.

1.2.2.1 Vaisselle réutilisable

L'utilisation de vaisselle réutilisable dans les services alimentaires institutionnels permet d'éviter l'achat et la gestion en fin de vie de contenants à usage unique. Les assiettes et les tasses peuvent être constituées de polycarbonate incassable ou de porcelaine, alors que les ustensiles sont généralement en métal.

Cette option nécessite cependant un plus grand nombre d'infrastructures post-consommation : éviers, lave-vaisselle, aires de rangement et manutention pour la vaisselle et les plateaux (Lauzon-Gosselin, 2004a). De plus, elle soulève des questions par rapport aux vols et aux bris de la vaisselle. Cette solution est toutefois difficilement envisageable à court terme à Polytechnique, étant donné le manque d'espace mais reste une perspective à considérer à long terme.

1.2.2.2 Utilisation de contenants plastiques réutilisables à la responsabilité des étudiants

Cette option, mise en place à l'Université Sherbrooke, consiste à faire acheter la vaisselle réutilisable par les utilisateurs et leur remet donc la responsabilité du lavage post-consommation, réduisant les infrastructures nécessaires.

Parmi les infrastructures requises, des éviers devraient être mis à la disposition des utilisateurs afin d'y laver la vaisselle sur place, sans quoi les lavabos des salles de toilettes risquent d'être rapidement employés à cette fin.

1.2.2.3 Vaisselle biodégradable

L'utilisation de vaisselle à usage unique biodégradable ne nécessiterait aucun changement majeur aux infrastructures présentes à Polytechnique; seule la gestion des déchets pourrait changer. Ainsi, plutôt que d'envoyer la vaisselle jetable et les restes de table à l'enfouissement technique, ils pourraient être envoyés à un centre de compostage ou compostés directement sur le site de Polytechnique.

À titre d'exemple, l'UQÀM, qui offrait de la vaisselle en polystyrène expansé, a opté depuis plus d'une dizaine d'années pour des assiettes en carton ciré (Lauzon-Gosselin, 2004a). Ces assiettes ne sont cependant pas compostées actuellement (Philippe, 2014). Similairement, l'Université de Sherbrooke offre en dernier recours de la vaisselle en matière compostable telle que le bioplastique, la bagasse ou l'amidon (Université de Sherbrooke, 2013).

Il existe quatre grands types de matières servant à la production de vaisselle compostable :

- **Plastique biosourcé** : Les plastiques biosourcés (aussi nommés agrosourcés) désignent des plastiques issus de ressources renouvelables. Ils peuvent être recyclables ou non, selon le type. Le bioPET, qui peut être utilisé dans la production de bouteille, est par exemple un plastique dont une partie des matières premières utilisées dans sa fabrication est à base de plantes et qui est accepté dans la collecte sélective, car il est recyclable. Un autre exemple de bioplastique est l'acide polylactique (ou PLA), qui est lui entièrement biodégradable et qui n'est pas recyclé actuellement au Québec (EEQ, 2012). Il est complètement naturel et ne contient aucun dérivé du pétrole. La matière première utilisée pour le fabriquer est le dextrose (sucre) contenu entre autres dans le maïs, le blé et la betterave. Ce type de bioplastique n'est pas recyclable avec les filières actuellement disponibles au Québec, uniquement compostable. D'autres exemples sont présentés dans la littérature, comme par exemple un plastique biodégradable à base de lignine (Université du Minnesota, 2013).
- **Bagasse** : La bagasse est un résidu fibreux obtenu à la suite de l'extraction du fructose de la canne à sucre.
- **Amidon** : La vaisselle en amidon peut provenir de l'amidon du maïs, des pommes de terre, du tapioca et de plusieurs autres plantes contenant de l'amidon non génétiquement modifié. Le matériau utilisé est une résine commercialisée sous le nom de *Mater-Bi*. Cette résine se présente sous forme d'une pâte de plastique opaque, contenant des polymères naturels.
- **Carton** : La vaisselle en carton est également biodégradable.

Idéalement la vaisselle biodégradable est destinée à être compostée en fin de vie. Sa décomposition est ainsi contrôlée et le compost obtenu est ensuite potentiellement valorisable. Si elle est envoyée à l'enfouissement technique, sa dégradation produira entre autres du dioxyde de carbone et du méthane (des gaz à effets de serre) lors de sa dégradation. L'analyse présentée à la section 3.2 compare la pertinence des différentes gestions en fin de vie. Advenant l'introduction de vaisselle compostable, Polytechnique Montréal devrait notamment prévoir des bacs clairement identifiés afin de séparer les différents déchets.

1.2.3 Conclusion

Le Tableau 1-1 résume les différentes solutions répertoriées. Il est possible d'y observer que les technologies avancées pour le recyclage ou la valorisation du polystyrène ne sont pas bien documentées ou soulèvent plusieurs interrogations quant à leur implémentation à Polytechnique.

Tableau 1-1 : Résumé des différentes solutions de remplacement à l'utilisation ou l'enfouissement de vaisselle en polystyrène

Solution proposée	Connaissance de la technologie	Gestion de la contamination	Probabilité d'implantation à Polytechnique
Recyclage ou valorisation du polystyrène			
Récupération au centre de tri	Moyenne	Rinçage préalable à la mise au recyclage conseillé	Très faible dans un horizon de temps à court terme, car très peu courant au Québec. Ne dépend pas de Polytechnique.
Densification mécanique (Polyform)	Élevée	Lavage nécessaire pour réduire les risques de contamination	Faible, sans solution simple pour gérer la contamination
Densification chimique (Polystyvert)	Moyenne	Lavage nécessaire pour réduire les risques de contamination	Faible, sans solution simple pour gérer la contamination
Décomposition biologique	Faible	Non connu	Faible tant que le procédé n'a pas été commercialisé
Liquéfaction du polystyrène (Pyrowave)	Moyenne (développée en collaboration avec Pr Chaouki, du Département de génie chimique)	Contamination possible	Élevée (partenariat envisageable avec Pyrowave)
Gazéification du polystyrène	Faible	Lavage nécessaire pour réduire les risques de contamination	Très faible
Remplacement du polystyrène			
Vaisselle réutilisable	Élevée	n/a	Faible (espace nécessaire non disponible à l'heure actuelle et coûts de mise en place élevés)
Contenants de plastique réutilisables achetés par les utilisateurs	Élevée	n/a	Moyenne (espaces de lavage à installer)
Vaisselle compostable	Élevée	n/a	Élevée

A priori, les solutions de substitution à l'utilisation de vaisselle en polystyrène mises en place dans les institutions d'enseignement québécoises qui s'avèrent les options les plus probables pour la cafétéria de Polytechnique Montréal sont :

- **l'achat et l'utilisation de vaisselle réutilisable;**
- **l'utilisation de contenants de plastique réutilisables achetés par les usagers;**
- **l'utilisation de vaisselle compostable à usage unique.**

L'implantation de vaisselle réutilisable impliquerait cependant des changements importants dans la logistique et les infrastructures des points de service alimentaire de Polytechnique, qui ne sont pas possibles à court terme. Les deux autres options requièrent un minimum

d'infrastructures et de planification avant une mise en application, mais sont tout à fait envisageables.

Si Polytechnique souhaitait conserver la vaisselle en polystyrène, la technologie Pyrowave pourrait représenter une issue intéressante pour la valorisation sur place du polystyrène souillé et des résidus alimentaires. Des analyses incluant cette technologie sont présentées aux sections 3.2 et 3.3.

2 Modèle d'étude ACV

Ce chapitre présente le modèle d'étude définissant le cadre méthodologique auquel doivent se conformer les phases subséquentes de l'ACV.

Afin de comparer de manière chiffrée les options de vaisselle et de gestion des matières résiduelles associée, une analyse du cycle de vie en trois volets a été réalisée.

2.1 Objectifs de l'étude et application envisagée

Le **but de cette étude** est d'améliorer la compréhension des impacts potentiels découlant de l'utilisation de vaisselle à usage unique ou réutilisable dans les comptoirs alimentaires de Polytechnique Montréal et d'identifier des possibilités d'amélioration en lien avec les décisions d'approvisionnement et de gestion des matières résiduelles à venir.

Plus spécifiquement, les **objectifs** de l'étude étaient de :

- A. comparer des pièces de vaisselle réutilisables et à usage unique disponibles dans le catalogue d'Aramark Québec;
- B. comparer des options de gestion de fin de vie des matières organiques générées dans les aires de service alimentaire de Polytechnique et discuter des avantages et limites de chaque option;
- C. comparer différents scénarios annuels d'approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire.
- D. discuter des possibilités d'amélioration du bilan environnemental des pièces de vaisselle utilisées à Polytechnique;

Pour répondre à ces objectifs, une ACV attributionnelle a été réalisée en accord avec les exigences des normes ISO 14 040 et 14 044 (ISO, 2006a, b). Chaque objectif a fait l'objet d'un volet d'analyse. La description des pièces de vaisselle à l'étude est présentée à la sous-section 2.2.1, alors que le détail des options de gestion des matières organiques résiduelles est présenté à la sous-section 2.2.2. Les scénarios d'approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire sont présentés dans la sous-section 2.2.3.

Les résultats de cette étude ont pour vocation d'être utilisés par le Bureau du Développement durable pour être communiqués à toute la communauté de Polytechnique afin de mieux expliquer les choix actuels ou expliquer les changements à envisager. L'intérêt pédagogique de ce genre d'étude est très grand et la communication à la communauté permettra notamment d'éduquer celle-ci à l'importance du cycle de vie lors de la comparaison d'options. De plus, deux partenaires ont participé au processus de revue critique : Recyc-Québec et Aramark Québec.

Conformément aux normes ISO, les revues critiques d'ACV sont facultatives lorsque les résultats sont voués à un usage interne par le mandataire. Cependant, une telle revue est une étape importante et obligatoire pour assurer la validité complète des résultats avant certaines communications publiques, telles que les affirmations comparatives rendues publiques, suivant les normes ISO 14 040/14 044.

En ce qui a trait à cette étude, une revue critique a été réalisée par un comité d'experts indépendants. Ce genre de revue facilite la communication des résultats et augmente la

crédibilité de l'analyse, notamment parce qu'elle implique une tierce partie, indépendante de l'équipe de réalisation du projet. Se référer à la section 2.9 pour plus de détails sur le processus de revue critique.

2.2 Description des options étudiées

2.2.1 Volet A : Pièces de vaisselle à l'étude

La vaisselle employée pour l'année 2013-2014 par Aramark Québec (société opérant les services alimentaires à Polytechnique) pour les services alimentaires de Polytechnique Montréal est principalement constituée des items listés au Tableau 2-1.

Il est à noter qu'à partir de l'année 2015, en partie suite aux modifications des produits vendus par Aramark Québec, de nouveaux contenants sont apparus, comme par exemple des coquilles en polyéthylène (PE) pour le service de sushis ou de salades. Ces contenants n'ayant pas été identifiés comme importants lors de la collecte initiale de données et la modélisation, ils ne sont pas inclus dans la présente étude. Il pourrait cependant être ajouté dans le futur si des données pertinentes à leur sujet sont récoltées.

Pour chaque produit, une ou plusieurs options biodégradables ont été identifiées à partir des brochures des fournisseurs actuels de Aramark Québec (Polar Plastic, Genpak, Pactiv et Dover) et sont aussi présentées dans le Tableau 2-1. Le nom des fournisseurs a été aléatoirement changé par F1, F2, F3 et F4 pour des questions de confidentialité. En utilisant ces options, un éventuel changement de produit ne modifierait pas de façon importante les processus de commande de vaisselle et s'intégrerait donc facilement dans les opérations actuelles. Les fournisseurs actuels représentent les principaux acteurs nord-américains pour l'approvisionnement des services alimentaires institutionnels. Des relevés ont par ailleurs été effectués dans divers services alimentaires fournissant des options autres que le PS pour la vaisselle à usage unique et ils confirment les hypothèses de cette étude, que ce soit pour les types de matériaux considérés ou l'ordre de grandeur des masses des options biodégradables.

Pour chaque item de vaisselle utilisé actuellement à la cafétéria, une option de vaisselle réutilisable a aussi été identifiée et étudiée. Les options proposées sont résumées dans le Tableau 2-2. Elles incluent la variante traditionnelle en céramique pour les assiettes, bols et tasses et la variante en acier pour les couverts. Pour les coquilles utilisées dans la vente à emporter, une option de coquille en polypropylène, qui serait facilement lavable et réutilisable, a été trouvée dans la littérature (Harnoto, 2013) et est incluse dans l'étude. Tel que discuté dans la revue de littérature, la vaisselle réutilisable ne peut être mise en œuvre à Polytechnique à court terme, faute d'espaces et d'infrastructures disponibles pour gérer le lavage et le stockage de la vaisselle. Elle représente néanmoins une option envisagée à plus long terme.

Ce volet a pour objectif principal de comparer les différentes options de vaisselle jetable et réutilisable, afin d'orienter les choix d'approvisionnement pour les services alimentaires. Les résultats de ce volet sont utilisés dans le volet C pour choisir, lorsque plusieurs options de vaisselle biodégradable ont été identifiées pour un même item, quelle option inclure dans les scénarios de vaisselle biodégradable. Pour plus de détails, se référer à la section 2.2.3.

Tableau 2-1 : Caractéristiques des pièces de vaisselle évaluées

Item	Vaisselle actuellement utilisée par Aramark Québec		Options biodégradables évaluées	
	Caractéristiques	- Fournisseur - Lieu de production	Caractéristiques	- Fournisseur - Lieu de production
Assiettes 9 po	Polystyrène (XPS expansé); 5 g/unité; 500 unités/boîte	- F1 - produit à Plattsgurgh, NY	Bagasse de canne à sucre 14,9 g/unité; 500 unités/boîte	- F1 - produit en Chine
			Fiber (carton) 14,1 g/unité; 500 unités/boîte	- F3 - supposé produit à Glen Falls, NY
			Bagasse de canne à sucre 12,8 g/unité; 500 unités/boîte	- F2 - produit en Chine
Bols 8 oz et 12 oz	Polystyrène (PSE) Masse par unité : 8 oz : 2,75 g; 12 oz : 3,57 g; 500 unités/boîte	- F3 - supposé produit à Glen Falls, NY	Carton doublé de PLA Masse par unité : 8 oz : 11,4g; - 1000 unités/boîte 12 oz : 18,1g – 500 unités/boîte	- F1 - produit à Downington, PA
Couvercles de bols	Polystyrène (PS rigide) Masse par unité : 8 oz : 2,75 g; 12 oz : 3,75 g; 1000 unités/boîte	- F3 - supposé produit à Glen Falls, NY	PLA 6.45 g/unité; 1000 unités/boîte	- extrapolation à partir des couvercles de gobelets - F1 - produit à Cross Plains, WI
Coquilles 9x9, 3 compartiments	Polystyrène (XPS expansé); 13,6 g/unité; 150 unités/boîte	- F1 - produit à Canandaigua, NY	Fiber (carton) 39,0 g/unité; 150 unités/boîte	- F1 - produit à Moorhead, MN
			Fiber (carton) 44,9 g/unité; 200 unités/boîte	- F3 - supposé produit à Glen Falls, NY
			Bagasse de canne à sucre 43,6 g/unité; 200 unités/boîte	- F2 - produit en Chine
Coquilles 5x8	Polystyrène (XPS expansé); 10,9 g/unité; 220 unités/boîte	- F1 - produit à Canandaigua, NY	Fiber (carton) 31,2 g/unité; 250 unités/boîte	- F3 - supposé produit à Glen Falls, NY
			Fiber (carton) 27,5 g/unité; 150 unités/boîte	- F1 - produit à Moorhead, MN
Coquilles hamburger, 6x6	Polystyrène (XPS expansé); 4,1 g/unité; 500 unités/boîte	- F1 - produit à Canandaigua, NY	Fiber (carton) 23,7 g/unité; 400 unités/boîte	- F3 - supposé produit à Glen Falls, NY

Item	Vaisselle actuellement utilisée par Aramark Québec		Options biodégradables évaluées	
	Caractéristiques	- Fournisseur - Lieu de production	Caractéristiques	- Fournisseur - Lieu de production
			Fiber (carton) 20,1 g/unité; 500 unités/boîte	- F1 - produit à Moorhead, MN
			Bagasse 20,2 g/unité; 250 unités/boîte	- F2 - produit en Chine
Gobelets à café 8 oz, 12 oz, 16 oz	Carton doublé de polyéthylène (PE) (90 % papier – 10 % PE) Masse par unité : 8 oz : 6 g; 12 oz : 10,5g; 16 oz : 12 g : 1000 unités/boîte	- F4 - supposé produit à Cambridge, ON	Carton doublé de PLA Masse par unité : 8 oz : 9,8 g; 12 oz : 11,3 g - 1000 unités/boîte	- F1 - produit à Downington, PA
Couvercles des gobelets à café	Polystyrène (PS rigide) Masse par unité : 8 oz : 2 g; 12 oz : 2,5 g; 1000 unités/boîte	- F4 - supposé produit à Cambridge, ON	PLA 4,3 g/unité; 1000 unités/boîte	- F1 - produit à Cross Plains, WI
Verres 8 oz	Polystyrène (PSE) 2,0 g/unité; 500 unités/boîte	- F3 - supposé produit à Glen Falls, NY	PLA Masse par unité : 7 oz : 7,8 g - 1000 unités/boîte; 9 oz : 10,9 g - 975 unités/boîte	- F1 - produit à Bedford Park, IL

Item	Vaisselle actuellement utilisée par Aramark Québec		Options biodégradables évaluées	
	Caractéristiques	- Fournisseur - Lieu de production	Caractéristiques	- Fournisseur - Lieu de production
Couteaux	Polypropylène (PP) 2,40 g/unité; 1000 unités/boîte	- F2 - produit à Montréal, QC	Amidon de maïs 3,60 g/unité; 1000 unités/boîte	- F3 - supposé produit à Glen Falls, NY
			Amidon de maïs 6,67 g/unité; 1000 unités/boîte	- F2 - produit en Chine
Fourchettes	Polypropylène (PP) 2,50 g/unité; 1000 unités/boîte	- F2 - produit à Montréal, QC	Amidon de maïs 4,32 g/unité; 1000 unités/boîte	- F3 - supposé produit à Glen Falls, NY
			Amidon de maïs 6,67 g/unité; 1000 unités/boîte	- F2 - produit en Chine
Cuillères	Polypropylène (PP) 2,62 g/unité; 1000 unités/boîte	- F2 - produit à Montréal, QC	Amidon de maïs 3,34 g/unité; 1000 unités/boîte	- F3 - supposé produit à Glen Falls, NY
			Amidon de maïs 5,38 g/unité; 1000 unités/boîte	- F2 - produit en Chine

Tableau 2-2 : Options de vaisselle réutilisable

Items	Options réutilisables évaluées		
	Caractéristiques	Masse	Lieu de production
Assiettes 9 po	Assiette en céramique	600 g/unité	Chine
Bols 8 oz et 12 oz	Bol en céramique	350 g/unité	Chine
Couvercles de bols	Aucune option proposée	s/o	s/o
Coquilles 9x9, 3 compartiments	Coquille 3 compartiments en polypropylène	263 g/unité	Chine
Coquilles 5x8	Coquille 3 compartiments en polypropylène (adaptée à partir de la coquille 3 compartiments)	206 g/unité	Chine
Coquilles hamburger, 6x6	Coquille hamburger en polypropylène (adaptée à partir de la coquille 3 compartiments)	78 g/unité	Chine
Gobelets à café 8 oz, 12 oz, 16 oz	Tasse en céramique, 10oz	290 g/unité	Chine
Couvercles des gobelets à café	Aucune option proposée	s/o	s/o
Verres 8 oz	Verre en verre	190 g/unité.	Chine
Couteaux	Couteaux en acier	55 g/unité.	Chine
Fourchettes	Fourchette en acier	35 g/unité	Chine
Cuillères	Cuillère en acier	36 g/unité	Chine

2.2.2 Volet B : Fin de vie des matières organiques

Dans ce volet, trois options de fin de vie sont considérées pour les matières organiques générées à Polytechnique:

- L'enfouissement
- Le compostage
- La décomposition catalytique par micro-ondes

L'**enfouissement** représente la situation où les matières organiques ne sont pas triées et sont éliminées avec les résidus ultimes. Ces résidus sont gérés par la société RCI Environnement et envoyés, via le site de transbordement de Laval, au lieu d'enfouissement technique (LET) de Ste-Sophie. Ce site a la particularité de capter une partie des biogaz produits sur le site lors de la décomposition des déchets et de le vendre à l'usine de papiers fins de Rolland, située à proximité (Lacombe, 2012).

Le **compostage** des matières organiques a été instauré à Polytechnique courant 2015. Les matières organiques sont collectées séparément par NI Corporation et envoyées au site de compostage de Lafèche, en Ontario. Les matières organiques y sont traitées selon une technologie de compostage en système fermé : les matières organiques sont traitées dans des tunnels chauffés horizontaux à aération forcée où elles sont mélangées régulièrement par un mélangeur amovible (Drouin-Racine, 2015). Les gaz et le lixiviat produits lors de la décomposition sont récupérés et traités. Le compost produit est ensuite utilisé comme amendement de sol.

Pour la **décomposition catalytique par micro-ondes**, la technologie Pyrowave, développée à Polytechnique et actuellement en phase de démonstration, a été considérée. Elle vise à recycler les mélanges de polymères, incluant les matières souillées ou qui ne sont pas recyclables par des moyens conventionnels. L'installation consiste en deux modules de 8 pieds de largeur, 8 pieds de hauteur et 13 pieds de longueur. Le fonctionnement des modules requiert un réservoir pour récupérer les coproduits et une bouilloire au gaz. Ces équipements sont installés avec la technologie s'ils ne sont pas déjà disponibles sur le site.



Figure 2-1 : Unité de traitement Pyrowave.

L'appareil utilise des micro-ondes pour effectuer une décomposition sélective de la matière en absence d'air pour produire un liquide (huile de monomères), une cire, un gaz combustible et un combustible solide (noir de carbone). Pour certains types de matières plastiques, tels que le polystyrène (PS) et le polyéthylène téréphtalate (PET), l'huile générée peut être utilisée pour fabriquer de nouvelles matières plastiques, puisque la réaction effectuée la dépolymérisation des plastiques dans leurs monomères de départ. Pour d'autres matières premières, telles que les résidus de table, les matières organiques, le papier ou le bois, le liquide produit peut être utilisé comme brut de synthèse pour la production de carburants renouvelables (du diesel notamment). La technologie offre un rendement intéressant pour l'utilisateur en lui retournant de l'énergie gratuite (du gaz combustible ou de l'eau chaude) et en éliminant les redevances d'élimination. La petite taille de l'unité de traitement le rend attrayant pour les industries et les commerces traitant des volumes de déchets entre 300 et 1200 tonnes/an.

2.2.3 Volet C : Scénarios annuels d'approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire de Polytechnique

À partir des données disponibles pour les achats de Aramark Québec en 2013-2014¹ et des résultats des volets A et B, différents scénarios d'approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles ont été envisagés et comparés (Tableau 2-3).

¹ Voir annexe C pour la liste détaillée des produits de vaisselle consommés.

Tableau 2-3 : Scénarios d’approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire à l’étude

Scénario	Option de vaisselle	Fin de vie				Commentaires
		Vaisselle	Matières organiques	Matières recyclables	Autres résidus**	
1.a	Jetable – non biodégradable	Enfouissement	Enfouissement (100 %)	Recyclage (80 %)	Enfouissement	Scénario de référence actuel
1.b		Enfouissement	Compostage (40 %)	Recyclage (80 %)	Enfouissement	Scénario en cours d’implémentation à Polytechnique
1.c		Décomposition catalytique	Décomposition catalytique * (100 %)	Recyclage (80 %)	Décomposition catalytique / Enfouissement / Recyclage	
1.d		Décomposition catalytique	Compostage (40 %)	Recyclage (80 %)	Décomposition catalytique / Enfouissement / Recyclage	
2.a	Jetable - biodégradable	Enfouissement	Enfouissement (100 %)	Recyclage (80 %)	Enfouissement	
2.b		Compostage	Compostage (80 %)	Recyclage (80 %)	Enfouissement	
2.c		Décomposition catalytique *	Décomposition catalytique * (100 %)	Recyclage (80 %)	Décomposition catalytique / Enfouissement / Recyclage	
3	Réutilisable	Recyclage ou enfouissement	Décomposition catalytique * (100 %)	Recyclage (80 %)	Décomposition catalytique / Enfouissement / Recyclage	Scénario de référence à long terme

* Le volet B a permis de sélectionner la meilleure option de fin de vie (décomposition catalytique par micro-ondes) pour les matières organiques qui a été choisie pour ces scénarios.

** Comprend les résidus alimentaires et les matières recyclables non récupérées, ainsi que les résidus ultimes.

Les scénarios se différencient sur deux aspects : le choix de la vaisselle (scénarios 1, 2 ou 3) et les options de gestion de fin de vie des différentes matières résiduelles (sous-scénarios a, b, c ou d). Trois choix de vaisselle sont considérés, basés sur les options étudiées dans le volet A :

1. Vaisselle jetable, non biodégradable : toutes les pièces sont en plastique non biodégradable, à usage unique. Elles sont donc soit enfouies, soit traitées par décomposition catalytique en fin de vie.
2. Vaisselle jetable, biodégradable : toutes les pièces sont en matériaux biodégradables, à usage unique. Elles sont enfouies, compostées ou traitées par décomposition catalytique en fin de vie. Si plusieurs options de vaisselle biodégradable étaient possibles pour un même item, la meilleure option selon le volet A a été choisie. Les choix sont détaillés dans l’annexe C.
3. Vaisselle réutilisable : toutes les pièces utilisées sont des items réutilisables, identiques à ceux étudiés dans le volet A.

Différents modes de gestion des matières résiduelles générées² dans les aires de service alimentaire ont également été évalués, en incluant dans les scénarios le traitement des matières organiques (résidus alimentaires et fibres souillées) mais aussi des autres matières résiduelles récoltées. Les options de gestion des matières résiduelles comparées incluent l'enfouissement, le compostage et la décomposition catalytique par micro-ondes. Pour les scénarios 1.c, 2.c et 3, la décomposition catalytique par micro-ondes a été choisie pour les matières organiques car elle est l'option préférable selon les résultats du volet B. Les Tableau 2-4 et Tableau 2-5 résument les fins de vie des pièces de vaisselle et des différentes matières résiduelles selon le type de matériau.

La valeur ajoutée de ces scénarios par rapport aux volets A et B est la prise en compte dans la même comparaison de la relation possible entre le type d'approvisionnement en vaisselle et le choix du mode de gestion en fin de vie. La revue de la littérature, en particulier l'étude de Razza et al. (2009), a en effet montré que ce facteur pouvait influencer sur les résultats. Dans notre étude, le choix de la vaisselle influe aussi sur le taux de récupération des matières organiques dans les zones de tri des services alimentaires. En effet, il est supposé que le taux de récupération des matières organiques est inférieur lorsque la vaisselle est non biodégradable (40 % dans les scénarios 1.b et 1.d) à celui lorsque la vaisselle est biodégradable (80 % dans le scénario 2.b). Le taux de 40 % semble réaliste par rapport aux comportements observés à Polytechnique depuis l'installation en 2015 de bacs de compostage (Fagnen, 2016). La différence de taux de récupération entre les scénarios reflète la plus grande facilité et efficacité pour l'utilisateur de trier ses déchets s'il doit tout mettre dans le même bac (scénario 2.b) ou s'il doit séparer les contenants et les matières organiques (scénarios 1.b ou 1.d). Une partie des matières organiques n'étant pas directement associée à la vaisselle, il est considéré que le taux de récupération des matières organiques n'atteint pas le taux de compostage de la vaisselle de 100% dans le scénario 2.b, mais une valeur de 80% est jugée réaliste par le Bureau du Développement durable de Polytechnique (Fagnen, 2016). Dans le cas de l'enfouissement ou de la décomposition catalytique par micro-ondes, aucune séparation n'étant nécessaire pour le consommateur (il met tous ses déchets dans le bac de matières résiduelles mixtes qui est envoyé à l'enfouissement ou dans l'unité de décomposition catalytique par micro-ondes), il est considéré que la totalité des matières organiques est enfouie ou traitée par décomposition catalytique.

Les matières recyclables sont récupérées à hauteur de 80 % et envoyées en centre de tri pour être ensuite recyclées (Decoste, 2014). Les autres résidus sont composés des matières organiques non récupérées, des matières recyclables non récupérées (papier, carton, verre, métaux, plastiques) et des résidus ultimes. Dans le cas des scénarios 1.a, 1.b, 2.a et 2.b, tous ces résidus sont enfouis. Dans le cas des scénarios incluant la décomposition catalytique par micro-ondes (1.c, 1.d, 2.c et 3), seuls les « résidus ultimes » sont enfouis, car considérés comme non traitables via cette technologie. Ils sont séparés manuellement des déchets avant leur traitement. En cas de contamination, des traitements supplémentaires peuvent être nécessaires

² Les matières résiduelles considérées sont celles identifiées lors d'une caractérisation des matières résiduelles des aires de service alimentaire effectuées en 2012 (Decoste, 2014) et les quantités extrapolées à partir de cette caractérisation. Les matières considérées sont donc principalement reliées aux opérations des aires de service alimentaire mais peuvent aussi contenir d'autres matières résiduelles récoltées dans ces zones, comme par exemple des restes de repas apportés sur place par les utilisateurs ou des papiers disposés lors d'utilisations non alimentaires de ces aires.

sur les coproduits mais cette hypothèse n'est pas prise en compte dans l'étude. Le traitement des matières après la décomposition catalytique par micro-ondes permet par ailleurs de récupérer le verre et les métaux non triés dans le noir de carbone, ce qui améliore leurs taux de recyclage respectifs (il est alors de 100% pour ces deux catégories de matériaux). Le papier, le carton et les plastiques étant décomposables, ils sont quant à eux valorisés dans l'unité de décomposition catalytique par micro-ondes.

Tableau 2-4 : Fin de vie des pièces de vaisselle et des matières résiduelles selon les scénarios à l'étude

Matériaux	Scénarios							
	1.a	1.b	1.c	1.d	2.a	2.b	2.c	3
Vaisselle								
PS	Enfouissement	Enfouissement	Décomposition catalytique	Décomposition catalytique	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>
PP	Enfouissement	Enfouissement	Décomposition catalytique	Décomposition catalytique	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>Recyclage</i>
Carton-PE	Enfouissement	Enfouissement	Décomposition catalytique	Décomposition catalytique	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>
Bagasse	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	Enfouissement	Compostage	Décomposition catalytique	<i>n/a</i>
Carton	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	Enfouissement	Compostage	Décomposition catalytique	<i>n/a</i>
Carton-PLA	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	Enfouissement	Compostage	Décomposition catalytique	<i>n/a</i>
Amidon	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	Enfouissement	Compostage	Décomposition catalytique	<i>n/a</i>
Céramique	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	Enfouissement
Verre	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	Enfouissement
Métaux	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	<i>n/a</i>	Enfouissement

Tableau 2-5 : Fin de vie des pièces de vaisselle et des matières résiduelles selon les scénarios à l'étude (suite)

Matériaux	Scénarios								
	1.a	1.b	1.c	1.d	2.a	2.b	2.c	3	
Matières résiduelles									
Papier	Recyclage (80%) / Enfouissement (20%)	Recyclage (80%) / Enfouissement (20%)	Recyclage (80%) / Décomposition catalytique (20%)	Recyclage (80%) / Enfouissement (20%)	Recyclage (80%) / Enfouissement (20%)	Recyclage (80%) / Enfouissement (20%)	Recyclage (80%) / Décomposition catalytique (20%)	Recyclage (80%) / Décomposition catalytique (20%)	
Cartons			Recyclage (100%)						Recyclage (100%)
Verre									
Métaux - canettes alu			Recyclage (80%) / Décomposition catalytique (20%)						Recyclage (100%)
Métaux - autres									
Plastiques no 1			Recyclage (80%) / Décomposition catalytique (20%)						Recyclage (80%) / Décomposition catalytique (20%)
Plastiques (no 2, 3, 4, 5, 7)									
MO restes	Enfouissement	Compostage (40%) / Enfouissement (60%)	Décomposition catalytique	Compostage (40%) / Enfouissement (60%)	Enfouissement	Compostage (80%) / Enfouissement (20%)	Décomposition catalytique	Décomposition catalytique	
MO fibres									
Résidus ultimes	Enfouissement	Enfouissement	Enfouissement	Enfouissement	Enfouissement	Enfouissement	Enfouissement	Enfouissement	

2.3 Fonctions et unité fonctionnelle

Dans le volet A, pour répondre au premier objectif de l'étude, les pièces de vaisselle ont été comparées sur une base unitaire à leurs options équivalentes selon les Tableau 2-1 et Tableau 2-2. L'unité fonctionnelle utilisée est « **une utilisation d'une pièce de vaisselle à Polytechnique** ». Les différentes options comparées étant similaires en termes de taille ou de contenance, elles remplissent la même fonction qui est, selon le type de contenant, de contenir une quantité de nourriture ou de boisson. Dans le cas des options réutilisables, leur nombre de réutilisations a été pris en compte dans la comparaison.

Pour le volet B, la comparaison a été faite en prenant comme base « **gérer 1 kg de matières organiques générées à Polytechnique** ».

Pour le troisième volet de l'étude, une comparaison de scénarios d'approvisionnement et de gestion des matières résiduelles a été effectuée. L'unité fonctionnelle pour cette comparaison est de « **approvisionner en vaisselle et gérer les matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire de Polytechnique durant l'année scolaire 2013-2014** ».

2.4 Traitement des fonctions secondaires et règles d'imputation

En fin de vie, les pièces de vaisselle et les matières résiduelles enfouies, compostées ou traitées par décomposition catalytique peuvent respectivement générer du biogaz, de la matière organique valorisable ou des combustibles alternatifs. La production de matières ou d'énergie peut être considérée comme une fonction secondaire des systèmes à l'étude. Afin que toutes les options comparées soient équivalentes, ces fonctions secondaires ont été annulées selon une approche par extension des frontières, en considérant que les systèmes évitent la production de matières ou de carburants d'autres sources et en leur créditant cette production évitée.

Les productions évitées considérées sont :

- **Biogaz** : les matières organiques envoyées en site d'enfouissement produisent du biogaz, dont une partie est captée puis brûlée en torchère et une autre partie est valorisée (injection dans le réseau de distribution de gaz naturel, production d'électricité, de chaleur, etc.). L'estimation de la quantité de biogaz réellement générée à la suite de l'enfouissement d'une matière spécifique est une variable extrêmement difficile à estimer. Les données utilisées sont présentées dans le Tableau 2-6. À noter que la production de biogaz pour chaque matière a été estimée à partir du modèle de la base de données *ecoinvent* sur une période de 100 ans, ce qui en surestime probablement la valeur, du fait qu'au Québec, les sites ne sont suivis que 30 ans après leur fermeture (communications personnelles du CIRAIG).

Il en va de même avec le taux de captage, qui peut varier dans le temps et selon les sites. Si certains lieux d'enfouissement québécois captent ponctuellement 80 % du biogaz généré, la modélisation réalisée pour la base de données *ecoinvent* parle plutôt d'un taux de captage global (pour l'ensemble des sites suisses, sur une période de 100 ans) de 53 %. Selon Environnement Canada, le taux de captage moyen au Canada est 35 % (Environnement Canada, 2012) mais peu d'information sur les hypothèses à

l'origine de cette valeur est disponible. De manière à conserver la cohérence des données d'enfouissement, un taux de 53 % a été retenu pour la présente étude.

Une recherche a permis de déterminer que les résidus ultimes de Polytechnique sont enfouis au lieu d'enfouissement technique (LET) de Sainte-Sophie (Bélanger, 2014). Ce site vend 84 % du biogaz capté à l'usine de papiers fins de Cascades, située à proximité (Lacombe, 2012), le reste étant valorisé sur place. Le biogaz remplace ainsi du gaz naturel utilisé dans des bouilloires industrielles (Bourret, 2014).

Tableau 2-6 : Taux de décomposition des matières en site d'enfouissement

Matière	Taux de décomposition sur 100 ans*	Commentaire
Carton	32 %	Carbone biogénique
Papier	27 %	Carbone biogénique
PLA	27 %	Par hypothèse, même taux de décomposition que les résidus alimentaires. ³ Carbone biogénique
Polyéthylène (PE)	1 %	Il est considéré qu'aucun biogaz n'est généré dans un horizon de temps exploitable. Carbone fossile.
Polypropylène (PP)	1 %	
Polystyrène (PS)	1 %	
Résidus alimentaires	27 %	Carbone biogénique
Bagasse	32 %	Par hypothèse, même taux de décomposition que le carton. Carbone biogénique
Amidon de maïs	32 %	Par hypothèse, même taux de décomposition que le carton. Carbone biogénique
Céramique, verre, métal	0 %	Matière inerte. Aucune production de biogaz.

* Le taux de décomposition est tiré du modèle d'enfouissement de la base de données *ecoinvent* (Doka, 2009).

- **Compost** : il a été considéré que le compost obtenu à partir des matières organiques compostées remplace en moyenne des fertilisants chimiques, à raison de 6 g d'azote (N) sous forme d'urée, 2,85 g d'oxyde de phosphore (P₂O₅) sous forme de triple superphosphate et 3,65 g d'oxyde de potassium (K₂O) sous forme de chlorure de potassium par 1 kg de masse sèche de compost (CompoRecycle, 2014). Ces valeurs correspondent à la composition chimique du compost et ne tiennent pas compte de

³ La dégradation du PLA dans les sites d'enfouissement reste discutée dans la littérature, voir par exemple les travaux de Krause et al. (2016) (DOI: 10.1021/acs.estlett.6b00068) ou Kolstad et al. (2012) (doi:10.1016/j.polymdegradstab.2012.04.003). L'hypothèse de dégradation partielle en sites d'enfouissement est choisie et n'influence pas significativement les conclusions compte tenu de la faible contribution de la fin de vie.

l'efficacité d'utilisation des nutriments par les plantes qui pourrait diminuer la quantité de fertilisants équivalents. Ce facteur est considéré comme négligeable. Les émissions au champ suite à l'épandage du compost ou des fertilisants équivalents sont incluses : 30% du carbone du compost est décomposé sous forme de CO₂ après épandage (Quantis, 2012), alors que l'épandage d'urée est accompagné des émissions de 1,57 kg CO₂ par kg de N dans l'urée (Environnement Canada, 2016). Les émissions d'azote étant liées à la teneur en azote du fertilisant, elles sont considérées comme équivalentes entre le compost ou le fertilisant synthétique.

Une autre option consisterait à considérer que le compost remplace plus simplement de la terre noire. Elle est testée en analyse de sensibilité dans la sous-section 3.2.3.5.

- **Huile de monomères** : l'huile produite par l'unité Pyrowave analysée dans les volets B et C est supposée transportée par camion-citerne vers la région de Houston, où elle sera traitée chez un raffineur pour en produire une huile de styrène purifiée (fraction styrénique) et un carburant liquide léger (fraction non styrénique). Le traitement de l'huile a été inclus dans l'analyse (à partir de la donnée générique « Diesel, at refinery », dont l'intrant en pétrole brut a été enlevé, de même que les émissions de soufre, dont l'huile contient moins de 100 ppm), considérant un rendement de 70 % (le reste étant perdu lors du raffinage). Il a été posé que la fraction styrénique ainsi raffinée remplaçait du styrène de source fossile, tandis que la fraction non styrénique remplaçait du diesel à base teneur en soufre.
- **Gaz combustible**: il est prévu que le gaz généré par l'unité Pyrowave soit brûlé à même le site de traitement afin de produire de l'eau chaude qui sera utilisée sur place, par l'institution. Par conséquent, il a été considéré dans l'analyse que chaque mégajoule (MJ) de gaz produit et brûlé remplaçait un MJ de gaz naturel produit, transporté et brûlé. À Polytechnique les chauffe-eau du bâtiment principal chauffent encore l'eau au gaz naturel. Le Pavillon Lassonde a par ailleurs des chauffe-eaux électriques. Une analyse de sensibilité considérant que le gaz produit remplace de l'électricité québécoise a donc été réalisée. L'efficacité des chaudières n'est pas considérée, même si elle favoriserait plus la chaudière électrique.
- **Noir de carbone** : le noir de carbone produit par l'unité Pyrowave doit remplacer du charbon fossile dans l'industrie cimentière. Le taux de remplacement est de 1 :1. Le noir de carbone issu de l'unité Pyrowave contient très peu de soufre (moins de 100 ppm) comparativement au charbon, ce qui se traduit par un évitement d'émissions de SO₂ lors de la production du clinker. Par contre, la chimie des fours rotatifs à clinker étant complexe, la modification des émissions de la cimenterie due au remplacement de la source de charbon n'a pas été prise en compte ici. Seul l'approvisionnement en charbon fossile a été crédité.
- **Matières recyclées** : pour toutes les options, certains éléments sont envoyés au recyclage en fin de vie, dont les boîtes d'emballage, les coquilles en PP et les composantes de l'unité de décomposition catalytique par micro-ondes (Pyrowave). Une approche par extension des frontières est utilisée. Le transport de Polytechnique aux centres de tri, ainsi que la production des matériaux recyclés sont considérés. L'inventaire correspondant à la production des matériaux vierges est ensuite soustrait pour annuler les fonctions secondaires de production des matériaux.

Les résultats d'une approche différente pour gérer ces fonctions secondaires, dite par *cut off*, sont étudiés en analyse de sensibilité dans le volet C. À l'exception du transport vers le centre de tri, aucun impact ou crédit n'est alors associé aux matières recyclées. Les impacts du recyclage et ses bénéfices (= crédits) sont considérés comme faisant partie du cycle de vie du produit qui utilisera la matière recyclée. Pour les autres traitements en fin de vie (enfouissement, décomposition catalytique par micro-ondes ou compostage), les impacts du traitement des résidus sont inclus dans les frontières mais aucun crédit n'est ensuite associé aux coproduits valorisés.

D'autres processus multifonctionnels dans les systèmes à l'étude ont été traités par imputation :

- Le transport des pièces de vaisselle ou des matières résiduelles est imputé sur une base massique. Ce choix repose sur le fait que les processus de transport sont modélisés sur une base de tonne.kilomètre (masse de produit * distance transportée). Il est possible que le transport de pièces de vaisselle légères, comme les options en PSE ou en carton, ou des matières recyclables soit limité sur une base volumique plutôt que massique. Dans ce cas, le choix d'une imputation massique aurait potentiellement pour effet de sous-estimer les impacts du transport. La très faible contribution du transport au cycle de vie des différents systèmes à l'étude permet cependant de considérer que la méthode d'imputation choisie pour le transport n'affecte pas significativement les conclusions de l'étude.
- Pour le lavage des pièces de vaisselle réutilisables dans un lave-vaisselle commercial, une imputation par morceaux de vaisselle lavés a été réalisée, sur la base de la capacité annuelle moyenne de l'appareil. Les mêmes données sont donc par exemple utilisées pour le lavage d'une assiette, d'un couteau ou d'une tasse. Une imputation sur une base volumique aurait également été pertinente, puisque la capacité d'un lave-vaisselle est limitée par le volume intérieur disponible. Aucune donnée publiée n'a cependant été répertoriée pour permettre cette analyse.

2.5 Frontières des systèmes

Les frontières des systèmes servent à identifier les étapes, processus et flux qui seront considérés dans l'ACV. Elles incluent toutes les activités pertinentes à l'atteinte des objectifs de l'étude et donc, nécessaires à la réalisation de la fonction étudiée.

Les sous-sections qui suivent présentent une description générale des frontières des systèmes, ainsi que les considérations géographiques et temporelles associées.

2.5.1 Processus inclus dans la modélisation de chaque pièce de vaisselle (volet A)

La Figure 2-2 schématise les frontières générales des systèmes étudiés dans le volet A de l'analyse. Elles incluent la pré-production, la production, la distribution et la fin de vie de chaque pièce. L'étape d'utilisation est exclue de la comparaison pour toutes les options de vaisselle à usage unique car elle est considérée équivalente entre ces options. Pour la vaisselle réutilisable, seule l'étape de nettoyage de la pièce au lave-vaisselle est incluse dans les frontières de l'étude pour l'étape d'utilisation. Les systèmes sont ainsi équivalents pour toutes les options de vaisselle considérées.

Le détail des systèmes (quantification des flux et processus) est également fourni à l'Annexe C du présent rapport.

Mentionnons également que les diverses étapes du cycle de vie des produits à l'étude forment les **systèmes d'avant-plan**, tandis que tous les processus d'approvisionnement et de gestion des rejets impliqués à chacune de ces étapes constituent les **systèmes d'arrière-plan**.

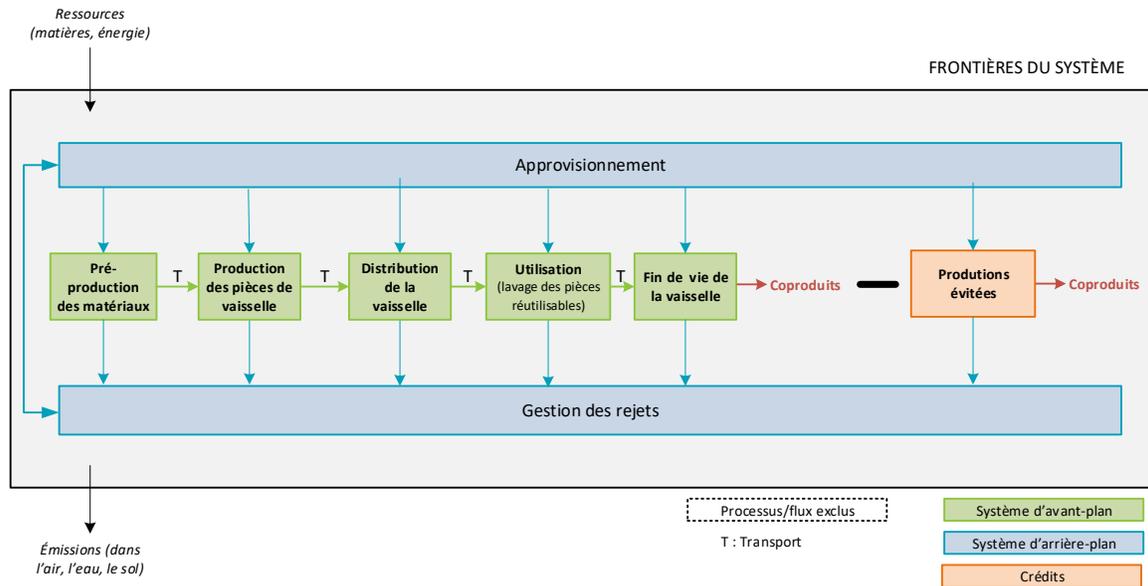


Figure 2-2 : Frontières des systèmes – pièces de vaisselle unitaires (volet A).

Le sous-système « **pré-production** » inclut la production de tous les matériaux nécessaires à la fabrication des pièces de vaisselle.

Le sous-système « **production** » touche à la fabrication des pièces de vaisselle en tant que telles. Il inclut l'emballage, de même que les infrastructures et l'opération des équipements.

Le sous-système « **distribution** » vise les transports des pièces de vaisselle, de leur lieu de production jusqu'au lieu d'utilisation. Pour notre étude, le transport du détaillant jusqu'à Polytechnique est également inclus dans cette étape du cycle de vie.

Le sous-système « **utilisation** » concerne l'utilisation des pièces de vaisselle à la cafétéria. Elle inclut le lavage des pièces dans le cas de l'option de vaisselle réutilisable. Tout ce qui a trait au cycle de vie de la nourriture (production et distribution des aliments et préparation des plats) est exclu des frontières de l'analyse car identique entre les différentes options.

Le sous-système « **fin de vie** » concerne l'élimination des pièces de vaisselle à la fin de leur vie utile, incluant tous les transports entre Polytechnique et le lieu d'élimination ou de gestion finale. Dans ce premier volet d'analyse, seuls l'enfouissement ou le compostage des pièces de vaisselle ont été modélisés pour les pièces à usage unique, en fonction de leur type de matériau (les pièces biodégradables étant compostées et les autres enfouies). Les pièces réutilisables sont recyclées (celles en métal et en verre) ou enfouies. La gestion des résidus alimentaires et des fibres souillées est exclue de l'analyse.

Enfin, les sous-systèmes d'arrière-plan « **approvisionnement** » et « **gestion des rejets** » concernent respectivement, pour chacun des sous-systèmes d'avant-plan précédents, toutes les activités reliées :

- À l'approvisionnement en ressources (eau, énergie, produits chimiques, matériaux), comprenant l'extraction, le traitement et la transformation des ressources naturelles, de même que les différents transports requis jusqu'à l'arrivée aux sites d'utilisation des ressources (c.-à-d. les sites de pré-production, production, distribution, utilisation et de gestion en fin de vie).
- Au transport et au traitement des déchets générés à l'une ou l'autre de ces étapes du cycle de vie

Dans tous les sous-systèmes, les processus d'« amont » identifiables sont inclus de manière à fournir la vue la plus complète possible du système. Par exemple, dans le cas de l'énergie utilisée pour un transport, non seulement les émissions liées à la combustion de carburant sont considérées, mais aussi les processus et matières nécessaires à la production de ce carburant. De cette manière, les chaînes de production de tous les entrants sont remontées jusqu'à l'extraction des matières premières.

Les processus et flux inclus et exclus de l'analyse sont résumés au Tableau 2-7. L'approvisionnement et la gestion des rejets ont été répartis entre les étapes du cycle de vie afin de simplifier la lecture du tableau.

**Tableau 2-7 : Processus inclus et exclus des frontières de l'ACV
(volet A - comparaison des pièces de vaisselle unitaires)**

Étapes du cycle de vie	Processus/Sous-processus	Commentaires
Pré-Production	Production des matériaux	Tous les matériaux utilisés dans la fabrication des pièces de vaisselle sont inclus (PS, PSE, PLA, carton, bagasse, verre, acier, etc.).
	Transport des matériaux	Transport des matières premières entre leur lieu de production et le lieu de fabrication des pièces de vaisselle.
	Production des emballages	Production des matériaux utilisés dans les emballages primaires et secondaires incluse (carton, PEBD).
Production	Fabrication des pièces de vaisselle et leur emballage	Inclut la consommation de matières, d'énergie et d'eau et les émissions directes à l'environnement lors de la fabrication des pièces de vaisselle et de leur emballage pour le transport. <i>Seules les infrastructures comprises dans les modules de données génériques sont incluses.</i>
Distribution	Transport du lieu de production à Polytechnique	Inclus.
Utilisation	<i>Manutention et entreposage</i>	<i>Exclus (considérés identiques pour toutes les options)</i>
	Utilisation des pièces de vaisselle	<i>Exclus (considérée identique pour toutes les options)</i>
	Lavage	Inexistant pour la vaisselle à usage unique. Inclus pour la vaisselle réutilisable.
	<i>Opération de la cafétéria (rejets en cuisines, entretien des locaux, etc.)</i>	<i>Exclus des frontières de l'étude.</i>
Fin de vie	Transport	Inclus.
	Gestion en fin de vie (enfouissement, compostage, recyclage)	Inclus (voir détail au paragraphe 2.6.2.3);
	Production évitée (liée au compost ou au biogaz des sites d'enfouissement)	Inclus (voir section 2.4).
Toutes les étapes	Infrastructures	Inclus.
	<i>Services auxiliaires (publicité et autres services)</i>	<i>Exclus (considérés négligeables)</i>

Il est à noter qu'aucun critère d'inclusion ou de coupure n'a été appliqué pour la présente étude : toutes les données disponibles ont été intégrées au modèle.

2.5.2 Processus inclus dans la modélisation de la fin de vie des matières organiques (volet B)

La Figure 2-3 schématise les frontières générales des systèmes étudiés dans le volet B de l'analyse. Seule la fin de vie des matières organiques est incluse dans ce second volet. Elle inclut tous les transports entre Polytechnique et le lieu d'élimination ou de gestion finale, ainsi que le traitement des résidus et les crédits associés. Dans ce second volet d'analyse, trois options de fin de vie pour les matières organiques sont étudiées : l'enfouissement, le compostage et la décomposition catalytique par micro-ondes. Une description détaillée des trois options est disponible à la sous-section 2.6.2.5. Les processus et flux inclus et exclus de l'analyse sont résumés au Tableau 2-8.

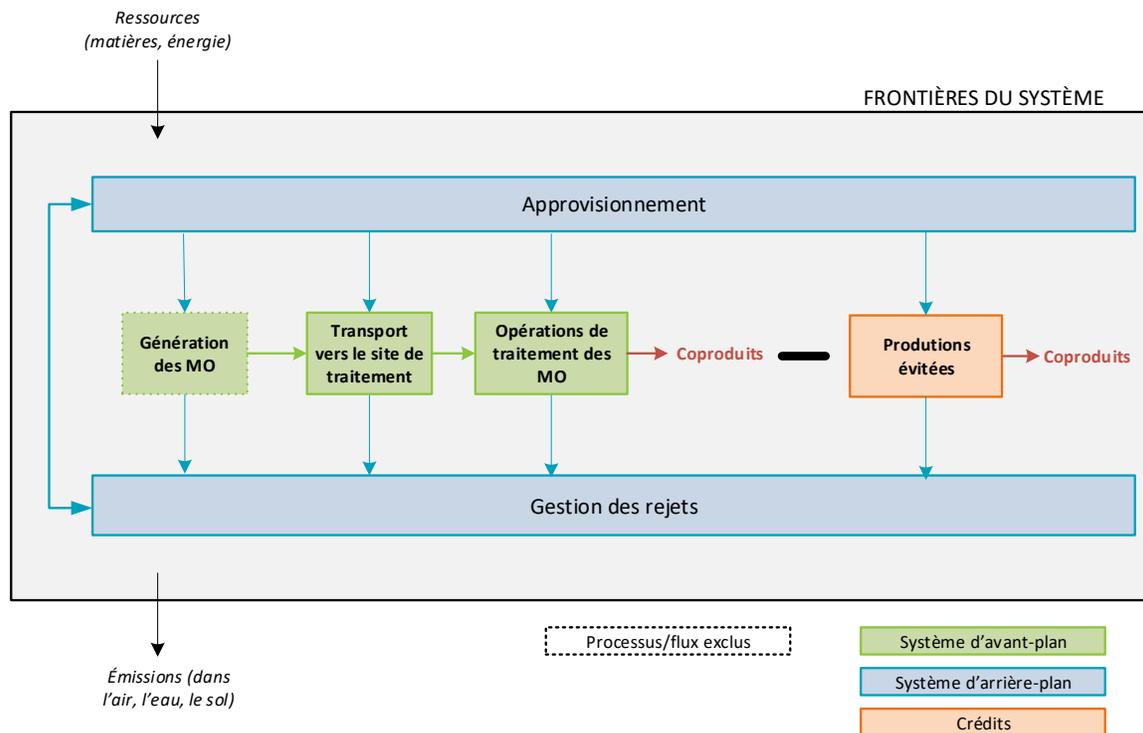


Figure 2-3 : Frontières des systèmes – fin de vie des matières organiques (volet B).

**Tableau 2-8 : Processus inclus et exclus des frontières de l'ACV
(volet B – fin de vie des matières organiques)**

Étapes du cycle de vie	Processus/Sous-processus	Commentaires
Production des matières organiques	Production des MO	Exclus. Les frontières du système commencent à la sortie de Polytechnique, avec les matières organiques à traiter.
	Captage de carbone lors de la croissance des plantes à l'origine des MO	Inclus, pour considérer les différences de quantités de carbone séquestré entre les modes de traitement.
Transport vers le site de traitement	Transport de Polytechnique au site de transbordement	Inclus pour l'enfouissement et pour le compostage.
	Transport du site de transbordement au site de traitement des MO	Exclus pour la décomposition catalytique par micro-ondes, le traitement ayant lieu sur place.
Opérations de traitement des MO	<i>Entreposage</i>	<i>Exclus (considéré identique pour toutes les options)</i>
	Utilisation d'énergie	Inclus. Électricité, diesel et/ou gaz naturel utilisés sur site pour les opérations de traitement
	Rejets gazeux ou liquides	Inclus. Lixiviats ou émissions gazeuses (CO ₂ , CH ₄ , ...) rejetées lors du traitement des MO.
Productions évitées	Engrais	Crédit associé au compost produit lors du compostage
	Gaz naturel	Crédit associé au biogaz capté sur le site d'enfouissement et valorisé
	Diesel, charbon et gaz naturel	Crédit associé aux coproduits de la décomposition catalytique (voir section 2.4).
Toutes les étapes	Infrastructures	Inclus.
	<i>Services auxiliaires (publicité et autres services)</i>	<i>Exclus (considérés négligeables)</i>

2.5.3 Processus inclus dans la modélisation des scénarios annuels d'approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire (volet C)

La Figure 2-4 schématise les frontières générales des scénarios étudiés dans le volet C de l'analyse. Elles incluent la production et la distribution de la vaisselle, l'étape d'utilisation (lavage de la vaisselle réutilisable uniquement, le reste étant considéré identique pour toutes les options), de même que la gestion en fin de vie de la vaisselle, des matières organiques (composées des résidus alimentaires et des fibres souillées comme les serviettes de table) et des autres matières résiduelles (carton, papier, métaux, plastiques et résidus ultimes), qui varient selon le scénario.

Tel que mentionné plus haut, le détail des systèmes (quantification des flux et processus) est également fourni à l'Annexe C du présent rapport.

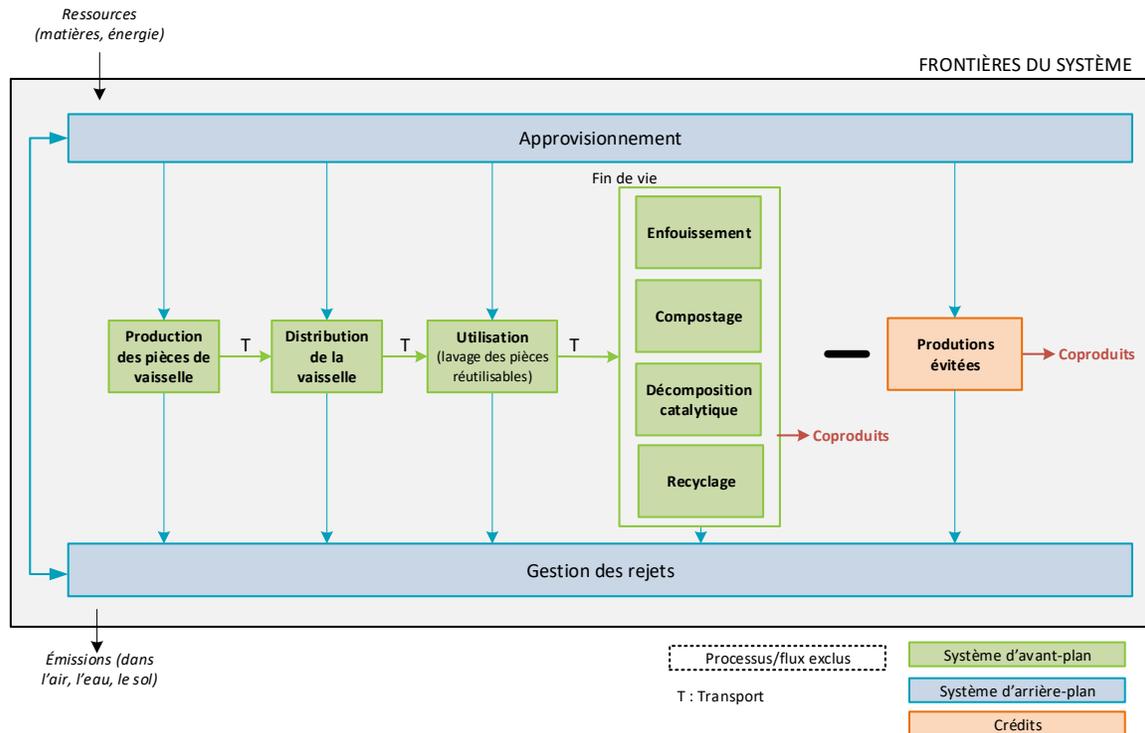


Figure 2-4 : Frontières des systèmes – scénarios annuels d'approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire (volet C).

Les diverses étapes du cycle de vie des produits à l'étude forment les **systèmes d'avant-plan**, tandis que tous les processus d'approvisionnement et de gestion des rejets impliqués à chacune de ces étapes constituent les **systèmes d'arrière-plan**.

La description des sous-systèmes est identique à celle du volet A, à l'exception du sous-système « **fin de vie** », qui concerne la gestion en fin de vie de la vaisselle mais aussi de toutes les matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire, incluant les transports entre Polytechnique et le lieu de gestion finale. Dans ce troisième volet d'analyse, les quatre modes de gestion en fin de vie considérés sont l'enfouissement, le compostage, la décomposition catalytique par micro-ondes et le recyclage (et les crédits associés).

**Tableau 2-9 : Processus inclus et exclus des frontières de l'ACV
(volet C – approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles
générées dans les aires de service alimentaire)**

Étapes du cycle de vie	Processus/Sous-processus	Commentaires
Pré-production, production et distribution de la vaisselle	Inclus pour la vaisselle : identique au volet A.(cf Tableau 2-7)	
	Exclus pour les matières résiduelles (seules leurs fins de vie sont considérées)	
	Captage de carbone lors de la croissance des plantes à l'origine des matières résiduelles	Inclus, pour considérer les différences de quantités de carbone séquestré entre les modes de traitement.
Utilisation	<i>Manutention et entreposage</i>	<i>Exclus (considérés identiques pour toutes les options)</i>
	Utilisation des pièces de vaisselle	<i>Exclus (considérée identique pour toutes les options)</i>
	Lavage de la vaisselle	Inexistant pour la vaisselle à usage unique. Inclus pour la vaisselle réutilisable.
	<i>Opération de la cafétéria (rejets en cuisines, entretien des locaux, etc.)</i>	<i>Exclus des frontières de l'étude.</i>
Fin de vie	Transport	Inclus.
	Gestion en fin de vie (enfouissement, compostage, décomposition catalytique ou recyclage) de la vaisselle et des matières résiduelles	Inclus (voir détail au paragraphe 2.6.2.3);
	Production évitée (crédit lié au compost, biogaz, coproduits de décomposition catalytique ou matières recyclées)	Inclus (voir section 2.4).
Toutes les étapes	Infrastructures	Inclus.
	<i>Services auxiliaires (publicité et autres services)</i>	<i>Exclus (considérés négligeables)</i>

2.5.4 Frontières géographiques et temporelles

La présente étude ACV se veut représentative du contexte québécois en 2013-2014. Les activités ont été modélisées de manière à répondre au mieux à ce critère.

Certains compromis ont cependant dû être faits. Dans le volet C, la caractérisation des matières résiduelles a été fournie par le BDD pour l'année scolaire 2011-2012. Elles ont donc été extrapolées pour correspondre à l'année à l'étude. De plus, au moment de réaliser la présente étude, l'opérationnalisation de la technologie Pyrowave n'était pas encore complétée et les valeurs avancées pour la décomposition catalytique par micro-ondes ont été tirées de

modélisations ou d'analyses pilotes. Les résultats obtenus sont néanmoins considérés applicables au contexte temporel posé pour l'étude.

Par ailleurs, il est à noter que certains processus compris dans les frontières du système peuvent avoir lieu n'importe où ou à n'importe quel moment s'ils sont nécessaires à la réalisation de l'unité fonctionnelle. Par exemple, les processus associés à l'approvisionnement en matières premières, ainsi qu'à la gestion des rejets générés peuvent avoir lieu au Québec ou ailleurs dans le monde. De plus, certains processus peuvent générer des émissions sur une plus longue durée que l'année et la période de référence. C'est par exemple le cas de l'enfouissement des déchets, qui engendre des émissions (biogaz et lixiviats) sur une période de temps dont la longueur (de quelques décennies à plus d'un siècle, voire des millénaires) dépend de la conception et des paramètres d'opération des cellules d'enfouissement et de la modélisation de leurs émissions dans l'environnement. Les émissions à long terme sont exclues de l'inventaire dans cette étude

2.6 Sources, hypothèses et données d'inventaire du cycle de vie (ICV)

2.6.1 Collecte des données

Les données requises à l'ACV concernent les matières premières utilisées, l'énergie consommée ainsi que les rejets générés à chaque étape du cycle de vie étudié.

Pour la modélisation des pièces de vaisselle, la collecte de données a été réalisée sur la base de données fournies par Aramark Québec, de contacts avec des fournisseurs et d'informations disponibles sur leurs sites Internet ainsi que de données génériques. La qualité des résultats d'une ACV dépend de la qualité des données utilisées pour effectuer la modélisation des systèmes étudiés. C'est pourquoi tous les efforts ont été faits pour que les informations disponibles les plus crédibles et les plus représentatives soient intégrées à l'étude. Dans tous les cas, les données sélectionnées sont représentatives des fournisseurs actuels de Aramark Québec sans pour autant couvrir toutes les options disponibles sur le territoire.

La plupart des données secondaires utilisées proviennent des modules de données d'inventaire du cycle de vie (ICV) disponibles dans la base de données *ecoinvent* version 2.2 (www.ecoinvent.ch/). Cette base de données européenne est particulièrement reconnue par la communauté scientifique internationale, car elle surpasse de loin les autres bases de données commerciales tant du point de vue quantitatif (nombre de processus inclus) que qualitatif (qualité des procédés de validation, complétude des données, etc.).

L'utilisation de données européennes pour représenter l'Amérique du Nord peut introduire un biais dans certains cas. Cependant, il est estimé que la cohérence et la complétude de cette base de données en font une option préférable à d'autres données disponibles pour la plupart des processus. Dans la mesure du possible, les modules de données génériques employés dans le cadre de cette étude ont été adaptés de manière à augmenter leur représentativité des produits et du contexte analysés. Plus particulièrement, pour toutes les activités ayant lieu à une localisation spécifique, les modules génériques ont été adaptés en remplaçant les mélanges d'approvisionnement électrique (*grid mix*) européens par :

- Le *grid mix* québécois pour la consommation d'électricité ayant lieu au Québec, tel que pour la production de vaisselle par le fournisseur F2 ou lors du lavage de la vaisselle réutilisable;

- Le *grid mix* nord-américain pour les processus d'avant-plan ayant lieu aux États-Unis, tel que la production de certaines pièces de vaisselle à usage unique;
- le *grid mix* chinois pour la consommation d'électricité associée à la production de la vaisselle réutilisable et de certaines pièces de vaisselle à usage unique.

Par ailleurs, le *grid mix* nord-américain a été employé pour tous les processus d'arrière-plan, c.-à-d. tous les processus directement et indirectement liés aux processus d'avant-plan (par ex. l'énergie consommée pour la production des camions et des combustibles pour le transport, l'extraction des matières premières, etc.). Le *grid mix* nord-américain est ici plus approprié considérant que l'approvisionnement et la gestion des déchets générés aux diverses étapes du cycle de vie peuvent avoir lieu n'importe où, et plus probablement en Amérique du Nord.

Le Tableau 2-10 présente le détail des *grid mix* utilisés.

Tableau 2-10 : Mélanges d'approvisionnement énergétique utilisés

Source énergétique	Québec (2013)	Ontario (2013)	Amérique du Nord (2012)	Chine
Charbon	< 0.1 %	2.7 %	33.6 %	78.6 %
Pétrole	< 0.1 %	0.6 %	1.8 %	2.9 %
Gaz naturel	< 0.1 %	11.4 %	28.5 %	0.3 %
Nucléaire	0.2 %	57.7 %	17.5 %	2.1 %
Hydroélectrique	96.7 %	24.2 %	13.7 %	15.9 %
Éolien	2.2 %	3.4 %	3.0 %	< 0.1 %
Biomasse	0.7 %	0.2 %	1.1 %	< 0.1 %
Biogaz/déchets	< 0.1 %	< 0.1 %	0.7 %	< 0.1 %
Solaire	< 0.1 %	< 0.1 %	0.2 %	< 0.1 %
Source	(Hydro-Québec, 2015)	(IESO, 2015)	CIRAIG (basé sur IEA, 2015)	(ecoinvent v2.2)

Dans les cas où aucune information n'était disponible, des **hypothèses** ont aussi été posées. Les principales hypothèses relatives au système sont :

- En l'absence d'indications contraires, la fabrication des différentes pièces de vaisselle est supposée avoir lieu chez le fournisseur et non chez un sous-traitant, qui pourrait se trouver n'importe où dans le monde.
- L'approvisionnement en matériaux pour la fabrication des pièces de vaisselle (étape de « pré-production ») est supposé être proche du lieu de production (100 km supposé).
- Les processus de mise en forme des pièces de vaisselle à usage unique ont été sélectionnés à partir des connaissances de l'analyste.
- Il est supposé que le contenu en matière recyclée est nul pour toutes les pièces de vaisselle.

Mentionnons aussi que toutes les données utilisées ont été :

- 1) Évaluées quant à leur représentativité temporelle, géographique et technologique ;
- 2) Collectées de manière à ce qu'elles soient les moins agrégées possible ;
- 3) Documentées conformément aux meilleures pratiques disponibles.

2.6.2 Données spécifiques à l'étude

Plusieurs données développées spécifiquement pour cette étude sont détaillées ci-dessous. Pour plus d'informations, se référer à l'annexe C.

2.6.2.1 Lave-vaisselle et étape de lavage

Le lavage de la vaisselle réutilisable a été modélisé avec une donnée de lave-vaisselle industriel. Elle repose sur un rapport préparé dans le cadre d'une étude commanditée par l'Union Européenne (Öko-Institut e.V., 2011) et présentant différents types de lave-vaisselle industriels. La donnée considérée comme la plus représentative du contexte d'une cafétéria universitaire telle qu'elle pourrait être à Polytechnique (un lave-vaisselle de type « hotte ») a été choisie et modélisée. Cette modélisation permet de déterminer le profil environnemental associé à la fabrication du lave-vaisselle, à l'énergie, à l'eau et aux produits de nettoyage utilisés.

2.6.2.2 Compostage

La modélisation du compostage est basée sur une donnée de la littérature (Edelmann et al., 2001), qui est la référence utilisée pour un processus de compostage en système ouvert dans la base de donnéesecoinvent. Cette donnée a été utilisée pour rester cohérent en termes de composition de la matière organique (humidité de 60 %, teneur en carbone de 0.1624 kg C par kg de matière organique) entre la donnée d'enfouissement et celle de compostage.

La donnée extraite de l'étude d'Edelmann (2001) considère un compostage en système fermé, similaire à celui étudié dans notre cas. Elle inclut une consommation énergétique (diesel et électricité), des émissions à l'air (CO₂, CH₄, NH₃, N₂O, H₂S), des déchets et des eaux usées. Pour 1 kg de matière organique entrant, 0.540 kg de compost est produit (à une humidité de 50 %). Des données collectées auprès de l'entreprise CompoRecycle (CompoRecycle, 2013), gestionnaire du site de compostage de Chertsey, sont utilisées pour caractériser la teneur en élément nutritif du compost. Cette entreprise n'est plus récipiendaire des matières organiques générées actuellement à Polytechnique, celles-ci étant envoyées au site de l'entreprise Laflèche, à Moose Creek en Ontario. En l'absence de données relatives à ce site, et les technologies employées étant similaires à celles de CompoRecycle (Drouin-Racine, 2015), les précédentes données ont été conservées. Une discussion sur les différentes technologies de compostage est présentée dans la section 3.2.3.1.

Pour le compostage de matériaux autres que les matières organiques (bagasse, carton, PLA et amidon composant les pièces de vaisselle biodégradable), la donnée précédente a été adaptée en fonction des ratios de composition (teneur en C, N, S et matière sèche) de ces matériaux. Pour plus de détails, se référer à l'annexe C.

2.6.2.3 Fin de vie des pièces de vaisselle (volets A)

Dans le premier volet de l'étude comparant les pièces de vaisselle sur une base unitaire, les deux options de fin de vie considérées pour la vaisselle à usage unique sont l'enfouissement et le compostage, selon les pièces considérées. Les pièces de vaisselle réutilisable sont pour leur part considérées enfouies ou recyclées en fin de vie, selon le matériau. Enfin, pour les emballages utilisés dans les différents cycles de vie, les cartons ont été considérés comme entièrement recyclés en fin de vie alors que les sacs plastiques ont été considérés comme enfouis.

Pour leur modélisation, des processus génériques disponibles dans les bases de données ont été adaptés au contexte québécois ou des données spécifiques à l'étude ont été créées. Une brève comparaison qualitative des options de fin de vie pour la vaisselle à usage unique et la vaisselle réutilisable est présentée dans le Tableau 2-11, en spécifiant les processus retenus pour la modélisation dans le volet A (cellules vertes).

Tableau 2-11 : Comparaison des options de fin de vie selon les options de vaisselle

Option de vaisselle	Enfouissement	Recyclage	Compostage
Vaisselle à usage unique régulière (non biodégradable) (PS ou PP)	Enfouissement modélisé (situation actuelle). Produits très stables. Peu d'émissions générées.	Recyclage possible, mais complexe, impliquant le rinçage des pièces de vaisselle.	Aucun compostage possible.
Vaisselle à usage unique biodégradable	Émissions de CO ₂ et de CH ₄ lors de la dégradation en site d'enfouissement. Récupération d'une part des biogaz générés et combustion sur site.	Recyclage impossible.	Compostage modélisé et récupération d'un compost valorisable.
Vaisselle réutilisable en céramique	Enfouissement modélisé. Produits très stables. Peu d'émissions générées.	Recyclage impossible. Les autres types de valorisation de la matière n'ont pas été considérés.	Aucun compostage possible.
Vaisselle réutilisable en PP	Possible, mais non souhaité car le PP est recyclable.	Pour le cas à l'étude, il a été considéré que tout le PP était recyclé en fin de vie.	Aucun compostage possible.
Couverts réutilisables en acier	Enfouissement modélisé. Produits très stables. Peu d'émissions générées	Possible, mais peu courant. Les ustensiles de métal ne sont couramment pas acceptés par les programmes de collecte sélective.	Aucun compostage possible.
Emballages de carton	Possible, mais peu courant. Les emballages sont communément mis au recyclage.	Pour le cas à l'étude, il a été considéré que tout le carton était recyclé en fin de vie.	Compostage possible, mais peu probable.

Dans tous les cas, le transport des déchets vers les sites de traitement a été inclus dans l'étude. Les distances sont basées sur les sites actuels où les déchets sont envoyés (25 km pour le centre intermédiaire de traitement situé à Laval, puis 37 km pour le site d'enfouissement de Ste-Sophie ou 22 km pour le centre intermédiaire de traitement situé à St-Hubert et 121 km pour le site de compostage à Moose Creek).

La modélisation du compostage est discutée à la section 2.6.2.2.

Pour l'élimination des déchets dans un site d'enfouissement technique, des données spécifiques à chaque matériau et issues de la base de données suisse ecoinvent ont été adaptées pour tenir compte du contexte de l'étude. Tel que décrit à la section 2.4, un taux de captage des biogaz de 53 % et une fraction de valorisation de 84 % de ces gaz captés sont considérés. Le biogaz

récupéré est supposé remplacer la production de gaz naturel. Une analyse de sensibilité sur cette donnée est effectuée dans le volet B.

En ce qui a trait au recyclage, une approche par extension des frontières est utilisée. Le transport de Polytechnique aux centres de recyclages (via un centre de traitement intermédiaire situé à Laval), ainsi que la production des matériaux recyclés sont considérés. L'inventaire correspondant à la production des matériaux vierges correspondants est ensuite soustrait pour annuler les fonctions secondaires de production des matériaux.

2.6.2.4 Modélisation du procédé de décomposition catalytique par micro-ondes (volets B et C)

Pour la modélisation de la décomposition catalytique par micro-ondes, des données ont été collectées auprès de Jean-Philippe Laviolette (Laviolette, 2014 & 2016), chercheur travaillant sur le développement de la technologie Pyrowave à Polytechnique. Les données sont basées sur des modélisations ou des analyses sur des installations pilotes.

Les données concernant la technologie Pyrowave ont été fournies au cours des mois d'avril et mai 2014, avec revalidation de certains paramètres en 2016. Elles concernent principalement les matériaux nécessaires à la fabrication de la machine, son opération (consommations d'électricité, d'eau, d'huile et de produits nettoyants, ainsi que des émissions) et les coproduits (quantité et débouchés potentiels). Ces données ont été collectées pour quatre types de matériaux : résidus alimentaires, carton-PE, polystyrène et « autres plastiques ». Aux fins de la présente analyse, il a été considéré qu'une unité Pyrowave a une capacité de traitement de 300 t/an et est opérée à pleine capacité et pour une durée de vie de 10 ans.

Peu d'information sur l'opération en condition réelle de l'unité ainsi que sur les étapes d'installation, d'entretien et de fin de vie de l'unité est encore disponible. Certaines données manquantes ont été approximées ou négligées. Pour plus de détails sur les données et hypothèses, se référer au rapport spécifique rédigé par le CIRAIIG sur la technologie Pyrowave (CIRAIIG, 2014) et à l'annexe C.

2.6.2.5 Modélisation de la fin de vie des matières organiques (volets B et C)

Par rapport à la situation actuelle, l'utilisation de vaisselle compostable présente l'avantage de faciliter la récupération des résidus alimentaires présents sur la vaisselle après son utilisation. En effet, lors de l'utilisation de vaisselle non biodégradable, une part importante de ces résidus alimentaires accompagnent la vaisselle et vont à l'enfouissement et sont alors source d'émissions de gaz à effet de serre. Le compostage de la vaisselle permettrait alors de composter en même temps les résidus alimentaires. Une étude menée par Razza et al. (2008) montre que le passage d'une vaisselle régulière à une vaisselle compostable conduirait à une réduction importante de la contribution de cette part organique des déchets aux indicateurs environnementaux étudiés. L'influence de la gestion des matières organiques générées selon les différentes options est traitée dans la section 3.3 comparant différents scénarios de vaisselle. Les scénarios 1.b et 2.b présentent ainsi des taux de récupération des matières organiques différents (respectivement 40 % et 80 %), liés au type de vaisselle utilisée.

Pour représenter l'enfouissement de ces matières organiques en fin de vie, une donnée spécifique a été créée en interne à partir du calculateur *d'ecoinvent* permettant de modéliser un site d'enfouissement (ecoinvent, 2014).

Pour modéliser le compostage des matières organiques, la donnée de compostage présentée à la section 2.6.2.2 a été utilisée.

2.6.2.6 Régionalisation des données d'inventaire

Tel que mentionné à la sous-section 2.6.1, lorsque des informations spécifiques étaient présentes, les processus originaux de la base de données *ecoinvent* ont été adaptés avec le mix électrique du pays approprié. Cette adaptation a été effectuée pour tous les processus de mise en forme de matériaux et ceux de production de matières premières, à l'exception de la production de plastiques dont les données initiales agrégées ne permettent pas une telle adaptation.

2.6.2.7 Données de génération de matières organiques et résiduelles par les services alimentaires (volet C)

En plus de la vaisselle, le volet C inclut les matières résiduelles (autres que celles liées à la vaisselle) générées dans les aires de service alimentaire de Polytechnique. Ces matières ont été estimées à partir de mesures effectuées par le Bureau du Développement durable en 2011-2012 (Decoste, 2014) et extrapolées pour représenter la génération annuelle de matières.

Le Tableau 2-12 présente les quantités annuelles des différentes matières utilisées dans l'étude. Il est supposé que 80 % des matières recyclables sont récupérées et effectivement recyclées. Pour plus de détails sur les hypothèses relatives à chaque scénario, se référer à l'annexe C.

Tableau 2-12 : Matières résiduelles générées⁴ annuellement dans les aires de service alimentaire de Polytechnique

Matériaux	Quantité (kg/an)	Recyclable ?
Papier	12,65	Oui
Cartons	686,69	Oui
Verre	227,21	Oui
Métaux - canettes alu	412,58	Oui
Métaux - autres	137,31	Oui
Plastiques no 1	269,78	Oui
Plastiques (no 2, 3, 4, 5, 7)	431,41	Oui
MO - résidus alimentaires	5149,38	Non
MO – fibres souillées	2618,68	Non
Liquides	258,02	Non
Résidus ultimes	1804,07	Non
Vaisselle non biodégradable	Selon le scénario	Non (PS ou plastique contaminé)
Vaisselle biodégradable	Selon le scénario	Non
Vaisselle réutilisable	Selon le scénario	En partie (selon le matériau)

⁴ Voir note à la section 2.2.3.

2.6.3 Sources et hypothèses

Les Tableaux 2-13 à Tableau 2-19 résument les principales sources de données pour établir l'inventaire du cycle de vie (ICV) et les hypothèses employées dans cette étude. Pour plus de détails, se référer à l'annexe C.

Le logiciel SimaPro 8.2, développé par PRé Consultants (www.pre.nl), a été utilisé pour faire la modélisation des systèmes et réaliser le calcul de l'inventaire.

Tableau 2-13 : Principales données, sources et hypothèses utilisées dans l'établissement de l'ICV d'avant-plan – Fournisseurs (volets A et C)

Paramètres	Fournisseurs – vaisselle à usage unique					
	F3	F2	F1	F1	F1	F4
Pré-production						
Emplacement des sites de pré-production	Amérique du Nord	Amérique du Nord	Chine	Amérique du Nord	Chine	Amérique du Nord
Mode de transport	Camion					
Distance de transport (km)	100					
Production						
Emplacement des sites de production (mix électrique)	Glen Falls, NY (Amérique du Nord)	Saint-Laurent (Québec)	Chine (Chine)	Voir Tableau 2.1 (Amérique du Nord)	Chine (Chine)	Cambridge, On (Amérique du Nord)
Distribution						
Mode de transport	Camion	Camion	- Bateau - Train	Camion	- Bateau - Train	Camion
Distance de transport (km)	280	12	- 10 000 - 4800	Entre 320 et 1 870 km, selon le lieu de production	- 10 000 - 4800	600

Tableau 2-14 : Principales données, sources et hypothèses utilisées dans l'établissement de l'ICV d'avant-plan – matériaux non biodégradables (volets A et C)

Paramètres	Composants principaux – vaisselle à usage unique				
	PSE	XPS expansé	PS rigide	PP	Carton-PE
Production					
Source de donnée	ecoinvent v2.2				
Matériaux	<i>Polystyrene, expendable</i>	<i>Polystyrene, expendable</i>	<i>Polystyrène, GGPS</i>	<i>Polypopylene, granulate</i>	<i>Solid bleached borad + LDPE film</i>
Mise en forme	<i>Foaming, expending</i>	<i>Foaming, expending</i>	<i>Thermoforming, with calendering</i>	<i>Injection moulding</i>	Consommation électrique, rapport de l'OVAM (2006)
Fin de vie					
Source de donnée	Données ecoinvent v2.2, adaptées pour le Québec ou données internes				
Enfouissement	<i>Disposal, polystyrene, 0.2% water, to sanitary landfill/ proxy Qc</i>	<i>Disposal, polystyrene, 0.2% water, to sanitary landfill/ proxy Qc</i>	<i>Disposal, polystyrene, 0.2% water, to sanitary landfill/ proxy Qc</i>	<i>Disposal, polypropylene, 15.9 % water, to sanitary landfill/ proxy Qc</i>	<i>-Disposal, packaging cardboard, 19.6 % water, to sanitary landfill/ proxy QC</i> <i>-Disposal, polyethylene, 0.4 % water, to sanitary landfill/ proxy Qc</i>
Décomposition catalytique par micro-ondes	Décomposition catalytique, polystyrene	Décomposition catalytique, polystyrene	Décomposition catalytique, polystyrene	Décomposition catalytique, plastiques, non PS	Décomposition catalytique, carton-PE

Tableau 2-15 : Principales données, sources et hypothèses utilisées dans l'établissement de l'ICV d'avant-plan – matériaux biodégradables (volets A et C)

Paramètres	Composants principaux – vaisselle à usage unique				
	Bagasse	Carton	PLA	Amidon de maïs	Carton-PLA
Production					
Source de donnée	ecoinvent v2.2				
Matériaux	<i>Bagasse, from sugarcane</i>	<i>Solid bleached board</i>	Poly lactide, granulate	Modified starch	<i>Solid bleached board + Poly lactide,</i>
Mise en forme	Consommation d'électricité, de vapeur et gaz naturel, d'après Harnoto (2013)	<i>Production of carton board boxes (sans l'encre)</i>	<i>Thermoforming, with calendering</i>	<i>Injection moulding</i>	Consommation électrique, rapport de l'OVAM (2006)
Fin de vie					
Source de donnée	Données internes				
Compostage	Compostage - bagasse	Compostage - carton	Compostage - PLA	Compostage - amidon	Compostage – carton + PLA
Décomposition catalytique par micro-ondes	Décomposition catalytique, carton-PE	Décomposition catalytique, carton-PE	Décomposition catalytique, plastiques, non PS	Décomposition catalytique,, matières organiques	Décomposition catalytique, carton-PE

Tableau 2-16 : Principales données, sources et hypothèses utilisées dans l'établissement de l'ICV d'avant-plan – fournisseurs, vaisselle réutilisable (volets A et C)

Paramètres	Fournisseurs – Vaisselle réutilisable
Pré-production	
Emplacement des sites de pré-production	Chine
Mode de transport	Camion
Distance de transport (km)	100
Production	
Emplacement des sites de production (mix électrique)	Chine (Chine)
Distribution	
Mode de transport	- Bateau - Train
Distance de transport (km)	- 10 000 - 4800
Utilisation	
Nombre d'utilisations supposé par défaut	-360 pour les coquilles (donnée issue de l'étude de Harnoto, 2013) - 500 pour les assiettes, tasses, verres et bols (hypothèse) - 800 pour les couverts (hypothèse)
Lavage	Donnée de lave-vaisselle et de son utilisation développée en interne (basée sur l'étude de Öko-Institut eV, 2011)

Tableau 2-17 : Principales données, sources et hypothèses utilisées dans l'établissement de l'ICV d'avant-plan – matériaux, vaisselle réutilisable (volets A et C)

Paramètres	Composants principaux – vaisselle réutilisable			
	Céramique	Verre	Acier	PP
Production				
Source de donnée	Donnée interne (basée sur une étude de la Commission Européenne, 2007)		ecoinvent v2.2	
Matériaux	<i>Ceramic, tableware</i>	<i>Packaging glass, white</i>	<i>Steel, low-alloyed</i>	<i>Polypolyene, granulate</i>
Mise en forme	Incluse dans la donnée de matériau	Incluse dans la donnée de matériau	<i>Steel product manufacturing, average metal working</i>	<i>Injection moulding</i>
Fin de vie				
Source de donnée	Données ecoinvent v2.2, adaptées pour le Québec			Données internes
Enfouissement	<i>Disposal, inert material, 0 % water, to sanitary landfill, proxy Qc</i>	<i>Disposal, glass, 0% water, to inert material landfill, proxy Qc</i>	<i>Disposal, metal, to inert material landfill, proxy Qc</i>	s/o
Recyclage	s/o	s/o	s/o	PP/HDPE, recyclage

Tableau 2-18 : Principales données, sources et hypothèses utilisées dans l'établissement de l'ICV d'avant-plan – fin de vie des matières organiques (volet B)

Paramètres	Mode de gestion		
	Enfouissement	Compostage	Décomposition catalytique par micro-ondes
Transport			
Mode de transport	- Camion de collecte - Camion	- Camion de collecte - Camion	Aucun, traitement sur place
Distance de transport	- 25 km - 37 km	- 22 km - 121 km	
Traitement des MO			
Source de donnée	Donnée interne, sur la base du calculateur d'ecoinvent (2014)	Donnée interne, sur la base de données de CompoRecycle (2013) et Edelmann et al. (2001)	Donnée interne, sur la base de données de Pyrowave (CIRAIG, 2014)
Donnée	<i>Disposal, compostable organic matter, to sanitary landfill - donnée créée / Qc</i>	<i>Compostage – matières organiques</i>	<i>Décomposition catalytique, matières organiques</i>

Tableau 2-19 : Principales données utilisées dans l'établissement de l'ICV d'avant-plan – fin de vie des matières résiduelles (volet C)

Paramètres	Gestion en fin de vie			
	Enfouissement	Compostage	Décomposition catalytique	Recyclage
Vaisselle				
Source de donnée	Données ecoinvent v2.2, adaptées pour le Québec ou données internes			
PS	<i>Disposal, polystyrene, 0.2 % water, to sanitary landfill/ proxy Qc</i>	s/o	Décomposition catalytique, polystyrene	s/o
PP	<i>Disposal, polypropylene, 15.9 % water, to sanitary landfill/ proxy Qc</i>	s/o	Décomposition catalytique, plastiques, non PS	<i>PP/HDPE, recyclage</i>
Carton-PE	<i>-Disposal, packaging cardboard, 19.6 % water, to sanitary landfill/ proxy QC</i> <i>-Disposal, polyethylene, 0.4 % water, to sanitary landfill/ proxy Qc</i>	s/o	Décomposition catalytique, carton-PE	s/o
Bagasse	<i>-Disposal, packaging cardboard, 19.6 % water, to sanitary landfill/ proxy QC</i>	Compostage - bagasse	Décomposition catalytique,, carton-PE	s/o
Carton	<i>Disposal, packaging cardboard, 19.6 % water, to sanitary landfill/ proxy QC</i>	Compostage - carton	Décomposition catalytique,, carton-PE	s/o
Carton-PLA	<i>-Disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to sanitary landfill/ proxy QC</i> <i>-Disposal, PLA, to sanitary landfill - donnée créée / Qc</i>	Compostage – carton + PLA	Décomposition catalytique, carton-PE	s/o
Amidon	<i>Disposal, compostable organic matter, to sanitary landfill - donnée créée / Qc</i>	Compostage - amidon	Décomposition catalytique,, matières organiques	s/o
Céramique	<i>Disposal, inert material, 0 % water, to sanitary landfill, proxy Qc</i>	s/o	s/o	s/o
Verre	<i>Disposal, inert material, 0 % water, to sanitary landfill, proxy Qc</i>	s/o	s/o	Verre, recyclage
Métaux	<i>Disposal, inert material, 0 % water, to sanitary landfill, proxy Qc</i>	s/o	s/o	Métaux ferreux, recyclage

Matières résiduelles				
Source de donnée	Données ecoinvent v2.2, adaptées pour le Québec ou données internes			
Papier	<i>Disposal, packaging paper, 13.7 % water, to sanitary landfill/ proxy Qc</i>	s/o	Décomposition catalytique, carton-PE	Carton/papier, recyclage
Cartons	<i>Disposal, packaging cardboard, 19.6 % water, to sanitary landfill/ proxy Qc</i>	s/o	Décomposition catalytique, carton-PE	Carton/papier, recyclage
Verre	<i>Disposal, inert material, 0 % water, to sanitary landfill, proxy Qc</i>	s/o	s/o	Verre, recyclage
Métaux - canettes alu	<i>Disposal, inert material, 0 % water, to sanitary landfill, proxy Qc</i>	s/o	s/o	Métaux non ferreux, recyclage
Métaux - autres	<i>Disposal, inert material, 0 % water, to sanitary landfill, proxy Qc</i>	s/o	s/o	Métaux ferreux, recyclage
Plastiques no 1	<i>Disposal, polyethylene terephthalate, 0.2% water, to sanitary landfill/proxy Qc</i>	s/o	Décomposition catalytique, plastiques non PS	PET, recyclage
Plastiques (no 2, 3, 4, 5, 7)	<i>Disposal, polypropylene, 15.9 % water, to sanitary landfill/ proxy Qc</i>	s/o	Décomposition catalytique, plastiques non PS	PP/HDPE, recyclage
MO restes	<i>Disposal, compostable organic matter, to sanitary landfill - donnée créée / Qc</i>	Compostage – matières organiques	Décomposition catalytique, matières organiques	s/o
MO fibres	<i>Disposal, compostable organic matter, to sanitary landfill - donnée créée / Qc</i>	Compostage – matières organiques	Décomposition catalytique, matières organiques	s/o
Résidus ultimes	<i>Disposal, municipal solid waste, 22.9 % water, to sanitary landfill/ proxy Qc</i>	s/o	s/o	s/o

2.7 Évaluation des impacts environnementaux

La méthode européenne IMPACT 2002+ (Jolliet *et al.*, 2003), reconnue internationalement, a été choisie pour effectuer l'évaluation des impacts du cycle de vie des scénarios comparés. La version utilisée par le CIRAIG, nommée v1.15, correspond à la version 2.10 (Jolliet *et al.*, 2003 et illustrée sur www.sph.umich.edu/riskcenter/jolliet/impact2002+.htm), modifiée afin que les catégories d'impacts *Eutrophisation aquatique* et *Acidification aquatique* soient intégrées à l'indicateur de dommage *Qualité des écosystèmes* (Figure 2-5).

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 d'impacts incluses, à la mise à jour fréquente des facteurs de caractérisation et à l'agrégation des catégories d'impacts en quatre catégories de dommages, ce qui simplifie la compréhension des résultats par des non-initiés à l'ACV.

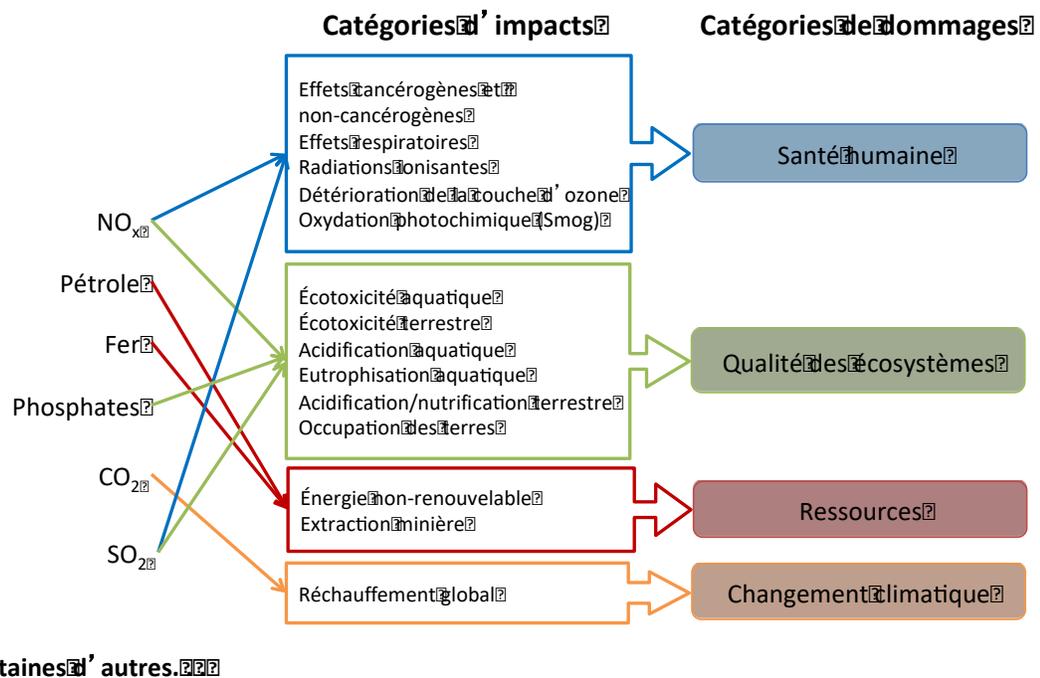


Figure 2-5 : Catégories de dommage et catégories d'impacts de la méthode IMPACT 2002+.

Une description de la méthode IMPACT 2002+ v 2.15 est fournie à l'Annexe B.

L'agrégation des catégories d'impacts en quatre catégories de dommages 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 dommages 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. La méthode IMPACT 2002+ évalue les effets potentiels des émissions sur une période de 500 ans. Les résultats obtenus pour la catégorie *Changement climatique* ne sont donc pas comparables à ceux obtenus par d'autres méthodes considérant un potentiel de réchauffement global sur 100 ans.

Il est à noter que le carbone biogénique, c'est-à-dire issu de la photosynthèse des plantes, comme par exemple celui contenu dans la biomasse des options de vaisselle biodégradable ou des matières organiques, est considéré dans cette étude. Un facteur de caractérisation négatif ($-1 \text{ kg CO}_2 \text{ éq./kg}$ de CO_2 capté) est attribué au dioxyde de carbone capté lors de la croissance de la plante. Il est présenté de manière séparée dans les résultats sous la catégorie « CO_2 capté ». À l'inverse, des facteurs de caractérisation positifs, identiques à ceux pour les émissions fossiles, sont considérés lorsque le carbone biogénique est réémis ($1 \text{ kg CO}_2 \text{ éq./kg CO}_2$ biogénique; $1,57 \text{ kg CO}_2 \text{ éq./kg CO}$ biogénique et $10,35 \text{ kg CO}_2 \text{ éq./kg CH}_4$ biogénique). De cette manière, le carbone demeurant séquestré dans la matière non décomposée en fin de vie correspond à une contribution négative au système considéré, associée à la quantité de CO_2 équivalente qui n'est pas réémise à l'atmosphère.

- **Ressources** : cette catégorie prend en compte l'utilisation de ressources énergétiques non renouvelables et l'extraction de minéraux, quantifiés en mégajoules d'énergie (MJ).

Mentionnons que :

- Il existe un indicateur *Utilisation de l'eau* basé uniquement sur les flux d'inventaire et qui permet de comparer les volumes prélevés de l'environnement, sans donner d'information quant au dommage causé par cette utilisation. Cet indicateur n'a cependant pas été retenu pour la présente étude, car l'eau utilisée en avant-plan ne peut être agrégée avec les flux d'eau inclus dans les données d'inventaire d'arrière-plan. En effet, la base de données *ecoinvent* (v.2.2) employée ne répertorie pas les flux d'eau de manière complète et cohérente entre les processus. Il en découlerait donc une évaluation globale potentiellement erronée.
- 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 (voir annexe A pour plus de détail sur les notions de pondération et de normalisation).
- Les résultats d'indicateurs de catégories d'impacts ou de dommages représentent 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.
- La présente étude concerne seulement les aspects environnementaux. Les impacts sociaux ou socio-économiques ne sont pas couverts.

Tout comme pour l'inventaire, le logiciel SimaPro 8.2 a été utilisé pour faire l'évaluation des impacts potentiels associés aux émissions inventoriées. C'est lui qui procède à la classification des flux élémentaires entre les diverses catégories d'impacts et au calcul des résultats d'indicateurs de dommages.

Une deuxième évaluation basée sur la méthode ReCiPe (Goedkoop *et al.*, 2009) a été réalisée en analyse de sensibilité pour le volet C afin de vérifier si la variabilité des modèles de caractérisation avait une influence significative sur les conclusions et donc, de tester la robustesse des résultats obtenus à partir d'IMPACT 2002+.

2.8 Interprétation

Cette dernière phase de l'ACV permet d'analyser les résultats obtenus suite à l'ÉICV et de les mettre en perspective. Elle inclut pour les trois volets une comparaison des systèmes décrits à la section 2.2.

Les résultats présentés au chapitre 3 sont appuyés sur une analyse complète et approfondie des données d'inventaire et de l'ÉICV. Cela comprend notamment :

- Une évaluation de la qualité des données;
- Une analyse de cohérence et de complétude;
- Des analyses de sensibilité et de scénarios;
- Des analyses d'incertitudes.

La méthodologie employée pour l'analyse et l'interprétation des données est résumée dans les sous-sections qui suivent. Mais d'abord, une précision est donnée quant à l'analyse de l'inventaire.

2.8.1 Analyse de l'inventaire

Les résultats d'inventaire en termes de quantités de matières et d'énergie associées à chacun des systèmes à l'étude ne sont pas présentés dans le corps de ce rapport. L'analyse exhaustive des entrants et sortants n'améliore généralement pas la compréhension des enjeux. En effet, les résultats d'inventaire contiennent trop d'information et ne permettent pas en soi de conclure. Pour que l'ACV soit pertinente, elle doit être faite en parallèle avec l'évaluation des impacts. Ainsi, en accord avec la norme ISO 14 044, l'ÉICV présentée et discutée au chapitre 3 constitue l'interprétation des résultats d'ICV, en ayant pour but de mieux en comprendre la portée environnementale. Une analyse de contribution par catégorie de dommage peut ainsi permettre

d'identifier les principaux flux d'inventaire. Par contre, l'analyse présentée n'a pas été détaillée jusqu'aux substances contributrices, étant donné que l'objectif de l'étude est d'apporter une compréhension générale des enjeux au grand public. Le détail par substance est néanmoins effectué lorsqu'il aide à l'explication des résultats, en particulier pour les émissions de gaz à effet de serre.

2.8.2 Évaluation de la qualité des données d'inventaire

La fiabilité des résultats et des conclusions de l'ACV dépend de la qualité des données d'inventaire qui sont utilisées. Il est donc important de s'assurer que ces données respectent certaines exigences spécifiées en accord avec les objectifs de l'étude.

Selon la norme ISO, les exigences relatives à la qualité des données devraient au minimum en assurer la **validité**, ce qui est équivalent ici à leur représentativité quant à l'âge, la provenance géographique et la performance technologique. Ainsi, les données utilisées devraient être représentatives :

- De la période définie par l'unité fonctionnelle, soit 2013-2014 (voir section 2.2.2) ;
- Du contexte géographique dans lequel s'inscrivent les systèmes à l'étude, soit une utilisation au Québec, à Polytechnique (voir sous-section 2.5.2) ;
- Des options de vaisselle retenues pour l'analyse comparative.

Bien qu'aucune méthode particulière ne soit actuellement prescrite par l'ISO, deux critères ayant une influence sur la qualité de l'inventaire ont été choisis pour évaluer les données :

- **Fiabilité** : concerne les sources, les méthodes d'acquisition et les procédures de vérification des données. Une donnée jugée fiable est une donnée vérifiée et mesurée sur le terrain. Ce critère se réfère principalement à la quantification des flux économiques.
- **Représentativité** : traite des corrélations géographique et technologique. Est-ce que l'ensemble des données reflète la réalité? Une donnée est jugée représentative lorsque la technologie est en relation directe avec le champ d'étude. Ce critère se rapporte principalement au choix des jeux de données servant à modéliser le système.

Une description plus détaillée des critères et l'évaluation de la qualité des données sont présentées à l'Annexe D. Une discussion sur la qualité des données d'inventaire est présentée pour chaque volet aux sous-sections 3.1.2, 3.2.2 et 0.

2.8.3 Analyse de cohérence et de complétude

Tout au long de l'étude, une attention a été portée afin que les systèmes soient représentés de manière conforme à la définition des objectifs et du champ de l'étude. De plus, lors de la collecte de données et de la modélisation, la définition des frontières, les hypothèses, les méthodes et les données ont été appliquées de manière similaire à tous les systèmes. Il y a donc **cohérence** entre les systèmes étudiés au regard des sources de données, de leur précision, de leur représentativité technologique, temporelle et géographique. La méthode d'extension des frontières est également appliquée de façon identique pour toutes les options évaluées.

La **complétude** a été assurée grâce à une définition attentive des frontières du système analysé et par une utilisation systématique des règles d'extension. Lorsque des données étaient manquantes, une analyse de sensibilité a été effectuée pour vérifier l'effet des hypothèses et

des approximations employées pour pallier à ces manques. Les résultats de l'évaluation des impacts ont également été validés par une seconde méthode ÉICV.

2.8.4 Analyses de sensibilité et analyses de scénarios

Plusieurs paramètres utilisés lors de la modélisation des systèmes présentent une certaine incertitude, plus particulièrement liée aux hypothèses et aux jeux de données génériques employés. Les résultats obtenus sont liés à ces paramètres et leur incertitude est transférée aux conclusions tirées.

À partir des principaux processus/paramètres contributeurs identifiés par l'analyse de qualité des données, des analyses de sensibilité ou de scénarios ont été effectuées sur les paramètres suivants :

- Volet A :
 - **Lieu de production des pièces de vaisselle à usage unique.** Les différentes options de pièces de vaisselle à l'étude sont principalement produites en Chine ou en Amérique du Nord, mais hors du Québec. Ceci implique des distances de transport importantes entre le lieu de production et Polytechnique, ainsi que l'utilisation d'un mix électrique plus polluant que le mix québécois. Cette analyse de scénario vise à étudier l'influence d'une production au Québec des options de pièces de vaisselle à usage unique (seul le cas des assiettes est traité). Par rapport aux données initiales, les distances de distribution sont diminuées à 50 km (production proche de Montréal) et le mix électrique utilisé à l'avant-plan est remplacé avec celui du Québec. Aucune nouvelle hypothèse n'est faite sur les distances d'approvisionnement en matériaux (transport de pré-production sur 100 km), bien que dans le cas d'une production québécoise, l'approvisionnement de plusieurs matériaux, comme par exemple la bagasse, puisse provenir d'une distance plus éloignée.
 - **Énergie pour la production des pièces en bagasse.** La donnée utilisée pour modéliser la mise en forme des pièces en bagasse provient de l'étude de Harnoto (2013), qui se base sur une étude effectuée en 2003 pour un fabricant de vaisselle en bagasse. Cette étude de référence n'étant cependant pas disponible, les sources exactes et hypothèses effectuées n'ont pas pu être vérifiées. La consommation énergétique pour la mise en forme des pièces est de 5,75 kWh/lb de bagasse dans la donnée de Harnoto (répartie entre gaz naturel et électricité). Peu d'information est disponible dans la littérature à ce sujet mais un fabricant de vaisselle biodégradable (WorldCentric, 2015) cite une valeur de 3,64 kWh/lb, sans préciser les sources d'énergie associées. En comparaison, l'énergie de production des pièces en PSE est par exemple de 1,7 kWh/lb. Face au peu de données complètes disponibles, l'influence sur les résultats d'une diminution de 50 % de l'énergie pour la mise en forme des pièces de bagasse a été testée pour l'assiette du fournisseur F2.
 - **Distance de transport pour l'approvisionnement en matériaux.** Aucune donnée n'étant disponible sur l'approvisionnement en matières premières des sites de production des pièces de vaisselle, une distance par défaut de 100 km a été supposée dans l'analyse. Pour tester l'influence de cette hypothèse, cette distance de transport a été changée à 2000 km pour les différentes options d'assiettes.

- **Volet B :**
 - **Choix de la technologie pour le compostage.** Les données utilisées pour le compostage ne représentent pas directement celles du site où sont envoyées les matières organiques récoltées à Polytechnique mais sont adaptées à partir de la littérature (Edelmann et al., 2001) et d'informations fournies par une autre compagnie. Selon la littérature (Razza, 2013), les impacts du compostage varient selon la technologie utilisée. Cette analyse compare donc la donnée de compostage utilisée à une autre donnée issue de la même étude de la littérature, concernant un compostage en site ouvert. La comparaison est faite sur la base du traitement de 1 kg de matières organiques par compostage, en incluant les crédits. Les consommations énergétiques et les émissions de décomposition sur site diffèrent entre les deux technologies considérées. Seules les technologies sont comparées, le transport n'est pas considéré.
 - **Crédits pour la décomposition catalytique par micro-ondes.** Tel que décrit dans la section 2.4, le gaz combustible (syngaz) généré lors de la décomposition catalytique par micro-ondes est brûlé à même l'unité Pyrowave afin de produire de l'eau chaude qui sera utilisée sur place. Il remplace ainsi du gaz naturel actuellement utilisé dans les chauffe-eaux du Pavillon Principal de Polytechnique. Le Pavillon Lassonde a quant à lui des chauffe-eaux électriques. Une analyse de sensibilité considérant que le syngaz produit remplace plutôt de l'électricité québécoise a donc été réalisée. L'efficacité des chaudières n'est pas considérée. La comparaison est faite sur la base du traitement de 1 kg de MO par décomposition catalytique par micro-ondes, en incluant le transport et les crédits.
 - **Taux de captage du biogaz en site d'enfouissement.** Tel que décrit dans la section 2.4, le taux de captage du biogaz du site d'enfouissement est un paramètre variable dans la littérature. Cette analyse de sensibilité vise à tester l'influence sur les résultats de plusieurs taux de captage relevés dans la littérature : 35 % (moyenne canadienne selon Environnement Canada) et 80 % (efficacité ponctuelle mesurée sur certains sites au Québec), en comparaison aux 53 % de la donnée initiale. Dans les trois scénarios, le taux de valorisation du biogaz est conservé à 84 %, donnée représentative du site de Ste-Sophie qui revend son biogaz à une usine de Cascades. La comparaison est faite sur la base du traitement de 1 kg de MO par enfouissement, en incluant le transport et les crédits.
 - **Crédits pour le compost.** Dans les hypothèses de base, il a été considéré que les matières organiques compostées remplacent en moyenne des fertilisants chimiques. Une autre option consiste à considérer que le compost remplace plutôt de la terre noire pour amender les sols. C'est cette hypothèse qui est considérée dans cette analyse de sensibilité. Seule une activité d'excavation de sol est incluse pour la production de la terre noire et créditée considérant un remplacement dans un ratio 1:1 sur une base massique.
 - **Taux de dégradation des MO en site d'enfouissement.** Par défaut, le taux de dégradation des matières organiques en site d'enfouissement est de 27 %, sur un horizon de 100 ans. Cette valeur provient des hypothèses pour l'enfouissement des matières organiques dans la base de données ecoinvent (Doka, 2007). Elle a donc été prise dans l'analyse principale pour rester cohérent

avec les taux de dégradation des autres matières, qui proviennent aussi de cette source. Cependant, cette valeur est indiquée dans la source comme incertaine. Le site de Ste-Sophie étant par ailleurs équipé d'une technologie de recirculation des lixiviats, qui permet en théorie une dégradation accélérée des matières résiduelles (MDELCC, 2004). Dans la littérature, les taux de dégradation de la matière organique dans les sites d'enfouissement sont souvent considérés comme plus élevés. L'outil WARM (US EPA, 2016) considère par exemple que seul 16 % du carbone issu de déchets est séquestré (donc un taux de dégradation de 84 %). En comparaison, dans la donnée de compostage, environ 50 % du carbone contenu dans les matières organiques se retrouve dans le compost suite à leur traitement.

Une variation du taux de dégradation des matières organiques en site d'enfouissement est donc testée dans cette analyse pour les valeurs de 27 %, 50 % et 84 %.

- Volet C :
 - **Évaluation des impacts avec la méthode ReCiPe.** L'ÉICV a été réalisée avec une seconde méthode, ReCiPe (Goedkoop et al., 2009) afin de vérifier si la variabilité des modèles de caractérisation avait une influence significative sur les conclusions et donc, de tester la robustesse des résultats obtenus à partir d'IMPACT 2002+.
 - **Frontières en fin de vie.** Une approche par extension des frontières est utilisée dans l'étude pour traiter le recyclage et les coproduits de la gestion en fin de vie des différents matériaux. L'inventaire correspondant à la production des matériaux vierges substitués est soustrait pour annuler les fonctions secondaires de production de matériaux. Les résultats d'une approche par *cut-off* sont étudiés dans cette analyse de sensibilité. Pour le recyclage, à part le transport vers le centre de tri, aucun impact ou crédit n'est alors associé au recyclage. Les impacts et bénéfices sont considérés comme étant alloués au cycle de vie du produit qui utilisera la matière recyclée. Pour les autres traitements en fin de vie (enfouissement, décomposition catalytique par micro-ondes ou compostage), les impacts du traitement des résidus sont inclus dans les frontières mais aucun crédit n'est associé aux coproduits valorisés.
 - **Choix de la vaisselle pour les scénarios incluant de la vaisselle biodégradable.** Parmi les options de vaisselle à usage unique biodégradable analysées au volet A, les options en carton ont été préférées pour le volet C à celle en bagasse, car elles présentaient des scores inférieurs pour trois catégories sur les quatre à l'étude. Pour tester l'influence de ce choix, l'analyse a été effectuée en inversant ce choix, c'est-à-dire en conservant les options de vaisselle en bagasse au détriment de celles en carton pour les scénarios 2.a à 2.c.
 - **Quantités de matières résiduelles générées annuellement.** Tel que décrit dans la section 2.6.2, les quantités de matières résiduelles générées annuellement dans les aires de service alimentaire sont issues d'une extrapolation de données mesurées lors d'une caractérisation quotidienne effectuée en 2012. Cette extrapolation a été faite basée sur le rapport entre la masse de vaisselle récupérée et les autres matières résiduelles. D'autres extrapolations sont cependant possibles. Une analyse de sensibilité a donc été effectuée en

extrapolant les données sur la base de la moyenne de fréquentation de Polytechnique par rapport à la semaine de caractérisation. Elle conduit à une augmentation significative des matières résiduelles générées annuellement.

- **Taux de réutilisation de la vaisselle réutilisable.** Tel que discuté dans le volet A, l'hypothèse du nombre de réutilisations des pièces de vaisselle réutilisable influe significativement sur les résultats de l'étude. Une analyse de sensibilité a donc été faite en faisant varier ces hypothèses pour des valeurs respectives de 25, 50, 100, 250 et 500 réutilisations pour chaque pièce de vaisselle.

Les résultats des analyses de sensibilité effectuées sont présentés aux sections 3.1.3, 3.2.3 et 3.3.3.

2.8.5 Analyse d'incertitude

L'incertitude inhérente au modèle ACV est de deux ordres : l'incertitude sur les données d'inventaire et l'incertitude sur les modèles de caractérisation, qui traduisent l'inventaire en indicateurs environnementaux.

Pour prendre en compte l'incertitude sur les données d'inventaire, de multiples analyses de sensibilité faisant varier des paramètres ou données incertaines ont été réalisées, tel que décrit à la sous-section précédente.

L'incertitude sur les modèles de caractérisation a été prise en compte à l'aide des lignes directrices proposées par les auteurs de la méthode IMPACT 2002+ (Humbert et al., 2009). Elles établissent des seuils de significativité pour différentes catégories d'impact, en deçà desquels il n'est pas possible de conclure quant à la meilleure performance environnementale d'une option sur une autre : 10 % en termes de changement climatique, d'énergie non renouvelable et d'utilisation des ressources; 30 % en termes d'effets respiratoires dus aux particules primaires et secondaires, d'acidification et d'eutrophisation; un à deux ordres de magnitude en termes d'effets toxicologiques et écotoxicologiques.

En se basant sur les résultats obtenus pour les différents systèmes et volets de l'étude, les seuils de significativité suivants ont été employés au chapitre 3 pour interpréter les résultats obtenus pour les catégories de dommages considérées :

- 10 % pour les catégories *Changement climatique* et *Ressources*;
- Un à deux ordres de grandeur pour la catégorie Santé humaine (cette catégorie étant principalement dominée par les catégories d'impacts « effets respiratoires » et « effets cancérigènes et non cancérigènes »);
- Un à deux ordres de grandeur pour la catégorie *Qualité des écosystèmes* (cette catégorie étant principalement dominée par les catégories d'impact « écotoxicité terrestre » et « utilisation des terres », qui sont mal caractérisées dans les modèles actuels).

Ces lignes directrices dépendent toutefois de la corrélation entre les systèmes comparés; deux systèmes fortement similaires en termes des processus inclus dans leurs frontières respectives présentant des écarts inférieurs à ceux exposés ci-dessus peuvent tout de même être considérés comme significativement différents. L'interprétation proposée au chapitre 3 prend donc en compte ces différents aspects.

2.9 Revue critique

Parce que les résultats de cette étude doivent être divulgués publiquement et sont destinés à supporter une affirmation comparative, une revue critique a été réalisée un comité de parties intéressées, c'est-à-dire composé d'un expert ACV et d'autres spécialistes des domaines impliqués dans l'étude.

Le comité de revue critique ayant été formé est composé de trois membres (Tableau 2-20).

Tableau 2-20 : Membres constituants du comité de revue critique

Nom	Organisme d'attache	Implication / Champ d'expertise
François Charron-Doucet	Groupe Agéco	Président du comité de revue, expert ACV
Marlène Hutchison	Cycle Environnement	Réviseur, experte gestion des matières résiduelles
Mylène Fugère	Éco Entreprises Québec	Réviseur, experte récupération, recyclabilité d'emballage

Conformément aux normes ISO 14 040 et 14 044 (2006a, b), les objectifs de la revue critique étaient d'assurer que :

- Les méthodes utilisées par le CIRAIG pour réaliser l'analyse du cycle de vie sont :
 - cohérentes avec la norme internationale ISO 14040 ;
 - valables d'un point de vue technique et scientifique ;
 - appropriées et raisonnables par rapport à l'objectif de l'étude ;
- Les interprétations du CIRAIG reflètent les limitations identifiées et l'objectif de l'étude ;
- Le rapport détaillé est transparent et cohérent.

Les **principales conclusions** du comité de revue critique sont reprises ci-dessous. Pour plus de détails, se référer à l'annexe H.

Le comité de revue critique juge que ce rapport est **conforme aux exigences des normes ISO 14040-44** pour les déclarations comparatives, ainsi qu'aux bonnes pratiques dans le domaine de l'analyse du cycle de vie. Le rapport est également complet et transparent.

Le comité de revue critique tient à souligner l'importance de l'apport de cette étude pour l'analyse des options et technologies qui permettent de réduire l'impact environnemental de l'utilisation de la vaisselle et le traitement des déchets sur les aires de service alimentaire. Cette étude représente également une démonstration de l'importance de prendre en compte l'ensemble du cycle de vie d'un système ou service dans le choix d'options qui visent à réduire les impacts environnementaux.

Le comité voudrait cependant faire une mise en garde additionnelle aux lecteurs et rappeler l'importance de prendre en compte les caractéristiques spécifiques de chaque scénario, produit et technologie qui est analysé ou comparé. À titre d'exemple, le choix des options de vaisselle analysées a été établi de façon à être représentatif des fournisseurs actuels qui « représentent les principaux acteurs nord-américains pour l'approvisionnement des services alimentaires institutionnels ». Les conclusions ne sont donc pas nécessairement applicables à un produit spécifique d'une des catégories de vaisselle évaluées (c.-à-d. lavable, jetable et biodégradable). L'étude permet cependant d'identifier les paramètres clés qui doivent être pris en compte dans

l'évaluation d'une pièce de vaisselle spécifique comme son poids et le lieu et la nature de son processus de fabrication.

Le comité voudrait également souligner que la conclusion qui ne permet pas de départager l'enfouissement du compostage des matières organiques repose sur des paramètres spécifiques à cette étude comme le type et le taux de valorisation du biogaz au site d'enfouissement, la différence de distance de transport entre le site de compostage (121 km) et le site enfouissement (37 km), ainsi que sur le taux de décomposition de la matière organique dans le site d'enfouissement. Sur le dernier point, il existe une incertitude considérable sur cette valeur et l'utilisation d'un taux de décomposition plus élevé (par exemple 84 % au lieu de 27 %) inverserait les conclusions pour l'indicateur *Changement climatique*. Dans ce contexte, cette conclusion est spécifique au cas de la Polytechnique et ne devrait pas être extrapolée à d'autres cas sans une analyse préalable.

3 Résultats et discussion

Ce chapitre couvre les deux dernières phases de l'ACV : c'est-à-dire l'évaluation des impacts du cycle de vie (ÉICV) des systèmes étudiés et l'interprétation des résultats, conformément au cadre méthodologique présenté précédemment.

Les résultats des trois volets sont présentés dans trois sections distinctes. Dans un premier temps, les comparaisons individuelles des différentes options pour chaque pièce de vaisselle à l'étude sont présentées. Par la suite, une analyse de la gestion des matières organiques est réalisée. Finalement, une comparaison des différents scénarios d'approvisionnement en vaisselle et de gestions des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire de Polytechnique est réalisée.

Tous les résultats présentés comprennent les quatre catégories de dommages (*Santé humaine*, *Qualité des écosystèmes*, *Changement climatique* et *Ressources*) de la méthode d'évaluation IMPACT 2002+.

3.1 Volet A : Comparaisons individuelles des pièces de vaisselle à l'étude

3.1.1 Comparaison environnementale des pièces de vaisselle

Pour chaque pièce de vaisselle à l'étude, les différentes options envisagées sont comparées dans les graphiques suivants. Dans tous les cas, chaque option est comparée au produit actuellement utilisé par Aramark Québec (le premier élément dans chaque graphique) et à une option de vaisselle réutilisable (dernier élément), telle qu'identifiée au Tableau 2-2 et prenant en compte son nombre d'utilisations.

L'influence du nombre d'utilisations sur les résultats est ensuite discutée dans une seconde partie. En effet, sur une base unitaire, la production d'une pièce de vaisselle réutilisable obtient des scores environnementaux supérieurs que celle d'une pièce de vaisselle à usage unique. Cependant, la pièce de vaisselle étant réutilisée plusieurs fois, sa production, pour être rapportée à une utilisation, doit être divisée par le nombre d'utilisations. Le lavage, rapporté à une pièce de vaisselle, est ensuite ajouté pour parvenir à la même unité fonctionnelle pour toutes les options de vaisselle (une utilisation). Pour chaque pièce, il est alors possible de calculer le nombre d'utilisations à partir duquel les pièces de vaisselle réutilisable obtiennent des meilleurs scores environnementaux que celles à usage unique.

3.1.1.1 Assiettes

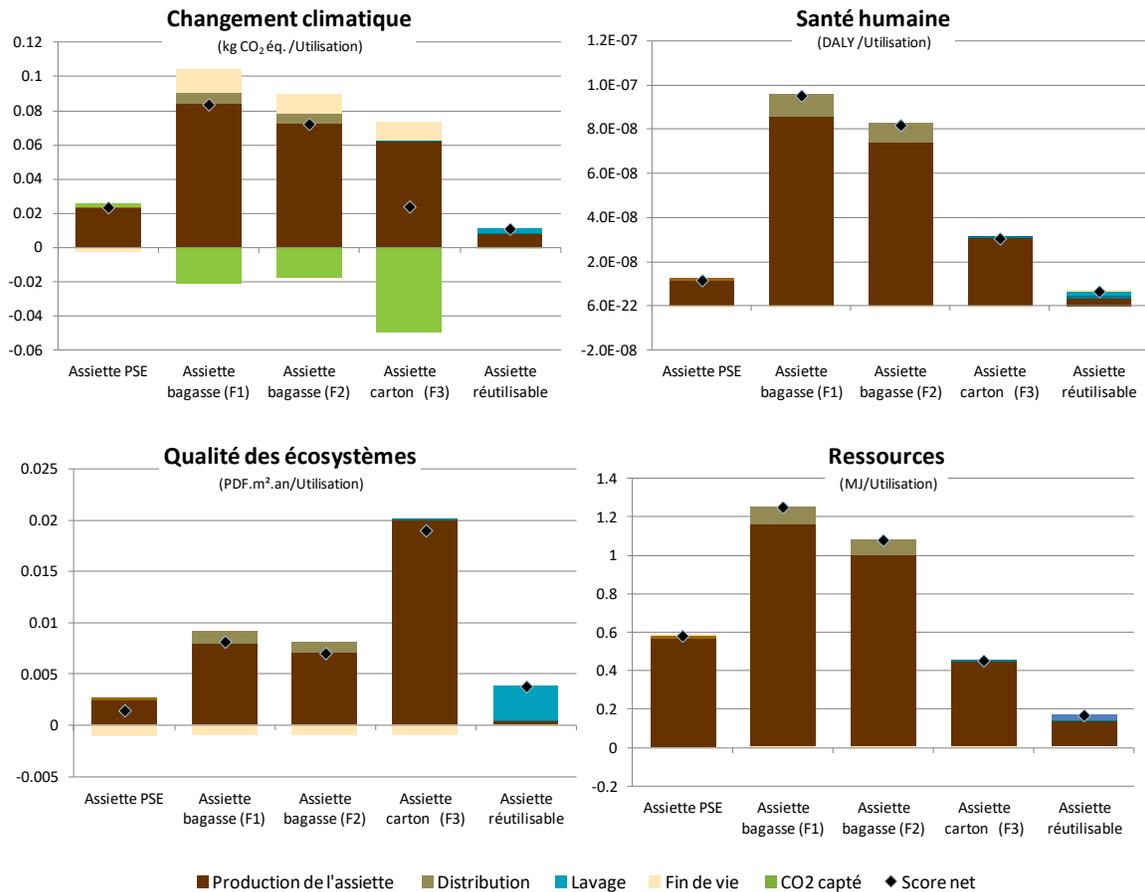


Figure 3-1 : Comparaison des scores environnementaux relatifs au cycle de vie d'une assiette (méthode IMPACT 2002+).

Comparaison entre les options à usage unique

Pour les quatre options de vaisselle à usage unique à l'étude, c'est l'étape de production de la pièce de vaisselle (approvisionnement en matériaux et énergie pour la production) qui est la principale contributrice. L'étape de distribution a une contribution assez faible (entre 1 % et 16 % selon l'option et la catégorie d'impact), avec une part plus importante pour les options fabriquées en Chine (assiettes en bagasse des fournisseurs F1 et F2) par rapport à celles produites en Amérique du Nord. Le faible crédit visible pour la catégorie *Qualité des écosystèmes* provient du recyclage des cartons d'emballages.

La fin de vie (enfouissement ou compostage selon l'option) présente une très petite contribution pour toutes les options, à l'exception de la catégorie de dommage *Changement climatique*. Pour cette catégorie, les trois options de vaisselle biodégradable considérées sont sources d'émissions de CO₂ et CH₄ biogéniques lors de leur compostage. En comparaison, le PSE ou la céramique étant stables suite à l'enfouissement, ces matériaux ne présentent pas d'émissions significatives de gaz à effet de serre associées à leur dégradation.

Pour la catégorie de dommage *Changement climatique*, les options biodégradables présentent un crédit lié à la captation de CO₂ lors de la croissance des plantes à l'origine de leur matière première (cane à sucre pour la bagasse ou différents arbres pour le carton). Ce crédit est proportionnel à la masse de matière utilisée : il est donc plus faible pour l'assiette en bagasse du fournisseur F2 par rapport à celle du fournisseur F1, car elle est plus légère. Entre les options en bagasse et celle en carton, le crédit est supérieur pour celle en carton bien que la masse des assiettes soit similaire. Ceci est dû à l'utilisation plus importante de combustibles biogéniques (résidus de l'exploitation forestière et liqueur noire) dans le cycle de production du carton. Les émissions biogéniques associées à ces combustibles sont comptabilisées dans l'étape de production.

À la vue de la comparaison des impacts potentiels, l'assiette de référence en PSE (qui correspond à l'option actuellement utilisée) semble être la meilleure des options parmi les options de vaisselle à usage unique étudiées en ce qui a trait aux catégories *Santé humaine* et *Qualité des écosystèmes*. Son score pour la catégorie *Changement climatique* est similaire (2 % d'écart) à celui de l'option en carton, et celui pour la catégorie *Ressources* est par contre supérieur à celui de l'option en carton (22 % d'écart). Il n'est donc pas possible de départager de façon globale les options en PSE et en carton d'après les résultats obtenus.

Entre les options biodégradables, les options en bagasse présentent des scores plus élevés que celle en carton en ce qui a trait aux catégories *Changement climatique*, *Santé humaine* et *Ressources*. Ceci est principalement dû à l'énergie nécessaire à la production des pièces. À l'inverse, pour la catégorie *Qualité des écosystèmes*, l'option en carton présente un score plus élevé, lié à une plus grande occupation des terres lors de la croissance des arbres fournissant les fibres utilisées pour produire le carton. Cette donnée de production de bois étant incertaine et peu représentative du contexte, aucune conclusion claire ne peut être prise sur cet indicateur. À noter que la différence de score pour les assiettes en bagasse produites par les fournisseurs F1 et F2 provient principalement de la masse plus faible de l'assiette de la première compagnie ; leur production étant similaire et considérée comme ayant lieu en Chine.

Comparaison avec l'option réutilisable

Dans les résultats présentés à la Figure 3-1, il a été posé que l'assiette de céramique était réutilisée 500 fois avant d'être brisée ou perdue. En considérant cette hypothèse, l'assiette de céramique est préférable à toutes les options de vaisselle à usage unique en ce qui a trait aux catégories *Changement climatique*, *Santé humaine* et *Ressources*. Pour la catégorie *Qualité des écosystèmes*, les scores étant proches entre l'assiette réutilisable et celle en PSE, l'incertitude reliée aux données et aux modèles de caractérisation ne permet pas de conclure.

Du point de vue de la contribution des différentes étapes aux scores obtenus, l'étape de production de l'assiette réutilisable, liée à la production de la céramique et sa mise en forme, est la plus grande contributrice (entre 54 % et 81 %) pour les catégories *Changement climatique*, *Santé humaine* et *Ressources*. L'étape de lavage de la vaisselle présente une contribution plus faible pour ces trois catégories (entre 16 % et 36 %). À l'inverse, elle contribue majoritairement à la catégorie *Qualité des écosystèmes*, via la catégorie d'impact *Écotoxicité terrestre*, en lien avec l'électricité consommée par le lave-vaisselle. Cette catégorie problème est source d'incertitude importante, il n'est donc pas possible de départager sur la base de cette catégorie de dommage.

La

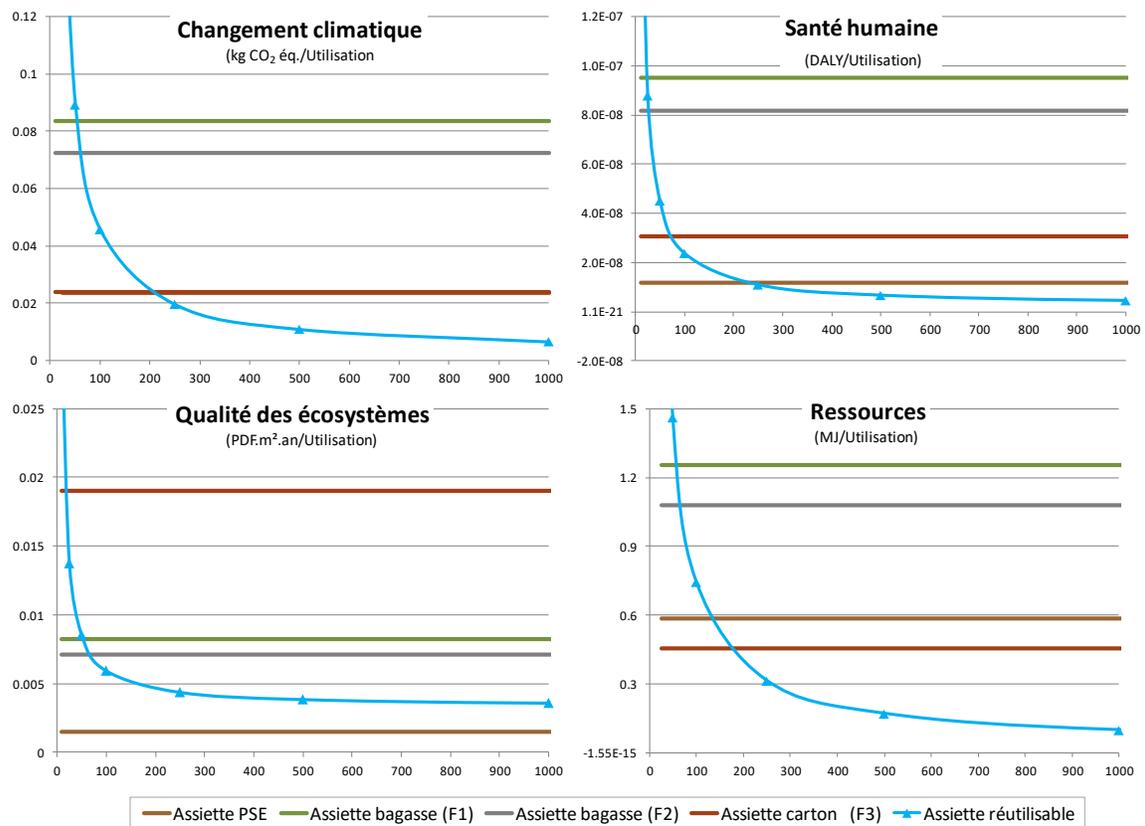


Figure 3-2 présente l'influence du nombre d'utilisations sur les résultats. Il en ressort que l'assiette en céramique devient avantageuse en ce qui a trait aux catégories *Changement climatique*, *Santé humaine* et *Ressources* dès qu'elle est réutilisée plus de 250 fois environ. À cause des incertitudes liées à la catégorie *Qualité des écosystèmes*, il n'est pas possible de déterminer un nombre minimal de réutilisations pour cette dernière.

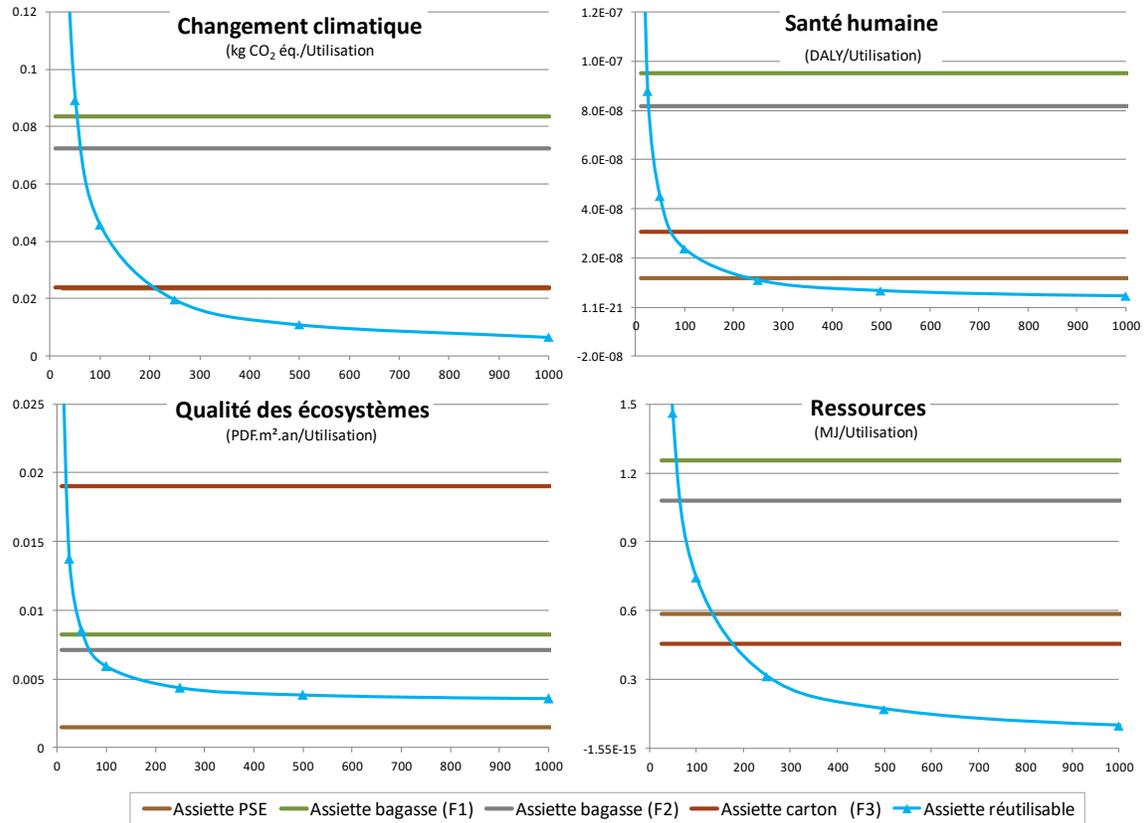


Figure 3-2 : Influence du nombre d'utilisations de l'assiette réutilisable sur les scores environnementaux et la comparaison avec les options à usage unique (méthode IMPACT 2002+).

3.1.1.2 Bols de 8 oz et 12 oz

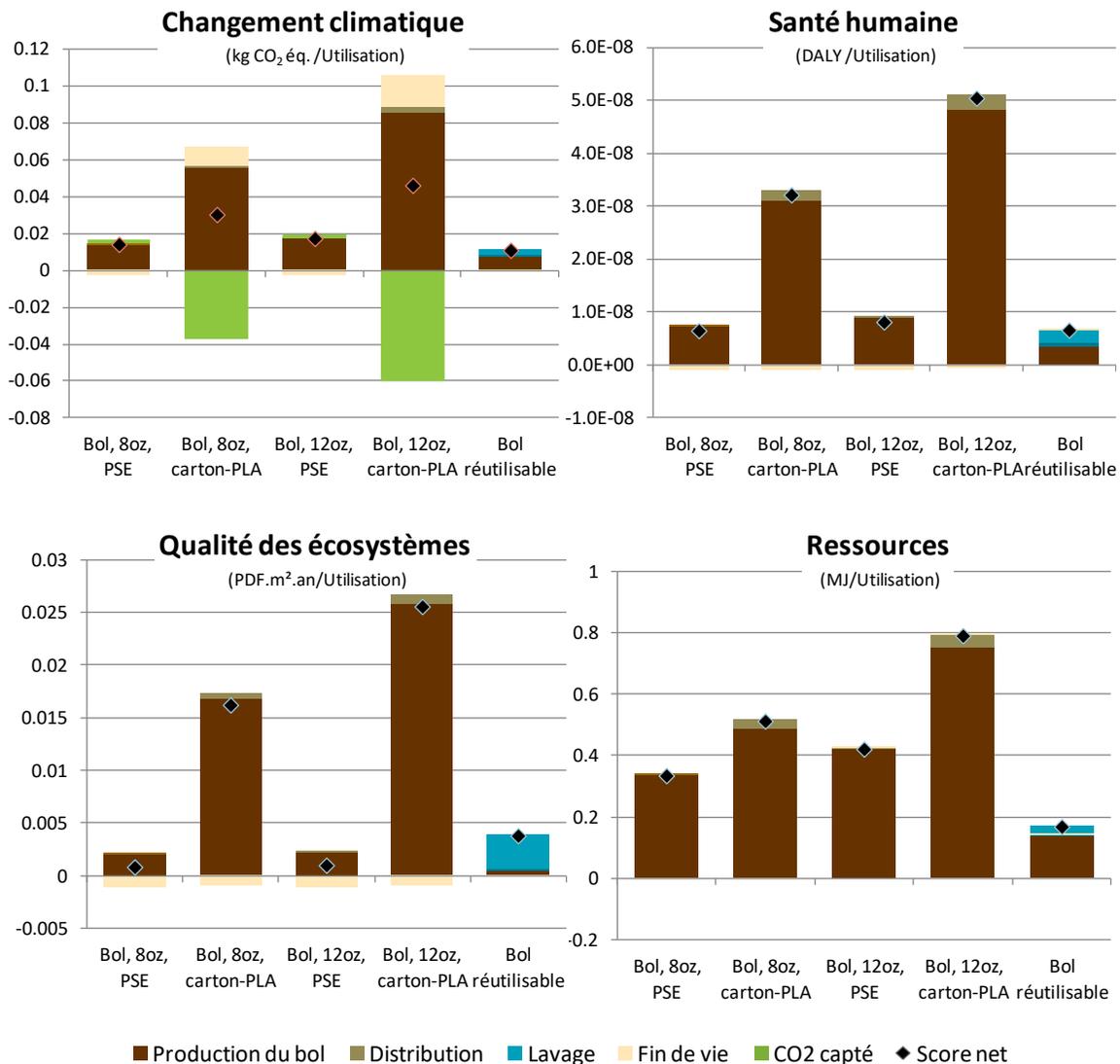


Figure 3-3 : Comparaison des scores environnementaux relatifs au cycle de vie des bols (méthode IMPACT 2002+).

Comparaison entre les options à usage unique

Les bols de référence en polystyrène expansé (PSE) utilisés actuellement semblent être préférables aux bols en papier-PLA proposés par le fournisseur F1. Pour les quatre catégories de dommages considérées, indépendamment de la taille du bol, les scores sont de 35 % à 95 % plus faibles pour l'option en PSE que pour l'option en papier-PLA.

En ce qui concerne l'analyse de contribution, les conclusions sont similaires à celles pour les assiettes, avec une contribution majoritaire de l'étape de production.

Comparaison avec l'option réutilisable

Dans les résultats présentés à la Figure 3-3, il a été posé que le bol en céramique était réutilisé 500 fois avant d'être brisé ou perdu. En considérant cette hypothèse, le bol en céramique est préférable aux options de vaisselle à usage unique en ce qui a trait aux catégories *Changement climatique* et *Ressources*. Pour les catégories *Santé humaine* et *Qualité des écosystèmes*, les scores sont trop proches entre les options en PSE et celle en céramique pour pouvoir conclure à cause des incertitudes liées aux modèles de caractérisation.

La

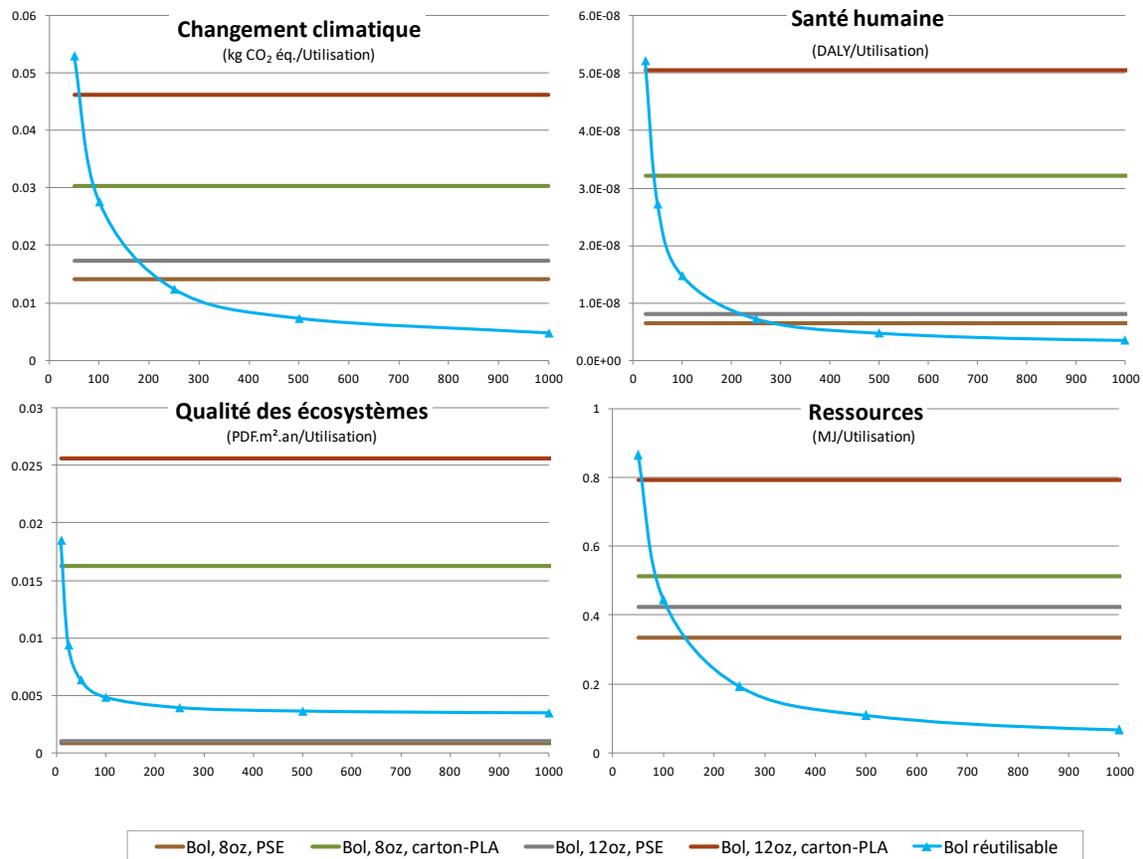


Figure 3-4 présente l'influence du nombre d'utilisations sur les résultats. Le bol en céramique devient avantageux pour les catégories *Changement climatique* et *Ressources* dès qu'il est réutilisé plus de 200 fois environ. À cause des incertitudes liées aux catégories *Santé humaine* et *Qualité des écosystèmes*, il n'est pas possible de déterminer un nombre minimal de réutilisations pour ces dernières.

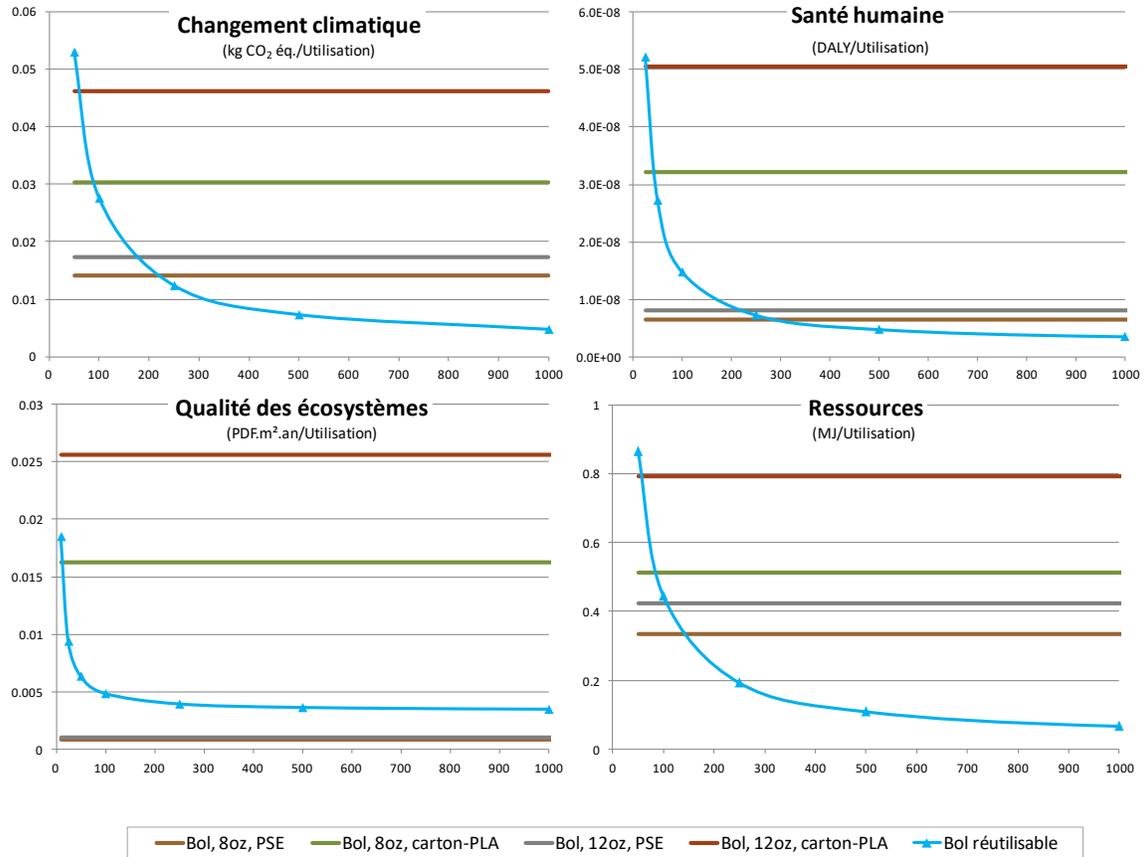


Figure 3-4 : Influence du nombre d'utilisations du bol réutilisable sur les scores environnementaux et la comparaison avec les options à usage unique (méthode IMPACT 2002+).

3.1.1.3 Gobelets de 8 oz et 12 oz

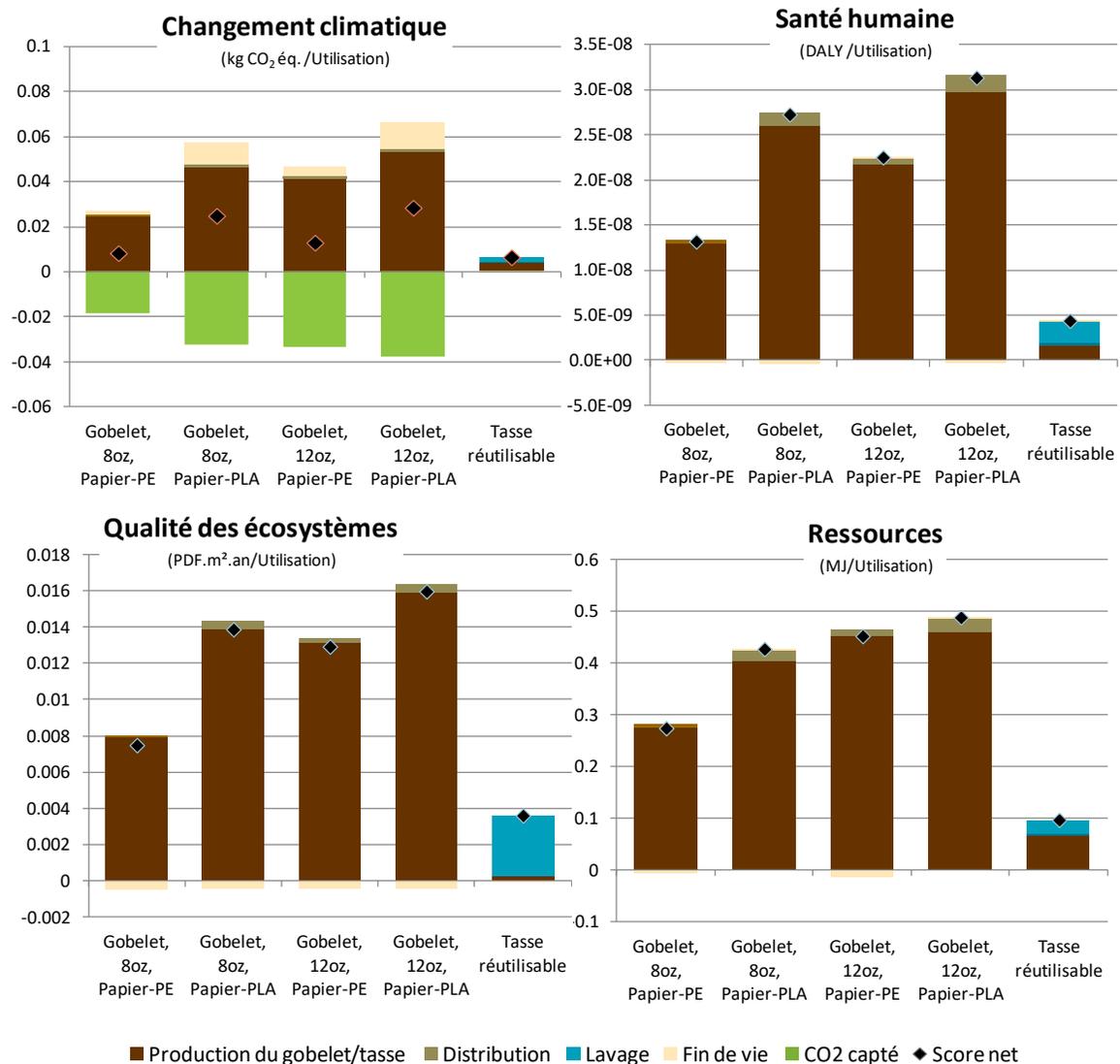


Figure 3-5 : Comparaison des scores environnementaux relatifs au cycle de vie d'un gobelet ou d'une tasse (méthode IMPACT 2002+).

Comparaison entre les options à usage unique

Les résultats présentés à la Figure 3-5 pour les gobelets à usage uniques sont semblables à ceux obtenus pour les options de bols (Figure 3-3).

Les gobelets en papier-PE utilisés actuellement semblent être une meilleure option par rapport aux gobelets en carton/PLA proposés par le fournisseur F1. Pour les quatre catégories présentées, pour des tailles de gobelet identiques, les scores sont plus faibles de 7 % à 67 % pour l'option en papier-PE que pour l'option en papier-PLA.

L'analyse de contribution donne des résultats similaires que pour les autres types de pièces de vaisselle à l'étude. À noter pour la catégorie *Changeement climatique*, la contribution visible de la fin de vie des options en papier-PE qui correspond aux émissions de GES associées à la

dégradation du papier en site d'enfouissement. Le plastique ayant un taux de dégradation négligeable (1 % sur 100 ans dans les données utilisées, contre 27 % pour le papier), cette contribution n'est pas visible pour les pièces non biodégradables en PSE comme les bols ou assiettes.

En outre, l'option actuelle (papier-PE) présente elle-aussi un crédit de CO₂ pour la catégorie *Changement climatique* car elle est majoritairement faite d'un matériau biosourcé (le papier).

Comparaison avec l'option réutilisable

Dans les résultats présentés à la Figure 3-5, il a été posé que la tasse en céramique était réutilisée 500 fois avant d'être brisée ou perdue. En considérant cette hypothèse, la tasse en céramique réutilisable est la meilleure option par rapport aux options de vaisselle à usage unique, et ce pour les quatre catégories de dommages considérées.

La Figure 3-6 présente l'influence du nombre d'utilisations sur les résultats. Il en ressort que la tasse en céramique devient avantageuse pour toutes les catégories dès qu'elle est réutilisée plus de 350 fois environ.

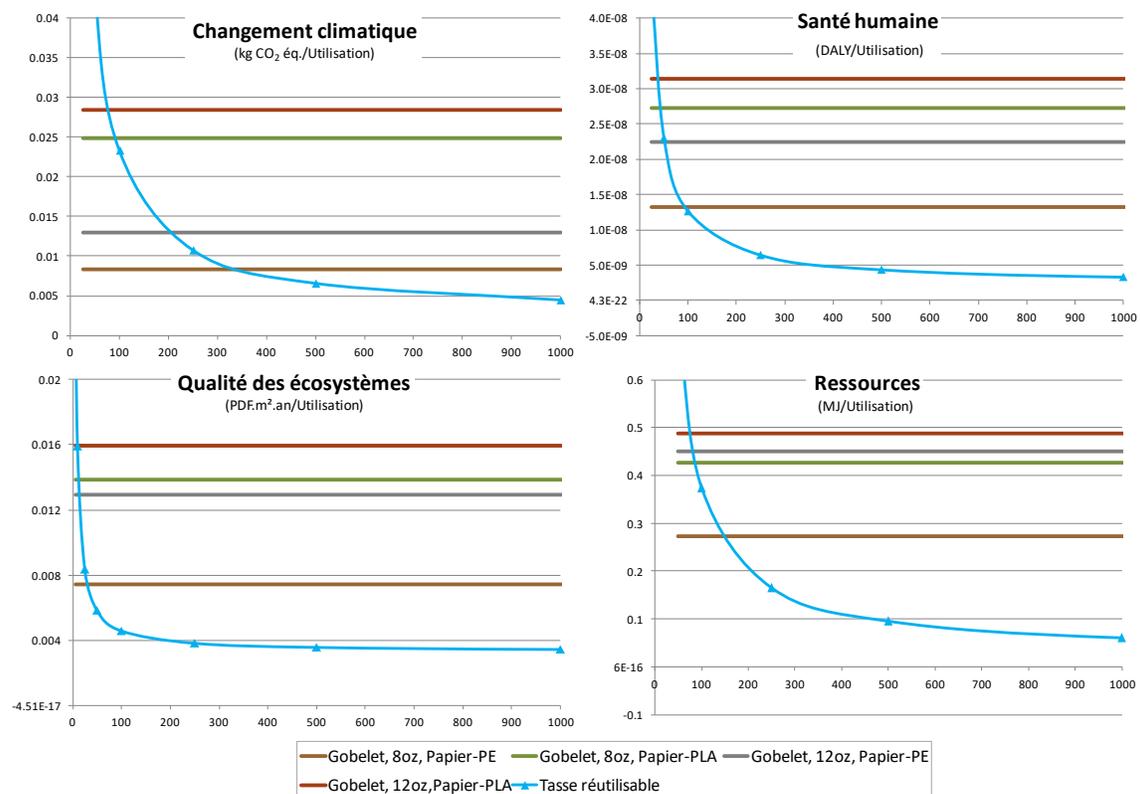


Figure 3-6 : Influence du nombre d'utilisations de la tasse réutilisable sur les scores environnementaux et la comparaison avec les options à usage unique (méthode IMPACT 2002+).

3.1.1.4 Couteau

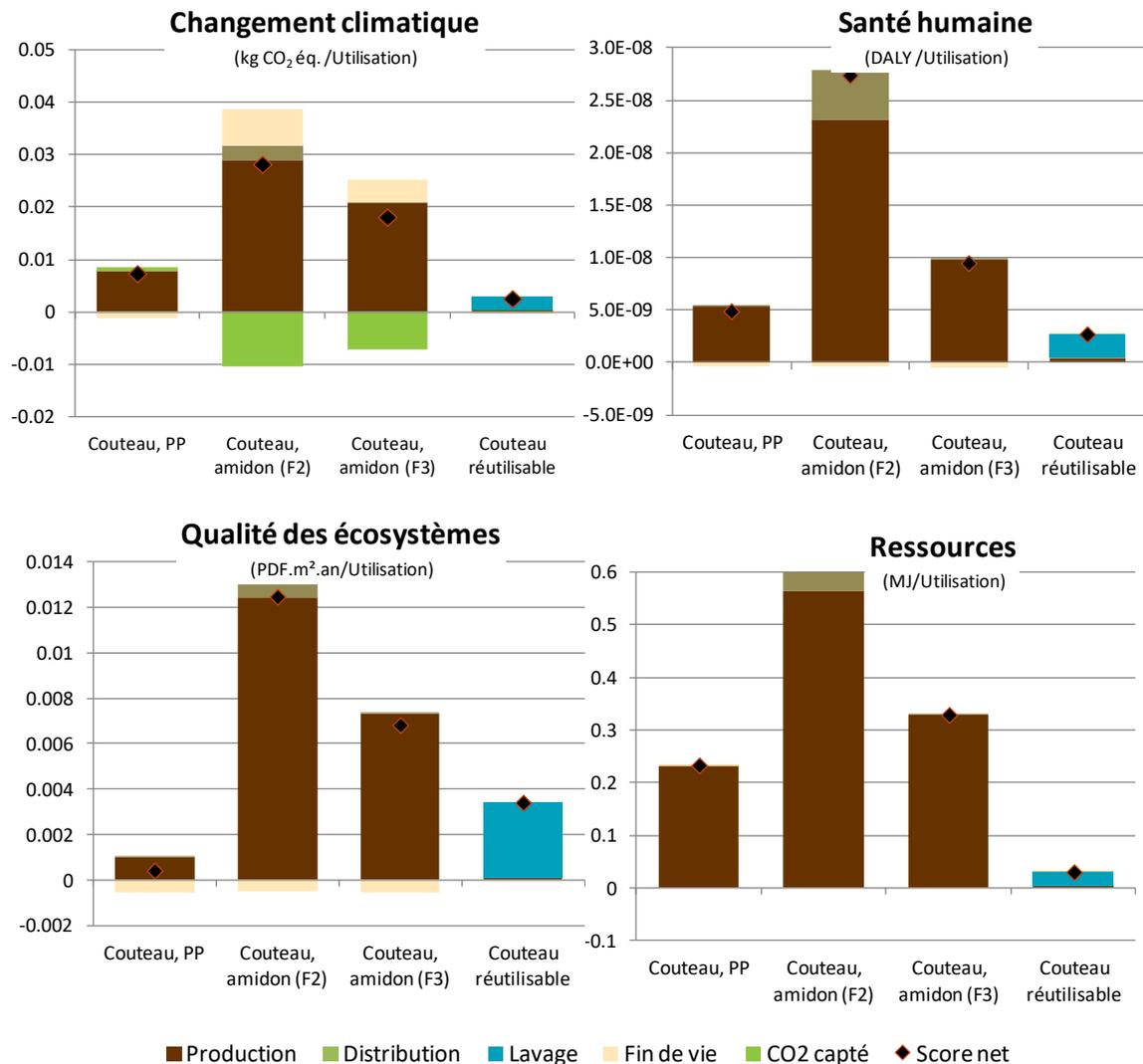


Figure 3-7 : Comparaison des scores environnementaux relatifs au cycle de vie d'un couteau (méthode IMPACT 2002+).

Comparaison entre les options à usage unique

Un couteau en PP fabriqué chez le fournisseur F1, qui correspond à l'option actuellement utilisée, semble être une meilleure option aux autres options de vaisselle à usage unique en amidon de maïs. Pour les quatre catégories de dommages considérées, les scores sont plus faibles de 29 à 97 % pour l'option en PP que pour les options en amidon.

Le couteau en amidon fabriqué par l'entreprise F3, située aux USA, présente des scores plus faibles que celui dans le même matériau fabriqué par la compagnie F2 en Chine. Cette différence provient principalement de la différence de masse entre les deux produits (celui produit par F3 est plus léger).

Comparaison avec l'option réutilisable

Dans les résultats présentés à la Figure 3-7, il a été posé que le couteau d'acier était réutilisé 800 fois avant d'être brisé ou perdu. En considérant cette hypothèse, le couvert réutilisable est nettement la meilleure option par rapport aux options à usage unique en ce qui a trait aux catégories *Changement climatique*, *Santé humaine* et *Ressources*. À l'inverse, elle contribue majoritairement à la catégorie *Qualité des écosystèmes*, via la catégorie d'impact *Écotoxicité terrestre*, en lien avec l'électricité consommée par le lave-vaisselle. Cette catégorie problème est source d'incertitude importante, il n'est donc pas possible de départager sur la base de cette catégorie de dommage.

La Figure 3-8 présente l'influence du nombre d'utilisations sur les résultats. Il en ressort, en excluant la catégorie *Qualité des écosystèmes*, que le couteau en acier inoxydable devient avantageux dès qu'il est réutilisé plus de 150 fois environ.

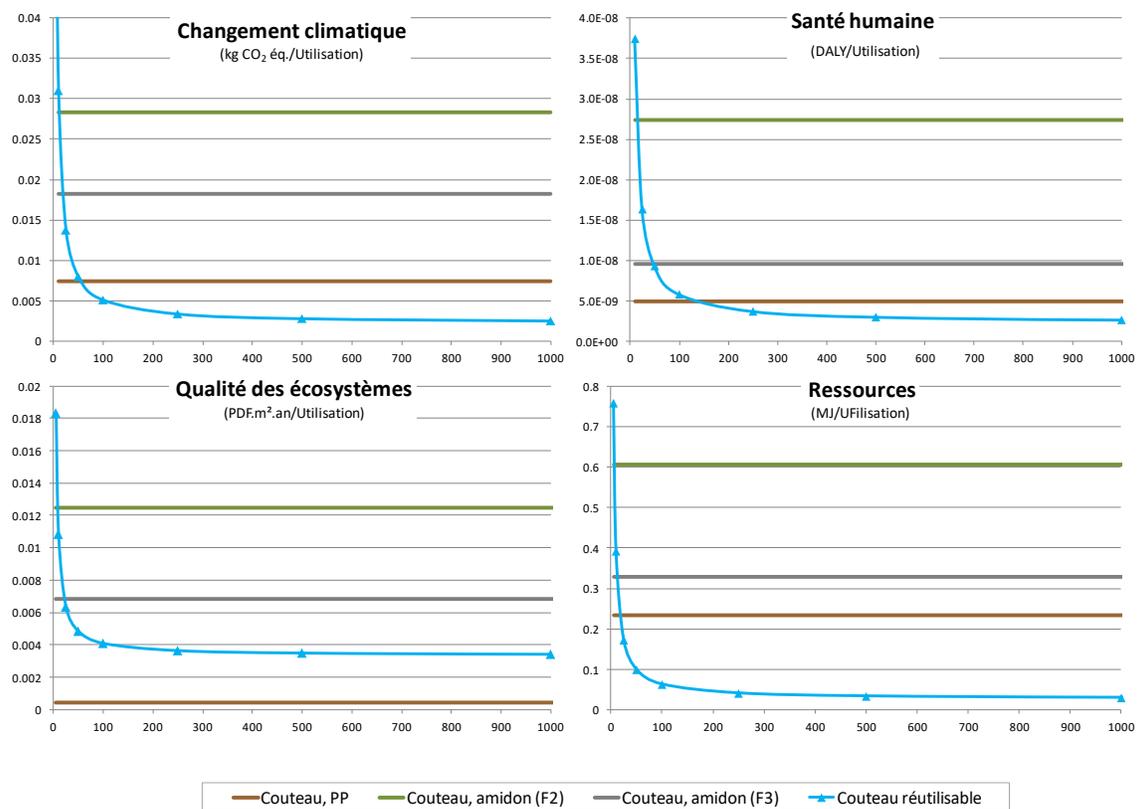


Figure 3-8 : Influence du nombre d'utilisations du couteau réutilisable sur les scores environnementaux et la comparaison avec les options à usage unique (méthode IMPACT 2002+).

3.1.1.5 Autres pièces de vaisselle

Pour les autres pièces de vaisselle à l'étude (coquilles, verre, couvercles et autres couverts), les résultats sont similaires à ceux présentés dans les sections 3.1.1.1 à 3.1.1.4. Ils sont détaillés en annexe E.

3.1.2 Qualité des données d'inventaire

Les résultats de l'analyse de la qualité des données d'inventaire sont résumés à l'Annexe D du présent rapport.

À partir de ces analyses, il a été possible de constater que dans l'ensemble, les données employées pour l'analyse sont jugées acceptables. Certains processus présentent cependant une forte contribution aux scores environnementaux des systèmes et ont été modélisés à l'aide de données dont la qualité pourrait être améliorée. Ces processus représentent par le fait même une limite à l'étude et diminuent la certitude avec laquelle les conclusions peuvent être tirées.

Les principales données à améliorer pour augmenter la robustesse des résultats sont liées aux processus/paramètres suivants :

- Processus de production des plastiques (PSE, PP) : les données sont issues de la base de données *ecoinvent* et disponibles sous une forme agrégée⁵. Il n'a donc pas été possible d'adapter les données (en particulier le mix énergétique) au contexte de l'étude (Amérique du Nord), ni d'effectuer une analyse de contribution détaillée.
- Production et mise en forme de la bagasse : la donnée représentant la production de bagasse disponible dans la base de données *ecoinvent* a été produite au moyen d'une allocation économique des entrants et sortants de la transformation de la canne à sucre entre ses différents coproduits, soit du bioéthanol, du sucre, de l'électricité et de la bagasse. Cette approche de modélisation n'a pas été modifiée. De plus, les informations sur la mise en pâte de la bagasse pour la production des pièces de vaisselle proviennent d'une étude de Harnoto (2013), elle-même basée sur une étude modélisant l'utilisation de bagasse dans un contexte de production de vaisselle. L'étude initiale n'étant pas disponible, l'utilisation de cette donnée reste incertaine.
- La masse de carton d'emballage pour la distribution des pièces de vaisselle est basée sur une donnée générique de la littérature. Elle pourrait être raffinée auprès des fournisseurs pour mieux correspondre au contexte de l'étude, sa contribution étant parfois significative. Le nombre de pièces par carton est quant à lui basé sur des données disponibles sur les sites internet des fournisseurs.

Certains de ces processus, jugés particulièrement influents sur les résultats, ont été testés en analyse de sensibilité.

⁵ C'est-à-dire que tous les flux de chacune des substances puisées et émises à l'environnement depuis l'extraction des matières premières jusqu'à la sortie des granules de plastique de l'usine ont été agrégés ensemble. Il n'est donc pas possible de connaître et modifier les données pour chaque sous-étape (extraction du pétrole, transport, production du plastique, ...).

3.1.3 Analyses de sensibilité

3.1.3.1 Production au Québec des assiettes à usage unique

Rappel : Les différentes options de pièces de vaisselle à l'étude sont principalement produites en Chine ou en Amérique du Nord, mais hors du Québec. Ceci implique des distances de transport importantes entre le lieu de production et Polytechnique, ainsi que l'utilisation d'un mix électrique plus polluant que le mix québécois. Cette analyse de scénario vise à étudier l'influence d'une production au Québec des options de pièces de vaisselle à usage unique (seul le cas des assiettes est traité). Par rapport aux données initiales, les distances de distribution sont diminuées à 50 km (production proche de Montréal) et le mix électrique utilisé à l'avant-plan est remplacé avec celui du Québec. Aucune nouvelle hypothèse n'est faite sur les distances d'approvisionnement en matériaux (transport de pré-production sur 100 km), bien que dans le cas d'une production québécoise, l'approvisionnement de plusieurs matériaux, comme par exemple la bagasse, puisse provenir d'une distance plus éloignée.

Les résultats de cette analyse de sensibilité sont présentés dans la Figure 3-9.

Le fait de changer le lieu de production des assiettes pour le Québec réduit les scores environnementaux des trois options de vaisselle à usage unique considérée. La réduction la plus importante a lieu pour l'option en bagasse (-40 % à -66 % des scores selon la catégorie considérée) car c'est l'option pour laquelle la consommation d'énergie lors de la production a la plus grande contribution. La diminution des distances de transport joue aussi un rôle dans cette réduction des scores. Cette diminution ne rend néanmoins pas l'option en bagasse préférable à celle en carton pour les catégories *Changement climatique*, *Santé humaine* et *Ressources*. À cause des incertitudes liées à la catégorie *Qualité des écosystèmes*, il n'est pas possible de conclure pour cette dernière.

Pour la catégorie *Changement climatique*, l'option en carton produite au Québec présente un score plus faible de 34 % par rapport à l'option en PSE produite hors du Québec, et de 22 % par rapport à celle en PSE produite au Québec. Elle apparaît donc préférable à toutes les autres options pour cette catégorie.

Pour la catégorie *Ressources*, le score de l'option en carton reste inférieur à celui de l'option en PSE et dans les catégories *Santé Humaine* et *Qualité des écosystèmes*, c'est toujours celui de l'option en carton qui est supérieur à celui de celle en PSE.

Les conclusions de la section 3.1.1.1 ne sont donc pas modifiées par cette variation du lieu de production. Néanmoins, l'option en carton produite au Québec apparaît comme préférable pour les deux catégories où l'incertitude associée à l'inventaire et aux modèles de caractérisation est la plus faible (*Changement climatique* et *Ressources*). Dans la catégorie de dommage *Qualité des écosystèmes*, et dans celle *Santé humaine*, dominée au niveau problème par la catégorie *Effets respiratoires*, l'option en PSE reste favorable. Le choix d'une option préférable entre le PSE et le carton varie donc selon la catégorie considérée pour les pièces fabriquées au Québec.

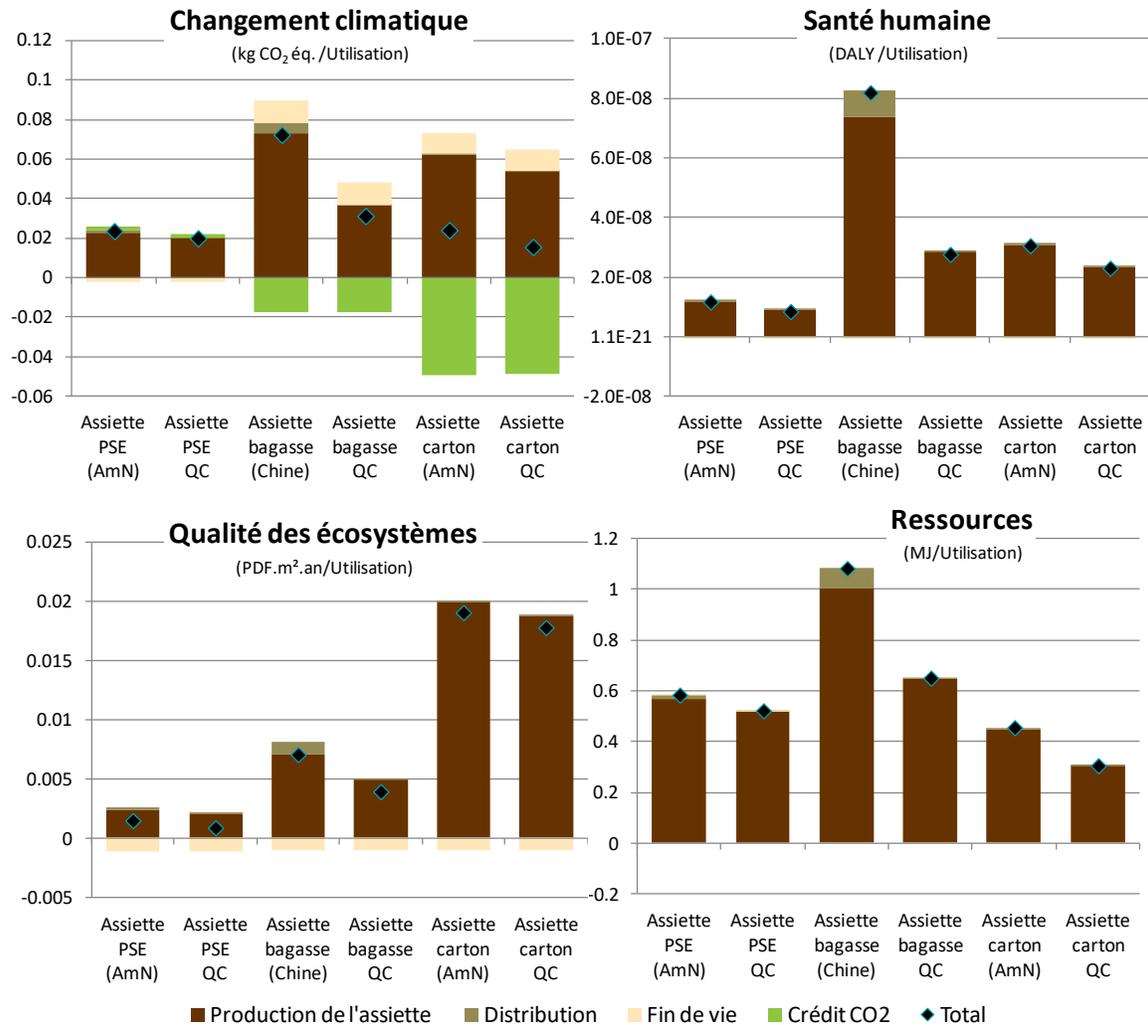


Figure 3-9 : Analyse de scénario – Influence du lieu de production des pièces de vaisselle (méthode IMPACT 2002+).

3.1.3.2 Énergie pour la production des pièces en bagasse

Rappel : La donnée utilisée pour modéliser la mise en forme des pièces en bagasse provient de l'étude de Harnoto (2013), qui se base sur une étude effectuée en 2003 pour un fabricant de vaisselle en bagasse. Cette étude de référence n'étant cependant pas disponible, les sources exactes et hypothèses effectuées n'ont pas pu être vérifiées. La consommation énergétique pour la mise en forme des pièces est de 5,75 kWh/lb de bagasse dans la donnée de Harnoto (répartie entre gaz naturel et électricité). Peu d'information est disponible dans la littérature à ce sujet mais un fabricant de vaisselle biodégradable (WorldCentric, 2015) cite une valeur de 3,64 kWh/lb, sans préciser les sources d'énergie associées. En comparaison, l'énergie de production des pièces en PSE est par exemple de 1,7 kWh/lb. Face au peu de données complètes disponibles, l'influence sur les résultats d'une diminution de 50 % de l'énergie pour la mise en forme des pièces de bagasse a été testée pour l'assiette du fournisseur F2.

Les résultats sont disponibles en annexe E. Il en ressort une diminution de 24 % à 47 % des scores environnementaux des assiettes en bagasse selon la catégorie. Cette diminution n'est cependant pas suffisante pour que l'assiette en bagasse ne devienne préférable à celle en PSE, ni pour que les conclusions entre l'assiette en bagasse et celle en carton ne soient inversées. Les conclusions de la section 3.1.1.1 ne sont donc pas modifiées par cette analyse de sensibilité.

3.1.3.3 Distances de transport pour l'approvisionnement en matériaux

Rappel : Aucune donnée n'étant disponible sur l'approvisionnement en matières premières des sites de production des pièces de vaisselle, une distance par défaut de 100km a été supposée dans l'analyse. Pour tester l'influence de cette hypothèse, cette distance de transport a été changée à 2000 km pour les différentes options d'assiettes.

Les résultats sont disponibles en annexe E. On observe une augmentation des scores environnementaux comprise entre 2 % et 20 % selon l'option et la catégorie considérées, qui se traduit par des scores légèrement plus importants pour l'étape de production. La hiérarchie des options n'étant cependant pas changée, les conclusions de la section 3.1.1.1 ne sont donc pas modifiées.

3.1.4 Comparaison avec la revue de littérature

Les conclusions obtenues sont en accord avec les résultats publiés dans la littérature et soulignent en particulier les points suivants :

- **L'influence de la masse des pièces de vaisselle sur les résultats.** Les pièces de vaisselle à usage unique biodégradables sont plus lourdes que leurs options non biodégradables. Ceci implique donc une quantité plus importante de matériaux nécessaire à leur production qui, même si ces derniers obtiennent souvent des scores environnementaux inférieurs par kilogramme, résulte en des scores finaux plus élevés par unité fonctionnelle. De plus, l'énergie de mise en forme des matériaux en pièces de vaisselle étant souvent proportionnelle à la masse des matériaux, sa contribution est également plus importante pour les options biodégradables. La différence de masse joue aussi sur le transport lors de l'étape de distribution, même si elle ne présente dans cette étude qu'une faible contribution aux scores pour le cycle de vie complet des pièces. Par ailleurs, dans cette étude, la différence quant à l'étape de distribution entre les options biodégradables et non biodégradables tient plutôt au fait que les options biodégradables sont principalement fabriquées en Chine alors que les options non biodégradables le sont en Amérique du Nord.
- **Les données utilisées pour les matériaux.** Les données de production des matériaux sont issues de bases de données génériques. Elles sont ainsi fournies sous forme agrégée (pour les données de plastique par exemple) ou basées sur des approches de modélisation propres à la base de données (allocation économique de l'inventaire pour la donnée sur la bagasse par exemple). Ces dernières sont une limite à la généralisation des résultats, même s'il n'a pas été possible d'en tester l'influence.
- **Le nombre d'utilisations pour l'option réutilisable.** Les pièces de vaisselle réutilisable deviennent souvent préférables à partir d'un nombre minimal d'utilisations, la production de la pièce étant amortie sur toutes celles-ci. Ce nombre varie selon les catégories de dommages et les pièces à l'étude.

- **Le rôle du lavage des pièces.** Le mode de lavage des pièces de vaisselle réutilisable et sa modélisation peut influencer sur les résultats. Un lavage en lave-vaisselle industriel permet d'optimiser les consommations d'eau, de nettoyants et d'énergie. Aucune analyse considérant un lavage manuel n'a été effectuée dans cette étude, mais la part importante des scores associée au lavage des pièces réutilisables pour les quatre catégories de dommages considérées confirme la sensibilité de ce paramètre.

Globalement, on retient que...

- Les pièces de vaisselle actuellement achetées par la cafétéria de Polytechnique sont le plus souvent environnementalement préférables aux options en matériaux biodégradables proposées par les fournisseurs d'Aramark Québec et évaluées dans le cadre de cette étude. Cet avantage tient principalement à des pièces plus légères et fabriquées au Québec ou en Amérique du Nord, impliquant l'utilisation d'énergie électrique moins polluante et des distances de transport moindres que la vaisselle biodégradable principalement produite en Asie. Néanmoins, il n'est pas possible de départager de façon globale les options d'assiettes en PSE et en carton chacune étant l'option préférable pour au moins une des quatre catégories de dommages considérées. Des conclusions similaires sont observées pour les différents types de coquilles.
- Parmi les matériaux alternatifs comparés pour les contenants, l'option en carton est souvent préférable à celle en bagasse : elle l'emporte pour trois des quatre catégories de dommages considérées.
- Les options de vaisselle réutilisable sont toujours nettement préférables aux options de vaisselle à usage unique en ce qui a trait aux catégories *Changement climatique*, *Santé humaine* et *Ressources*, et ce, dès que les pièces sont utilisées plus de 300 fois. Pour la catégorie *Qualité des écosystèmes*, dominée pour les options réutilisables par la catégorie de problème *Écotoxicité terrestre*, les résultats sont plus nuancés et trop incertains pour en tirer des conclusions nettes. À long terme, il semble néanmoins préférable de s'orienter vers l'option de vaisselle réutilisable.
- L'utilisation d'un produit fabriqué au Québec est souvent avantageuse grâce au mélange d'approvisionnement électrique québécois moins polluant et à la réduction des distances de transports.

3.2 Volet B : Gestion de la fin de vie des résidus alimentaires

3.2.1 Comparaison environnementale des options de gestion en fin de vie des résidus alimentaires

Après leur utilisation, les pièces de vaisselle sont généralement souillées par des restes de nourriture qui se retrouvent mélangés avec elles lors de leur disposition dans les poubelles de la cafétéria. Or, cette matière organique a un impact différent selon son mode d'élimination en fin de vie. La Figure 3-10 présente la comparaison entre l'élimination de matière organique dans un site d'enfouissement technique, par compostage ou par décomposition catalytique par micro-ondes.

De manière générale, c'est l'option de décomposition catalytique par micro-ondes des matières organiques qui présente les résultats les plus avantageux. Le traitement étant effectué sur place, il n'y a aucune contribution associée au transport des matières organiques avant leur traitement. De plus, la valorisation des coproduits de la décomposition se traduit par d'importants crédits environnementaux conduisant à des scores nets négatifs pour la décomposition catalytique pour les catégories de dommages autres que *Qualité des écosystèmes*. Tel que décrit dans le rapport spécifique à cette technologie (CIRAIG, 2014), les crédits sont principalement liés aux productions évitées de gaz naturel et de diesel. Dans le cas de l'enfouissement et du compostage, les crédits sont assez faibles et, à l'exception de la catégorie *Ressources* pour l'enfouissement, ne compensent pas de façon notable les contributions du transport des matières organiques et de leur traitement. La question des crédits est basée sur plusieurs hypothèses qui sont discutées dans les analyses de sensibilité présentées à la sous-section 3.2.3.

À noter que, pour la catégorie *Qualité des écosystèmes*, la contribution importante de l'étape de traitement des matières pour le scénario de décomposition catalytique est due à la consommation d'électricité lors de l'opération de l'unité de traitement. Des émissions de métaux dans le sol reliées aux lignes de distribution d'électricité (cuivre et chrome VI notamment, associés à la solution de traitement des poteaux de bois) contribuent de manière importante au score de l'indicateur *Écotoxicité terrestre*, mais l'incertitude associée est élevée. Il n'est donc pas possible de conclure quant à la comparaison des trois options de fin de vie des matières organiques pour cette catégorie.

En excluant la décomposition catalytique, il ressort que l'enfouissement semble une option préférable au compostage pour les catégories de dommages *Changement climatique* et *Ressources*, l'écart entre ces deux options étant de plus de 10 %. Pour les catégories de dommage *Qualité des écosystèmes* et *Santé humaine*, les scores sont trop proches pour être départagés, à cause de l'incertitude associée à ces catégories. Tel que mentionné dans le paragraphe 2.8.5, les écarts dans ces deux catégories de dommage doivent être de plus d'un ou deux ordres de grandeur pour être significatifs, ce qui n'est pas le cas ici. Pour plus de détails sur les résultats, se référer à l'annexe E.

Pour les trois options à l'étude, une même contribution négative liée à la captation de dioxyde de carbone lors de la croissance des plantes à l'origine des matières organiques est incluse. Par conséquent, comme une partie de ce carbone capté n'est pas réémis suite à l'enfouissement (un taux de dégradation de 27 % est supposé pour les matières organiques) ou au compostage (une partie du carbone se retrouve dans le compost et va s'y retrouver séquestré), le score total pour la catégorie *Changement climatique* pour ces deux options est négatif, traduisant une

séquestration du carbone. Dans le cas de la décomposition catalytique, la plus grande part du carbone capté est réémis lors du traitement via la combustion du syngaz. Ce co-produit remplaçant une ressource fossile, le gaz naturel, elle-aussi source de dioxyde de carbone lors de sa combustion, le score total est aussi négatif pour cette option.

Une analyse de contribution des résultats pour l'option d'enfouissement montre, pour la catégorie *Changement climatique*, une contribution importante du méthane issu de la dégradation des matières organiques et qui n'est pas capté sur le site, ainsi que du dioxyde de carbone issu de la valorisation du biogaz. À l'inverse, cette valorisation évitant l'utilisation de gaz naturel, un crédit associé principalement aux émissions évitées de dioxyde de carbone fossile est observé. En comparaison, le compostage présente un mélange d'émissions de dioxyde de carbone et de méthane biogéniques lors de la dégradation de la matière organique sur le site de compostage, et de dioxyde de carbone par la dégradation du compost suite à son épandage. Ces émissions sont plus importantes que pour l'enfouissement, la dégradation des matières organiques étant favorisée lors du compostage. Le crédit pour le compost est faible car les quantités de fertilisants de synthèse remplacées sont petites.

Par ailleurs, le transport des matières organiques entre Polytechnique et le lieu de traitement représente une contribution importante dans les catégories de dommages *Santé humaine*, *Qualité des écosystèmes* et *Ressources*. Le choix du site de traitement et son éloignement a donc une influence prépondérante sur la fin de vie de la matière organique.

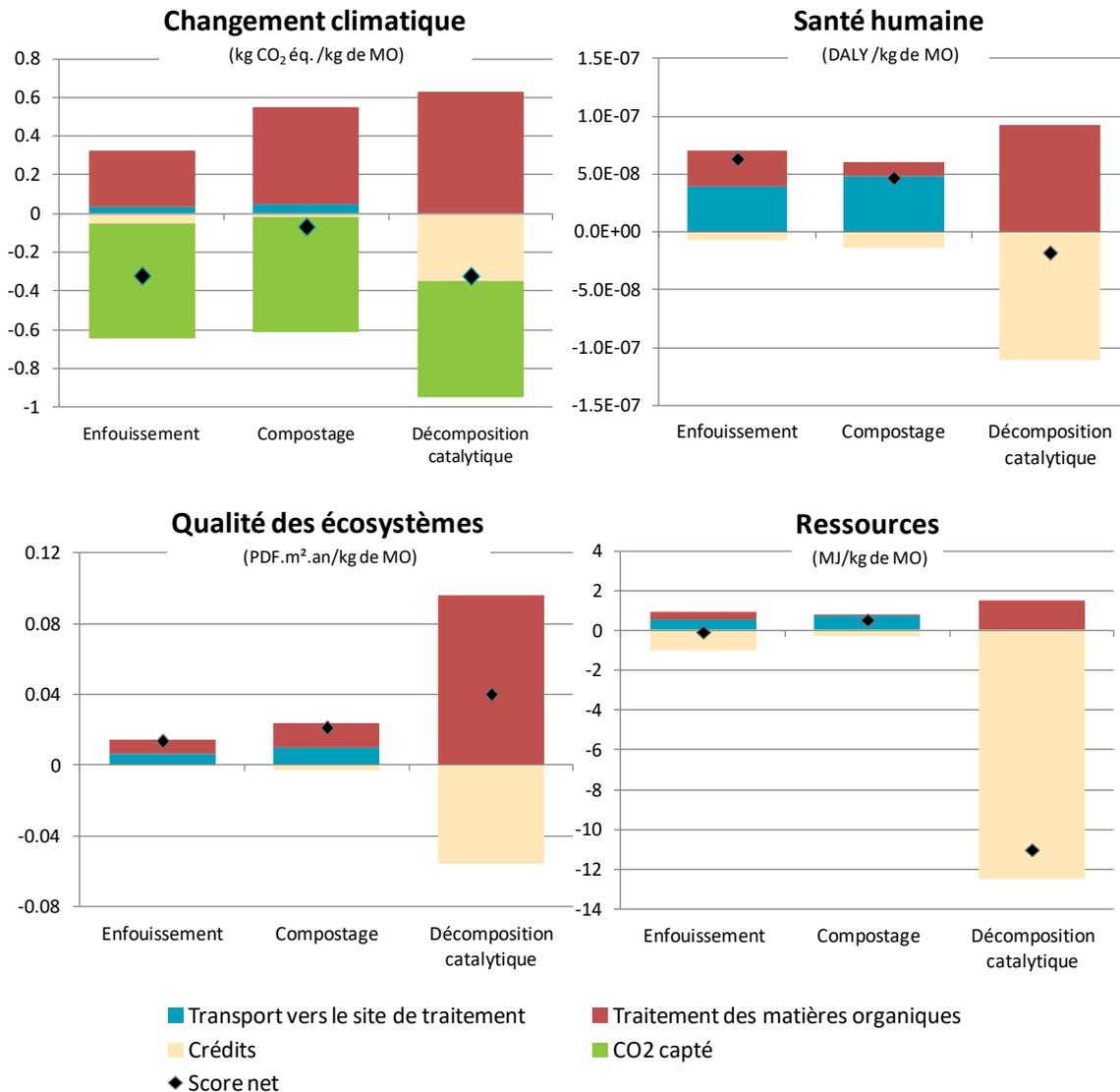


Figure 3-10 : Comparaison environnementale des options de fin de vie des matières organiques récoltées à Polytechnique (méthode IMPACT 2002+).

3.2.2 Qualité des données

Les résultats de l'analyse de la qualité des données d'inventaire sont résumés à l'Annexe D du présent rapport.

À partir de ces analyses, il a été possible de constater que dans l'ensemble, les données employées pour l'analyse sont jugées acceptables. Les principales données à améliorer pour augmenter la robustesse des résultats sont liées aux processus/paramètres suivants :

- Le crédit pour le compost : seul un crédit pour la production évitée de fertilisants chimiques grâce à l'apport de substances fertilisantes par le compost a été considéré.

L'utilisation de compost a cependant d'autres effets (bénéfiques ou inconvénients) agronomiques qui ne sont pas considérés.

- Les données de décomposition catalytique par micro-ondes, qui sont issues de données théoriques ou d'installations de laboratoire.
- Dégradation de la matière organique au site d'enfouissement : le taux de dégradation est basé sur la donnée présente par défaut dans *ecoinvent* (Doka, 2009). Cette donnée est cependant marquée comme incertaine dans les références, alors qu'elle contribue significativement aux émissions de méthane et de dioxyde de carbone (émis directement ou par la combustion du biogaz capté) du site d'enfouissement.

Certains de ces processus, jugés particulièrement influents sur les résultats, ont été testés en analyse de sensibilité.

3.2.3 Analyses de sensibilité

Des analyses de sensibilités ont été effectuées pour vérifier l'influence des hypothèses de modélisation sur les conclusions de l'étude. Les résultats détaillés sont présentés en annexe E.

3.2.3.1 Choix de la technologie de compostage

Rappel : Les données utilisées pour le compostage ne représentent pas directement celles du site où sont envoyées les matières organiques récoltées à Polytechnique mais sont adaptées à partir de la littérature (Edelmann et al., 2001) et d'informations fournies par une autre compagnie. Selon la littérature (Razza, 2013), les impacts du compostage varient selon la technologie utilisée. Cette analyse compare donc la donnée de compostage utilisée à une autre donnée issue de la même étude de la littérature, concernant un compostage en site ouvert. La comparaison est faite sur la base du traitement de 1 kg de matières organiques par compostage, en incluant les crédits. Les consommations énergétiques et les émissions de dégradation sur site diffèrent entre les deux technologies considérées. Seules les technologies sont comparées, le transport n'est pas considéré.

Les résultats de cette analyse de scénario sont présentés à la Figure 3-11, en comparaison au scénario d'enfouissement des matières organiques.

Il en ressort que la donnée de compostage modélisée pour cette étude présente des résultats similaires à celle pour un système ouvert, qui est une des principales autres technologies présentes au Québec. Les crédits associés sont similaires, car les composts sont considérés comme équivalents. La principale différence est observée dans la catégorie *Santé humaine*, où le système ouvert présente un score nettement plus important, lié à des émissions d'ammoniac supérieures pour le système ouvert par rapport au système fermé.

D'autres technologies de compostage pourraient être utilisées. Elles ne sont cependant pas considérées ici faute de données cohérentes avec la composition des matières organiques considérées. Une précédente étude (CIRAIG, 2007) illustre l'avantage de technologies de traitement des matières organiques incluant la capture et valorisation du méthane émis lors de la décomposition, comme par exemple la technologie de digestion anaérobie. Elle pourrait donc s'avérer une alternative intéressante de traitement des matières organiques, produisant à la fois un biogaz et du compost.

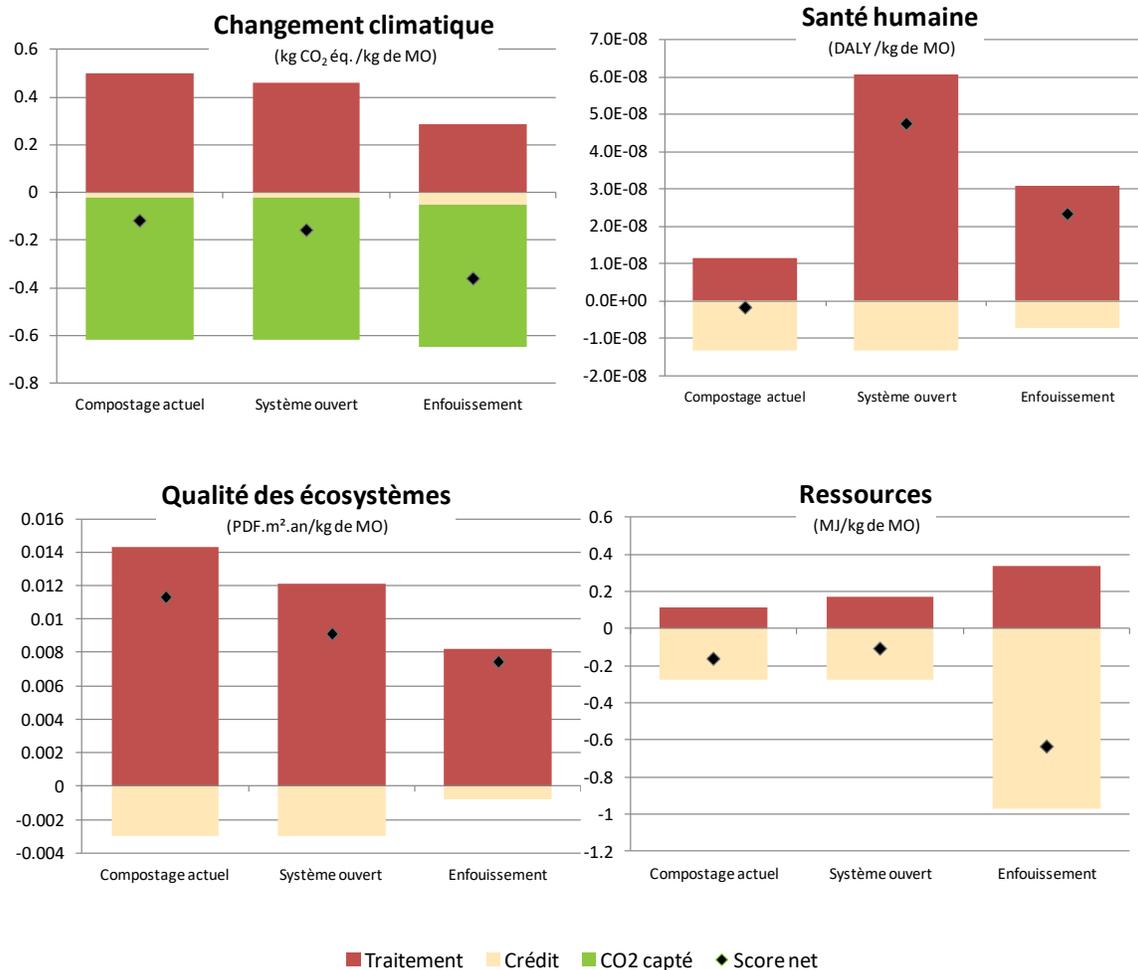


Figure 3-11 : Analyse de scénario - comparaison environnementale de technologies de compostage des matières organiques récoltées à Polytechnique (méthode IMPACT 2002+).

3.2.3.2 Crédits pour la décomposition catalytique par micro-ondes

Rappel: Tel que décrit dans la section 2.4, le gaz combustible (syngaz) généré lors de la décomposition catalytique par micro-ondes par micro-ondes est brûlé à même l'unité Pyrowave afin de produire de l'eau chaude qui sera utilisée sur place. Il remplace ainsi du gaz naturel actuellement utilisé dans les chauffe-eaux du Pavillon Principal de Polytechnique. Le Pavillon Lassonde a, quant à lui, des chauffe-eaux électriques. Une analyse de sensibilité considérant que le syngaz produit remplace plutôt de l'électricité québécoise a donc été réalisée. L'efficacité des chaudières n'est pas considérée. La comparaison est faite sur la base du traitement de 1 kg de MO par décomposition catalytique par micro-ondes, en incluant le transport et les crédits.

Il en ressort que les crédits sont plus faibles pour les catégories *Changement climatique*, *Santé humaine* et *Ressources* lorsque le syngaz remplace de l'électricité plutôt que du gaz naturel. À l'inverse, ils sont plus importants dans la catégorie *Qualité des écosystèmes*, à cause de l'importante contribution des émissions de métaux dans le sol associées aux lignes de distribution d'électricité incluses dans les données utilisées.

Pour la catégorie *Changement climatique*, le fait de substituer de l'électricité et non plus du gaz naturel réduit significativement le crédit. L'option de décomposition catalytique, pour laquelle la plus grande part du carbone capté est réémis lors de la combustion du biogaz, n'apparaît alors plus préférable à l'enfouissement, pour lequel une partie du carbone est séquestrée dans la matière non dégradée.

Cette analyse indique donc que le choix du processus crédité pour la décomposition catalytique par micro-ondes influe sur les conclusions du volet B.

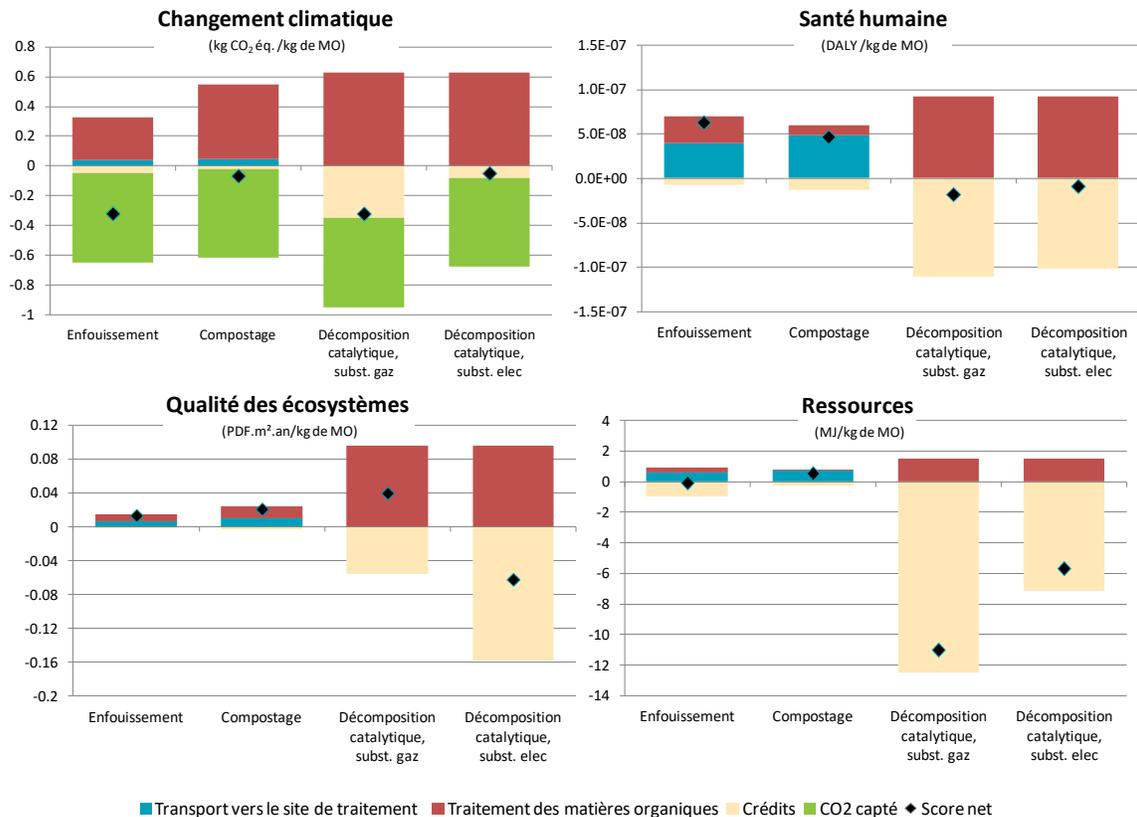


Figure 3-12 : Analyse de scénario – Influence de la source d'énergie substituée par le syngaz coproduit lors de la décomposition catalytique (méthode IMPACT 2002+).

3.2.3.3 Taux de captage du biogaz en site d'enfouissement

Rappel : Tel que décrit dans la section 2.4, le taux de captage du biogaz du site d'enfouissement est un paramètre variable dans la littérature. Cette analyse de sensibilité vise à tester l'influence sur les résultats de plusieurs taux de captage relevés dans la littérature : 35 % (moyenne canadienne selon Environnement Canada) et 80 % (efficacité ponctuelle mesurée sur certains sites au Québec), en comparaison aux 53 % de la donnée initiale. Dans les trois scénarios, le taux de valorisation du biogaz est conservé à 84 %, donnée représentative du site de Ste-Sophie qui revend son biogaz à une usine de Cascades. La comparaison est faite sur la base du traitement de 1 kg de MO par enfouissement, en incluant le transport et les crédits.

Il en ressort que les scores pour les catégories *Changement climatique* et *Ressources* sont influencés par ce paramètre. Par rapport au taux de captage de référence (53%), un taux de captage plus faible (35%) résulte en une augmentation des émissions de méthane sur le site, augmentant le score pour la catégorie *Changement climatique* et en une diminution du crédit associé à la valorisation du biogaz, augmentant les scores nets pour les catégories *Changement climatique* et *Ressources*. Une augmentation du taux de captage à 80 % conduit à une variation inverse de ces scores. Pour les catégories *Santé Humaine* et *Qualité des écosystèmes*, les résultats varient très peu en fonction du taux de captage (moins de 5 % de variation).

Avec un taux de captage de 80 %, le résultat pour l'enfouissement est préférable à celui pour la décomposition catalytique pour la catégorie *Changement climatique*. Un taux de captage de 80 % reste cependant une situation particulière et non vérifiée pour le site à l'étude, mais cette analyse souligne l'influence possible de ce paramètre sur les résultats du volet B. Le positionnement relatif de l'enfouissement par rapport au compostage n'est pas modifié dans la plage de taux de captage considérée.

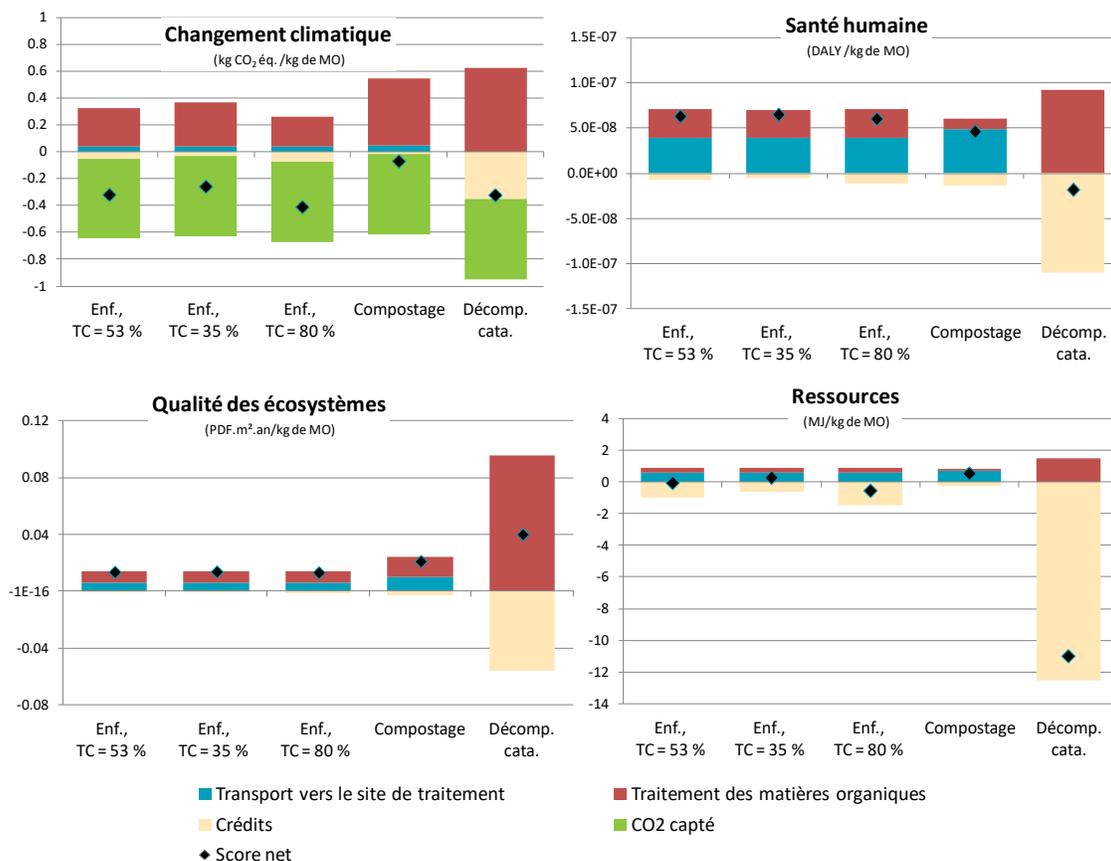


Figure 3-13 : Analyse de sensibilité – Influence du taux de captage du biogaz sur la comparaison des technologies (méthode IMPACT 2002+).
(TC : taux de captage ; Enf. : enfouissement ; Décomp. cata. : Décomposition catalytique)

3.2.3.4 Taux de dégradation des matières organiques en site d'enfouissement

Rappel : Par défaut, le taux de dégradation des matières organiques en site d'enfouissement est de 27 %, sur un horizon de 100 ans. Cette valeur provient des hypothèses pour l'enfouissement des matières organiques dans la base de données ecoinvent (Doka, 2007). Elle a donc été prise dans l'analyse principale pour rester cohérent avec les taux de dégradation des autres matières, qui proviennent aussi de cette source. Cependant, cette valeur est indiquée dans la source comme incertaine. Le site de Ste-Sophie étant par ailleurs équipé d'une technologie de recirculation des lixiviats, qui permet en théorie une dégradation accélérée des matières résiduelles (MDELCC, 2004). Dans la littérature, les taux de dégradation de la matière organique dans les sites d'enfouissement sont souvent considérés comme plus élevés. L'outil WARM (US EPA, 2016) considère par exemple que seul 16 % du carbone issu de déchets est séquestré (donc un taux de dégradation de 84 %). En comparaison, dans la donnée de compostage, environ 50 % du carbone contenu dans les matières organiques se retrouve dans le compost suite à leur traitement. Une variation du taux de dégradation des matières organiques en site d'enfouissement est donc testée dans cette analyse pour les valeurs de 27 %, 50 % et 84 %.

Les résultats de cette analyse de sensibilité sont présentés à la Figure 3-14. Comme pour l'analyse sur le taux de captage, ce sont les scores pour les catégories *Changement climatique* et *Ressources* qui sont fortement influencés par le taux de dégradation. Une augmentation du taux de dégradation conduit à une augmentation des émissions de méthane et de dioxyde de carbone reliées aux matières organiques, ce qui correspond à des émissions fugitives plus importantes (augmentant la contribution de l'étape de traitement) mais aussi une quantité de biogaz captés plus importante (augmentant la contribution de l'étape de traitement, via la combustion du biogaz lors de sa valorisation, et celui du crédit associé au gaz naturel remplacé). L'augmentation du crédit n'est cependant pas suffisante pour compenser l'augmentation de la contribution du traitement à la catégorie *Changement climatique*, mais améliore significativement le score de l'enfouissement pour la catégorie *Ressources*. Pour les catégories *Santé Humaine* et *Qualité des écosystèmes*, les résultats varient très peu en fonction du taux de dégradation.

Pour la catégorie *Changement climatique*, ce facteur vient significativement modifier les conclusions de l'étude. Avec un taux de dégradation des matières organiques de 84 %, l'enfouissement n'est plus préférable par rapport au compostage, ni à la décomposition catalytique. Les conclusions ne sont néanmoins pas modifiées dans les autres catégories de dommages.

Cette analyse de sensibilité vient nuancer les résultats de ce volet B, surtout pour ce qui est de la comparaison du compostage et de l'enfouissement. Il n'a cependant pas été possible de déterminer la valeur la plus réaliste pour le taux de dégradation des matières organiques dans le cadre de cette étude.

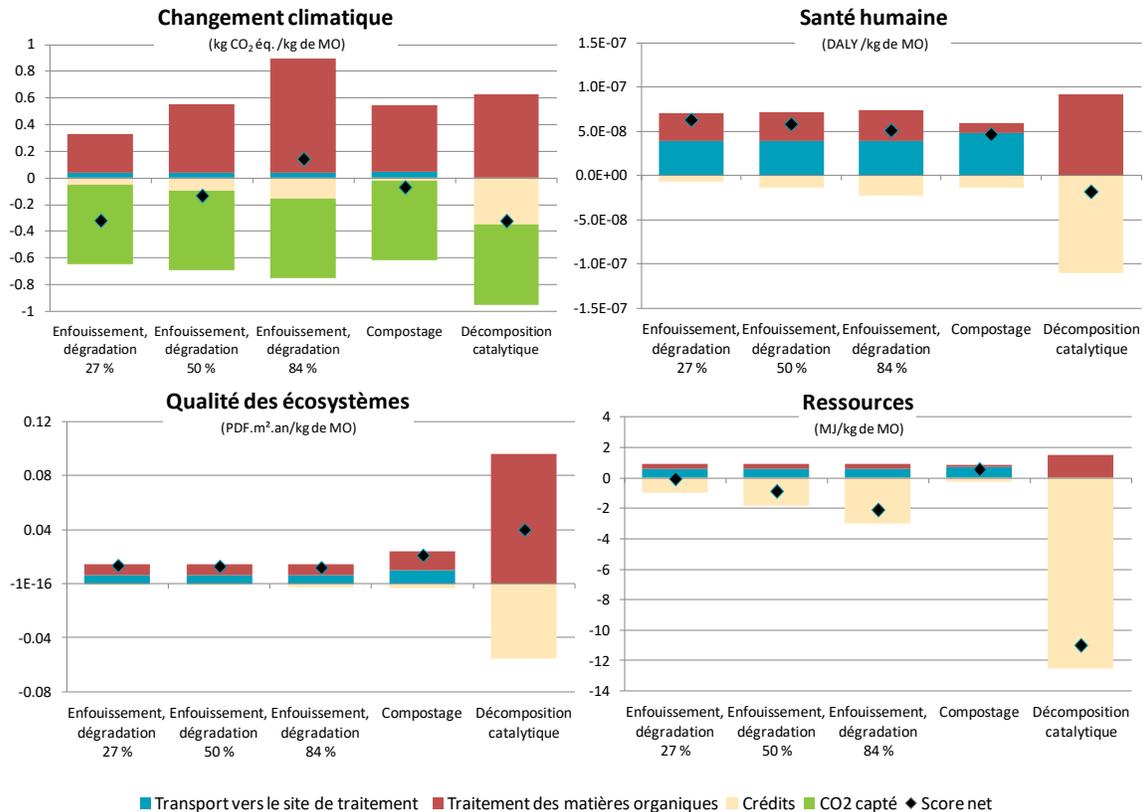


Figure 3-14 : Analyse de sensibilité – Influence du taux de dégradation des matières organiques en site d'enfouissement sur la comparaison des technologies (méthode IMPACT 2002+).

3.2.3.5 Crédits pour le compost

Rappel : Dans les hypothèses de base, il a été considéré que les matières organiques compostées remplacent en moyenne des fertilisants chimiques. Une autre option consiste à considérer que le compost remplace plutôt de la terre noire pour amender les sols. C'est cette hypothèse qui est considérée dans cette analyse de sensibilité. Seule une activité d'excavation de sol est incluse pour la production de la terre noire et créditée considérant un remplacement dans un ratio 1:1 sur une base massive.

Il en ressort que le crédit environnemental obtenu est alors plus faible pour toutes les catégories de dommages considérées (de 2 à 27 % selon la catégorie). Ce paramètre, bien que défavorable au compostage car diminuant les crédits associés, ne modifie pas de façon significative les résultats du volet B.

Globalement, on retient que...

- La décomposition catalytique par micro-ondes des matières organiques est généralement préférable à leur enfouissement ou leur compostage, grâce à la valorisation de ses coproduits. Il est par ailleurs préférable d'utiliser le biogaz produit lors de cette décomposition en substitution à du gaz naturel plutôt qu'à de l'électricité.
- Il n'est pas possible de distinguer la meilleure option entre l'enfouissement et le compostage des matières organiques, les conclusions changeant selon les catégories de dommages considérées ou étant fortement influencées par des facteurs sensibles comme le taux de dégradation des matières organiques en site d'enfouissement.
- Le transport des matières organiques entre Polytechnique et leur lieu de traitement a une contribution importante aux scores environnementaux. Il est donc préférable de minimiser cette distance autant que possible.

3.3 Volet C : Comparaison environnementale de scénarios d'approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire

Le troisième objectif de l'étude consistait à comparer différents scénarios d'approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire de Polytechnique. Tous les scénarios évalués ont été définis à la sous-section 2.2.3.

3.3.1 Comparaison environnementale de scénarios d'approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire

Rappelons que les scénarios à l'étude considèrent un approvisionnement annuel en vaisselle, couvrant de la production à la fin de vie des pièces de vaisselle, ainsi que la gestion des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire de Polytechnique. Tous les scénarios comparés ont été présentés à la section 2.2.3. Ils sont repris ici au bénéfice du lecteur.

1. Scénario « vaisselle à usage unique non biodégradable » (utilisation de vaisselle en polystyrène et polypropylène)

- a) Enfouissement de 100 % de la vaisselle et des matières organiques (situation prévalant les dernières années à Polytechnique); Recyclage de 80 % des matières recyclables et enfouissement des 20 % restants, ainsi que des résidus ultimes.
- b) Compostage de 40 % des résidus alimentaires et enfouissement des 60 % restants (taux de récupération jugé plausible avec l'instauration en cours de bacs de compostage à Polytechnique); recyclage de 80 % des matières recyclables et enfouissement des 20 % restants, ainsi que de la vaisselle et des résidus ultimes.
- c) Décomposition catalytique par micro-ondes (unité Pyrowave installée à Polytechnique) de 100 % de la vaisselle et des matières organiques; recyclage de 80 à 100 % des matières

recyclables selon le type, la part restante étant traitée par décomposition catalytique; les résidus ultimes sont envoyés à l'enfouissement.

- d) Compostage de 40 % des résidus alimentaires et décomposition catalytique par micro-ondes des 60 % restants (taux de récupération jugé plausible avec l'instauration en cours de bacs de compostage à Polytechnique) ; décomposition catalytique par micro-ondes de 100 % de la vaisselle; recyclage de 80 à 100 % des matières recyclables selon le type, la part restante étant traitée par décomposition catalytique; les résidus ultimes sont envoyés à l'enfouissement.

2. Scénario «vaisselle à usage unique biodégradable » (utilisation de vaisselle en matériaux compostables ; pour chaque pièce de vaisselle, l'option biodégradable analysée à la section 3.1 ayant le moins d'impacts potentiels a été choisie)

- a) Enfouissement de 100 % de la vaisselle et des matières organiques ; recyclage de 80 % des matières recyclables et enfouissement des 20 % restants, ainsi que des résidus ultimes.
- b) Compostage de 80 % des matières organiques et enfouissement des 20 % restants (taux de récupération jugé plausible avec l'instauration de bacs de compostage et de vaisselle compostable à Polytechnique) ; recyclage de 80 % des matières recyclables et enfouissement des 20 % restants, ainsi que des résidus ultimes.
- c) Décomposition catalytique par micro-ondes (unité Pyrowave installée à Polytechnique) de 100 % de la vaisselle et des matières organiques ; recyclage de 80 à 100 % des matières récupérables selon le type, la part restante étant traitée par décomposition catalytique; les résidus ultimes sont envoyés à l'enfouissement.

3. Scénario « vaisselle réutilisable » (utilisation de vaisselle réutilisable, sans couvercles)

- a) Décomposition catalytique par micro-ondes à 100 % des matières organiques. Les pièces de vaisselle en céramique vont à l'enfouissement en fin de vie, alors que les ustensiles d'acier et les coquilles en polypropylène sont considérés recyclés; recyclage de 80 à 100 % des matières recyclables selon le type, la part restante étant traitée par décomposition catalytique ou enfouie. Les résidus ultimes sont envoyés à l'enfouissement.

Les impacts potentiels associés aux sept scénarios évalués sont présentés à la Figure 3-15 : Comparaison environnementale de scénarios Figure 3-15.



Figure 3-15 : Comparaison environnementale de scénarios d'approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire (méthode IMPACT 2002+).

Il ressort de cette comparaison que l'approvisionnement en vaisselle est le principal contributeur aux scores environnementaux des systèmes à l'étude. La comparaison des scénarios est donc conforme à la comparaison unitaire des différentes pièces de vaisselle du volet A. Les scénarios incluant de la vaisselle à usage unique non biodégradable (scénarios 1.a à 1.d) présentent des impacts plus faibles que ceux incluant de la vaisselle biodégradable (scénarios 2.a à 2.c), à l'exception du scénario 2.c pour les catégories *Changement climatique* et *Ressources*. Le scénario considérant l'emploi de vaisselle réutilisable est par ailleurs l'option préférable en ce qui a trait aux catégories *Changement climatique*, *Santé humaine* et *Ressources*. À cause des incertitudes liées à la catégorie *Qualité des écosystèmes*, il n'est pas

possible de conclure pour cette catégorie. Le choix du type de vaisselle est donc le paramètre le plus important pour différencier les scénarios.

Entre les scénarios incluant de la vaisselle à usage unique, l'écart pour la catégorie *Qualité des écosystèmes* est, majoritairement lié à l'occupation des terres par les forêts associées à la production du carton, cette catégorie d'impact étant toutefois affectée d'une incertitude importante. Lors de la comparaison des pièces de vaisselle (Volet A), les options en bagasse obtenaient des scores plus faibles pour cette catégorie. Une analyse de sensibilité a donc été effectuée en choisissant des options en bagasse plutôt qu'en carton dans les scénarios incluant de vaisselle la biodégradable.

Une analyse détaillée de la partie « Approvisionnement en vaisselle » montre que pour tous les scénarios, les éléments les plus contributeurs sont les coquilles pour emporter (et plus particulièrement celles à trois compartiments), les assiettes, les gobelets pour boissons chaudes et les couverts.

En comparant les options de gestion des matières résiduelles propre à chaque type de vaisselle (comparaison des options a, b, c ou d pour les scénarios 1 ou 2), la décomposition catalytique par micro-ondes apparaît comme l'option la plus favorable grâce aux crédits associés à la valorisation de ses coproduits. Ces crédits sont particulièrement importants pour les catégories *Changement climatique* et *Ressources*.

Parmi les scénarios incluant de la vaisselle à usage unique non biodégradable, il n'y a pas de différence significative (0 % à 6 % d'écart selon la catégorie) entre celui « tout enfouissement » (scénario 1.a) et celui avec compostage des résidus alimentaires (scénario 1.b). Ceci s'explique par la contribution majeure de l'approvisionnement en vaisselle. Entre les deux scénarios incluant la décomposition catalytique par micro-ondes, celui traitant à la fois la vaisselle et les matières organiques résiduelles (scénario 1.c) est préférable à celui traitant seulement la vaisselle (scénario 1.d). Ce résultat est conforme aux conclusions du volet B.

De même, parmi les scénarios incluant de la vaisselle à usage unique biodégradable, la différence est faible entre celui avec enfouissement (scénario 2.a) et celui avec compostage (scénario 2.b) pour les trois catégories *Santé humaine*, *Qualité des écosystèmes* et *Ressources* (-3 % à 5% d'écart). Seule la différence pour la catégorie *Changement climatique* est significative : +31 % pour le scénario avec compostage. Tel que décrit dans le volet B, l'enfouissement des matières organiques, et de manière similaire celui-ci des pièces de vaisselle biodégradables, est préférable à leur compostage avec les hypothèses par défaut. Cette conclusion est néanmoins dépendante de plusieurs facteurs, dont le taux de dégradation ou le taux de captage de biogaz au site d'enfouissement.

La contribution de la gestion des résidus alimentaires étant faible, la variation du taux de récupération de ces derniers en vue du compostage entre les scénarios incluant de la vaisselle non biodégradable (40 % pour 1.b ou 1.d) et biodégradable (80 % pour 2.b) n'a pas d'impact significatif sur les résultats.

3.3.2 Qualité des données

Le volet C est principalement basé sur des données issues des volets A et B. Pour une analyse de leur qualité, se référer aux sous-sections 3.1.2 et 3.2.2.

Les principales données introduites dans ce volet concernent les quantités de matières résiduelles générées, le recyclage/enfouissement des matières recyclables et des résidus ultimes, ainsi que la décomposition catalytique par micro-ondes des pièces de vaisselle. Dans l'ensemble, ces données sont jugées acceptables pour l'étude. Les principales données à améliorer pour augmenter la robustesse des résultats sont liées aux processus/paramètres suivants :

- Quantités de matières résiduelles générées : les données sont basées sur une extrapolation d'anciennes données mesurées sur une semaine à une année. Des mesures continues et spécifiques aux services alimentaires permettraient d'affiner les données utilisées.
- Les données de décomposition catalytique par micro-ondes, qui sont issues de données théoriques ou d'installations de laboratoire.

Certains de ces processus, jugés particulièrement influents sur les résultats, ont été testés en analyse de sensibilité.

3.3.3 Analyses de sensibilité

Des analyses de sensibilités ont été effectuées pour vérifier l'influence des hypothèses de modélisation sur les conclusions de l'étude. Les résultats détaillés sont présentés en annexe E.

3.3.3.1 Évaluation des impacts avec la méthode ReCiPe

Rappel : l'ÉICV a été réalisée avec une seconde méthode, ReCiPe (Goedkoop et al., 2009) afin de vérifier si la variabilité des modèles de caractérisation avait une influence significative sur les conclusions et donc, de tester la robustesse des résultats obtenus à partir d'IMPACT 2002+.

En ce qui concerne les principaux contributeurs, les résultats obtenus avec la méthode ReCiPe (version Hierarchist) confirment généralement ceux obtenus avec la méthode IMPACT 2002+, les tendances étant les mêmes pour les différentes catégories de dommages considérées. De plus, lorsque plusieurs scénarios sont comparés, il n'y a pas d'inversion dans les conclusions.

Globalement, l'analyse de sensibilité avec la méthode ÉICV ReCiPe confirme donc les résultats de l'étude et atteste de leur robustesse.

3.3.3.2 Frontières en fin de vie – approche par cut off

Rappel : Une approche par extension des frontières est utilisée dans l'étude pour traiter le recyclage et les coproduits de la gestion en fin de vie des différents matériaux. L'inventaire correspondant à la production des matériaux vierges substitués est soustrait pour annuler les fonctions secondaires de production de matériaux. Les résultats d'une approche par cut-off sont étudiés dans cette analyse de sensibilité. Pour le recyclage, à part le transport vers le centre de tri, aucun impact ou crédit n'est alors associé au recyclage. Les impacts et bénéfiques sont considérés comme étant alloués au cycle de vie du produit qui utilisera la matière recyclée. Pour les autres traitements en fin de vie (enfouissement, décomposition catalytique par micro-ondes

ou compostage), les impacts du traitement des résidus sont inclus dans les frontières mais aucun crédit n'est associé aux coproduits valorisés.

Les résultats obtenus sont présentés à la Figure 3-16. Ils sont présentés, pour chaque catégorie de dommage, en impacts relatifs par rapport au scénario ayant le score le plus élevé.

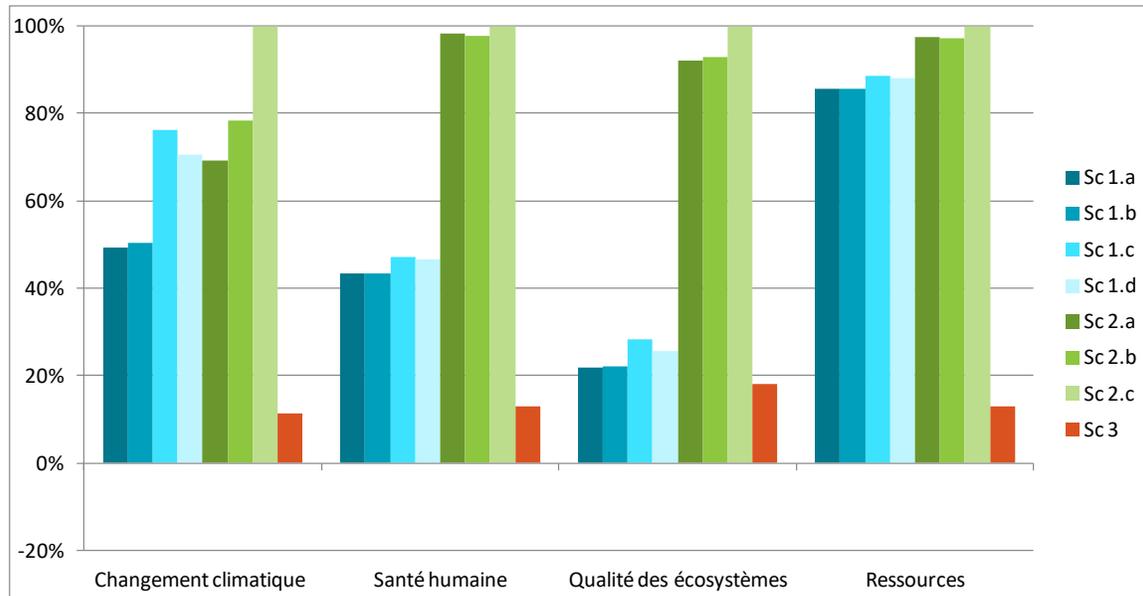


Figure 3-16 : Analyse de sensibilité pour le volet C – approche par cut-off pour les frontières de fin de vie (méthode IMPACT 2002+).

Il en ressort que les crédits associés à l'approche par extension des frontières jouent un rôle important dans les résultats, en particulier en ce qui concerne les scénarios incluant la décomposition catalytique par micro-ondes (scénarios 1.c, 1.d, 2.c et 3). En l'absence de ces crédits liés aux coproduits de la décomposition catalytique, ces scénarios ne sont plus préférables à ceux considérant les options d'enfouissement ou de compostage.

Considérant la comparaison des options de vaisselle, les conclusions ne sont pas modifiées par ce changement méthodologique. Le scénario incluant de la vaisselle réutilisable apparaît préférable à ceux incluant de la vaisselle à usage unique non biodégradable, eux-mêmes préférables aux scénarios incluant de la vaisselle à usage unique biodégradable.

3.3.3.3 Choix de la vaisselle pour les scénarios incluant de la vaisselle biodégradable

Rappel : Parmi les options de vaisselle à usage unique biodégradable analysées au volet A, les options en carton ont été préférées pour le volet C à celle en bagasse, car elles présentaient des scores inférieurs pour trois catégories sur les quatre à l'étude. Pour tester l'influence de ce choix, l'analyse a été effectuée en inversant ce choix, c'est-à-dire en conservant les options de vaisselle en bagasse au détriment de celles en carton pour les scénarios 2.a à 2.c.

Il en ressort une diminution des scores de 27 à 28 % pour la catégorie *Qualité des écosystèmes* selon le scénario, mais une augmentation des scores pour les trois autres catégories comprises entre 57 et 3387 % selon le scénario et la catégorie. Les pièces en bagasse et/ou carton ne représentant cependant qu'une partie (seulement les assiettes et les coquilles) des pièces de vaisselle incluses dans les scénarios, cette analyse n'affecte que très peu les résultats globaux de

la comparaison des scénarios. Les scénarios incluant de la vaisselle biodégradable restent défavorables aux scénarios équivalents incluant de la vaisselle non biodégradable ou réutilisable.

Les résultats de cette analyse de sensibilité ne modifient pas les tendances présentées précédemment.

3.3.3.4 Quantité de matières résiduelles générées annuellement

Rappel: Tel que décrit dans la section 2.6.2, les quantités de matières résiduelles générées annuellement dans les aires de service alimentaire sont issues d'une extrapolation de données mesurées lors d'une caractérisation quotidienne effectuée en 2012. Cette extrapolation a été faite basée sur le rapport entre la masse de vaisselle récupérée et les autres matières résiduelles. D'autres extrapolations sont cependant possibles. Une analyse de sensibilité a donc été effectuée en extrapolant les données sur la base de la moyenne de fréquentation de Polytechnique par rapport à la semaine de caractérisation. Elle conduit à une augmentation significative des matières résiduelles générées annuellement.

Il en ressort, pour chaque catégorie de dommage, une légère augmentation dans la catégorie de dommages *Changement climatique* (jusqu'à +3 %) ou une diminution globale pour les autres catégories de dommage (de -1 % à -390 %) des scores pour chaque scénario par rapport aux résultats initiaux. En effet, les crédits associés au recyclage ou à la décomposition catalytique par micro-ondes contribuant de façon plus importante que les autres modes de gestion des matières résiduelles, l'augmentation des quantités de matières résiduelles a un effet de diminution des scores totaux. Cette diminution tend à favoriser davantage les scénarios incluant la décomposition catalytique par micro-ondes mais ne modifie pas les tendances présentées précédemment.

3.3.3.5 Taux de réutilisation pour la vaisselle réutilisable

Rappel: L'hypothèse du nombre de réutilisations des pièces de vaisselle réutilisable influe significativement sur les résultats de l'étude. Une analyse de sensibilité a donc été faite en faisant varier ces hypothèses pour des valeurs respectives de 25, 50, 100, 250 et 500 réutilisations pour chaque pièce de vaisselle.

Les résultats de cette analyse sont présentés à la Figure 3-17, en comparaison avec les scénarios incluant de la vaisselle à usage unique.

Il en ressort que le nombre d'utilisations des pièces de vaisselle influence bien évidemment le score du scénario incluant de la vaisselle réutilisable. La comparaison avec les autres scénarios montre qu'à partir de 150 utilisations en moyenne pour toutes les pièces de vaisselle, le scénario « tout réutilisable » est préférable à la situation actuelle en ce qui a trait aux catégories *Changement climatique*, *Santé humaine* et *Ressources*. Pour la catégorie *Qualité des écosystèmes*, les scores sont très proches de ceux pour les options de vaisselle non biodégradable, ne permettant pas de tirer une conclusion nette.

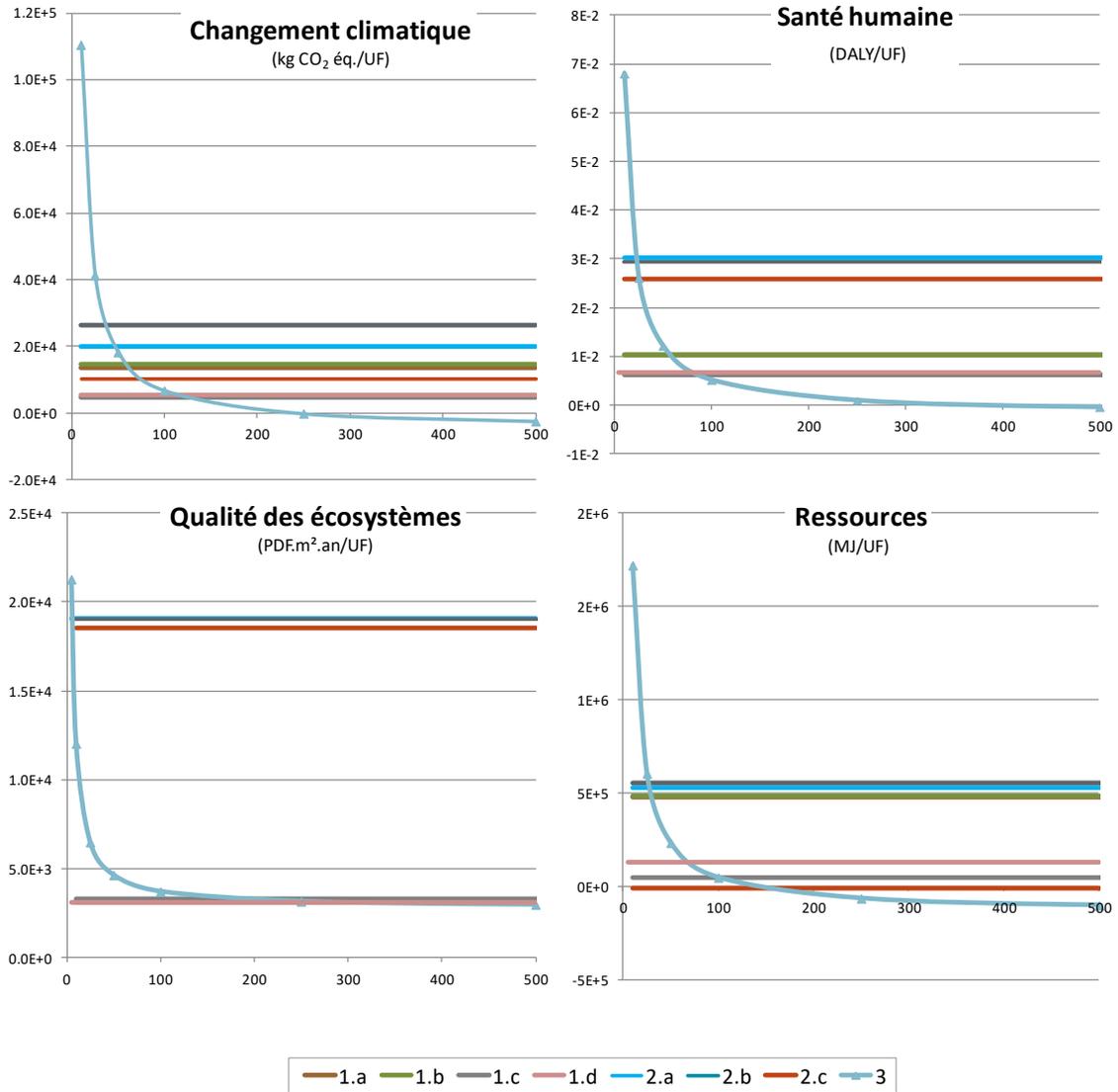


Figure 3-17 : Analyse de sensibilité pour le volet C - nombre d'utilisation pour le scénario 3 (« tout réutilisable ») (méthode IMPACT 2002+).

Globalement, on retient que...

- Le choix de la vaisselle est le paramètre le plus important pour différencier les scénarios à l'étude. La vaisselle réutilisable est avantageuse par rapport aux options à usage unique en ce qui a trait aux catégories *Changement climatique*, *Santé humaine* et *Ressources*, et ce, dès que les pièces sont utilisées plus de 350 fois. Pour la catégorie *Qualité des écosystèmes*, les résultats sont plus nuancés et trop incertains pour en tirer des conclusions nettes. À long terme, il semble donc néanmoins préférable de s'orienter vers l'option de vaisselle réutilisable.
- La gestion en fin de vie des matières résiduelles (déchets de vaisselle, résidus alimentaires, matières recyclables et résidus ultimes) a une faible influence sur les scénarios comparés, à l'exception de ceux incluant la décomposition catalytique par micro-ondes.
- Certains choix méthodologiques, comme par exemple le choix de l'approche par extension des frontières pour modéliser le recyclage et ses coproduits, ont une influence significative sur les résultats.

3.4 Applications et limites de l'ACV

Cette ACV vise à une comparaison de différentes options d'approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire de Polytechnique. Toutes conclusions tirées de cette étude hors de son contexte original doivent être évitées. Quelques éléments de généralisation sont néanmoins discutés dans la section 3.5.

Ses résultats pourront être utilisés pour :

- Obtenir un aperçu de comparaison des différentes options de vaisselle;
- Obtenir un aperçu de comparaison des différentes options de fin de vie pour les matières organiques;
- Identifier les options présentant les meilleurs scores selon les catégories de dommages environnementaux retenus;
- Comparer plusieurs scénarios d'approvisionnement en vaisselle et de gestion des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire de Polytechnique.

Les principales limites pouvant cependant être soulevées concernent :

- Cette étude a débuté en 2013. Certaines hypothèses ou données sont donc anciennes et pourraient être actualisées avec l'évolution des pratiques à Polytechnique ces dernières années.
- L'incertitude sur les facteurs de caractérisation des catégories d'impact reliées à la catégorie de dommage *Qualité des écosystèmes*, ne permettant souvent pas de conclure pour cette catégorie.

- La modification des comportements en cas de changement des options de vaisselle à la cafétéria n'est pas prise en compte. Tous les scénarios sont basés sur une utilisation de la vaisselle identique à celle modélisée pour le scénario actuel. Les effets de la contamination due au comportement des utilisateurs des options de vaisselle ne sont par ailleurs pas considérés dans l'étude.
- La complétude et la validité des données d'inventaire. Bien qu'un effort ait été déployé pour développer des données spécifiques applicables aux systèmes étudiés, certaines limites subsistent. En particulier :
 - l'utilisation de données secondaires provenant de bases de données ACV européennes peut influencer la validité des résultats dans un contexte nord-américain et québécois.
 - le manque d'information sur les processus de production des pièces de vaisselle (en particulier pour les options biodégradables). Les données sont issues de la littérature ou de bases de données génériques. Il serait pertinent dans de futurs travaux de collecter directement des données auprès de fabricants de vaisselle.
 - la validité de certaines hypothèses relatives au cycle de vie des produits étudiés (manque de données primaires comme certains lieux de production ou certaines hypothèses d'approvisionnement);
 - l'utilisation de données issues de calculs théoriques ou de tests pilotes pour la technologie Pyrowave. Cette technologie étant en cours de développement, les données utilisées ne représentent pas son opération réelle. De plus, certaines hypothèses ont été faites quant à l'utilisation des coproduits et devraient être revalidées lorsque la technologie sera disponible sur le marché. Les émissions autres que le CO₂ reliées à la combustion du gaz coproduit, sont par ailleurs négligées faute d'information mais pourraient être ajoutées lorsque les tests grandeur nature seront effectués. L'implantation de la technologie pour des phases de test à Polytechnique a été discutée mais n'est pas prévue à court terme. Des études effectuées en parallèle à cette étude montrant que les déchets produits à Polytechnique seraient de meilleure qualité si les matières putrescibles en étaient préalablement séparées (cas testé par exemple dans le scénario 2.d) (Laviolette, 2015).
- La complétude et la validité de la méthode d'évaluation des impacts du cycle de vie utilisée, entre autres parce qu'elle ne couvre pas toutes les substances inventoriées, ni tous les impacts environnementaux associés aux activités humaines. Notamment :
 - Les catégories d'impacts Toxicité humaine *cancer/non-cancer* et *Écotoxicité aquatique/terrestre* ne sont pas des mesures du risque associé aux systèmes étudiés. En effet, les différentes émissions sont agrégées dans le temps et l'espace afin de constituer un inventaire dans lequel un seul flux est associé à chacune des substances répertoriées (c.-à-d. la masse totale émise par l'ensemble des processus qui la produisent). Il n'est donc pas possible de connaître le lieu, ni le moment où ont lieu les émissions et donc, d'identifier la quantité à laquelle est exposée une région donnée, l'information sur laquelle repose l'appréciation du risque pour une population donnée.
 - Les modèles d'évaluation des émissions toxiques employées pour caractériser les métaux ont été « adaptés » de modèles développés pour la caractérisation des composés organiques. Ils ne tiennent pas compte de la spéciation des

composés, fonction des conditions environnementales spécifiques du lieu d'émission (tous les métaux sont considérés comme 100 % biodisponibles). De ce fait, l'impact potentiel des métaux émis au sol est actuellement surestimé pour les catégories *Écotoxicité terrestre/aquatique* et *Toxicité humaine cancer/non cancer*.

- L'interprétation des résultats de la caractérisation ne peut se baser que sur les résultats obtenus, c'est-à-dire sur les substances pour lesquelles il existe, dans la base de données des méthodes, des facteurs de caractérisation qui convertissent les flux élémentaires inventoriés en unités d'indicateurs d'impact et de dommage. Or plusieurs flux élémentaires n'ont pu être convertis en scores d'impact puisqu'aucun facteur de caractérisation n'était disponible. Ils n'ont donc pas été considérés lors de la phase d'évaluation des impacts du cycle de vie.
- Contrairement à l'analyse de risque environnemental conduite dans un contexte réglementaire et qui utilise une approche conservatrice, l'ACV tente de fournir la meilleure estimation possible (Udo-de-Haes *et al.*, 2002). En effet, l'ÉICV tente de représenter le cas le plus probable, c.-à-d. que les modèles utilisés, soit les modèles de transport et de devenir des contaminants dans l'environnement et d'effet toxique sur les récepteurs biologiques, ne tentent pas de maximiser l'exposition et le dommage environnemental (approche du pire scénario) mais bien d'en représenter un cas moyen.

Il convient enfin de rappeler que les résultats de l'ACV représentent des impacts environnementaux potentiels et non réels.

3.5 Recommandations et perspectives

3.5.1 Pistes d'amélioration de l'étude

De façon à améliorer la validité de l'étude, certains points présentés dans ce rapport mériteraient d'être approfondis.

En lien avec Aramark Québec, des contacts plus approfondis avec ses fournisseurs pourraient être pris pour obtenir des informations plus précises et détaillées sur la partie amont du cycle de vie des options de vaisselle (pré-production, production et distribution). D'autres producteurs de pièces de vaisselle pertinentes pour l'étude pourraient aussi être contactés et inclus dans l'étude.

La technologie Pyrowave étant en cours de développement, de nouvelles données plus précises devraient être disponibles prochainement. Il sera donc possible de mettre à jour cette étude avec ces nouvelles informations afin de réduire des incertitudes liées à cette technologie. L'application de la technologie à Polytechnique est aussi à rediscuter, les coproduits générés ne présentant pas actuellement une valeur économique suffisante pour justifier ses coûts d'implantation (Laviolette, 2015).

La revue de la littérature a identifié d'autres pistes de traitement des matières résiduelles issues de services alimentaires, qui pourraient aussi faire l'objet d'une étude plus approfondie. Par ailleurs, la modélisation d'autres options, telles que des contenants réutilisables achetés et lavés par les usagers, pourrait être ajoutée à l'étude et permettrait une comparaison plus approfondie des solutions possibles.

3.5.2 Mise en perspective des résultats pour un contexte plus général

Bien que ce point ne fasse pas partie des objectifs initiaux de l'étude, un intérêt a été montré, dans une perspective de diffusion et de partage des conclusions de l'étude, à identifier les conclusions qui découlent des conditions particulières de Polytechnique. Le Tableau 3-1 traite de cet aspect.

Tableau 3-1 : Facteurs liés au contexte de Polytechnique et leur influence sur les résultats finaux

Type de données	Données	Contexte de Polytechnique	Influence sur les résultats finaux
Poids de la vaisselle	Poids des assiettes en bagasse et en carton	Tirées du catalogue d'Aramark Québec, mais semble correspondre à ce qui se fait en moyenne chez les fournisseurs.	Forte Des assiettes beaucoup plus légères dans les matériaux ou produites au Québec pourraient donner des résultats inverses, mais des assiettes n'ont pas été identifiées chez les fournisseurs.
Gestion en fin de vie	Récupération des gaz au LET	Polytechnique envoie ses déchets au LET de Ste-Sophie qui possède un système de captation des gaz (ce qui permet d'obtenir un crédit)	Forte. Si le LET ne captait pas les gaz les résultats ne seraient pas inversés pour la comparaison avec le compostage. Les taux de dégradation des différentes matières peuvent varier sensiblement d'un site à un autre.
	Technologie de compostage	Polytechnique envoie ses déchets au site de compostage de Laflèche, en Ontario. Des données propres à ce site n'étaient cependant pas disponibles.	Moyenne La technologie de compostage peu significativement influencer sur les résultats, en particulier ceux du volet B.
Distance	Distance parcourue jusqu'au centre de compostage	Polytechnique envoie ses matières organiques en Ontario à environ 150 km.	Moyenne Le transport est un contributeur important dans le volet B pour plusieurs catégories. Ce n'est néanmoins pas le facteur déterminant dans la comparaison des modes de gestion.

4 Conclusions

L'analyse conduite dans cette étude a permis d'identifier pour plusieurs pièces de vaisselle les options présentant le profil environnemental le plus avantageux. Parmi les options de vaisselle à usage unique, les pièces de vaisselle en polystyrène et en polypropylène actuellement employées à la cafétéria présentent des scores environnementaux le plus souvent inférieurs à ceux des options en matériaux biodégradables évaluées dans le cadre de cette étude. Néanmoins, il n'est pas possible de départager de façon globale les options d'assiettes ou de coquilles en PSE et en carton, chacune étant l'option préférable pour au moins une des quatre catégories de dommages considérées. Par ailleurs, les options de vaisselle réutilisable apparaissent préférables aux options de vaisselle à usage unique, dès un nombre d'utilisations des pièces de vaisselle supérieur à environ 300.

La prise en compte de la gestion en fin de vie des matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire de Polytechnique, parallèlement à l'utilisation de vaisselle, matières organiques ou autres, ne modifie pas les résultats de la comparaison des options de vaisselle. Quelle que soit l'option de vaisselle, la décomposition catalytique par micro-ondes apparaît cependant une solution prometteuse pour gérer les matières résiduelles générées dans les aires de service alimentaire. Cette technologie étant en cours de développement, les données utilisées et hypothèses faites à son sujet devraient néanmoins être revalidées lorsque la technologie sera disponible sur le marché.

À noter que cette étude n'avait pas pour objectif de couvrir l'ensemble des activités associées aux services alimentaires. À ce titre, il n'est pas établi de profil environnemental (soit les résultats pour les quatre catégories de dommages considérées) pour les services alimentaires puisque sont exclues les activités telles que la préparation des repas, la gestion des aliments, l'entretien des locaux, etc.

5 Références

ACCORSI, R., CASCINI, A., CHOLETTE, S., MANZINI, R. et MORA, C. (2014). Economic and environmental assessment of reusable plastic containers: A food catering supply chain case study. *International Journal of Production Economics* 152 p.88-101.

ASSOCIATION CANADIENNE DE L'INDUSTRIE DES PLASTIQUES (2008), *Densification of post-consumer expanded polystyrene*, Octobre 2008. 15 pages. En ligne : http://www.plastics.ca/files/file.php?fileid=itemfsMACVQota&filename=file_Complete_Densification_Report.pdf [page consultée le 7 juin 2013].

ASSOCIATION CANADIENNE DE L'INDUSTRIE DES PLASTIQUES (2013). *Recyclage du polystyrène*; En ligne: http://www.plastics.ca/Recycling/Polystyrene/index_fr.php. [page consultée le 7 juin 2013].

BEAUDOIN, C. (2006). *Food Packaging Materials for Takeout : The Industry and the Alternatives*, U. Concordia, 19 pages.

BÉLANGER, F. (2014). Communication personnelle. Transport et gestion des résidus ultimes de Polytechnique Montréal. 12 mai 2014. Échange téléphonique entre Frédéric Bélanger (consultant en environnement, RCI environnement inc.) et Geneviève Martineau, analyste du CIRAIG.

BOURRET, S. (2014). Communication personnelle. Utilisation du biogaz à l'usine de Cascades, Groupe Papiers fins. 21 mai 2014. Échange courriel entre Sandra Bourret (chargée de projet, Cascades Canada ULC) et Catherine Reid, analyste du CIRAIG. Informations complémentaires disponibles en ligne: http://papiers.cascades.com/biogaz_environnement.php [page consultée le 21 mai 2014].

BOUVIER, J. et BOSSUT, F. (2011). Comparaison par Analyse de Cycle de Vie (ACV). Gobelet jetable et réutilisable en Polypropylène (PP), gobelet en Acide Polylactique (PLA) et gobelet en carton, Stage Master 2 Ingénierie économique, Mountain Riders, p. [en ligne]. Disponible: http://www.sivomdebozel.info/resources/Comparaison+gobelets+ACV_Mountain+Riders.pdf

BROCA, M. (2008). A comparative analysis of the environmental impacts of ceramic plates and biodegradable plates (made of corn starch) using the Life Cycle Assessment tool. Department of Natural Resources, TERI University. Degree of Master of Science in Environmental Studies, 48 En ligne: http://sustainability.yale.edu/sites/default/files/mita_broca_report.pdf [page consultée le 17 mai 2012].

BROWNLEE, A., LI, C. et LO, M. (2013). Life Cycle Assessment: Aspenware Biodegradable Cutlery, UBC Social Ecological Economic Development Studies (SEEDS) Student Report, 38 pages p. [en ligne]. Disponible: http://sustain.ubc.ca/sites/sustain.ubc.ca/files/seedslibrary/CHBE%20484-%20Lifecycle%20Assesment%20of%20Aspenware%20%28UBC%20SEEDS%20Alyssa%20Brownlee%20Chris%20Li%20Maria%20Lo%29.pdf_reportsentApril82013.pdf

CIRAIG (2007) Évaluation et comparaison de scénarios de GMR selon une approche de cycle de vie. Rapport réalisé pour la Communauté Métropolitaine de Montréal.

CIRAIG (2014). Analyse du cycle de vie de la technologie Pyrowave pour le traitement de différentes matières résiduelles. Rapport réalisé pour J. Doucet et J-P. Laviolette (Kengtek & Département de Génie chimique, Polytechnique Montréal).

COMMISSION EUROPÉENNE, 2007. *Document de référence sur les meilleures techniques disponibles – Fabrication des céramiques*. Rapport de la Commission Européenne, en ligne : http://www.ineris.fr/jppc/sites/default/files/files/cer_bref_1206_VF_0.pdf. [page consultée le 31 janvier 2014].

COMPORECYCLE (2013). Communications personnelles de M. André-Luc Lafortune de CompoRecycle. Entrevues téléphoniques réalisées en novembre 2013.

CTTEI (2016). Guide technique sur le mise en valeur du polystyrène post-consommation. 109 pages. En ligne : <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/guide-technique-polystyrene.pdf> [page consultée le 12 septembre 2016]

CYCLE WOOD SOLUTIONS (2013). *Frequently ask questions*. En ligne : <http://www.cyclewood.com/faqs>. [page consultée le 7 juin 2013].

DECOSTE, M. (2014). *Matières résiduelles à Polytechnique*. Fichier de calcul Excel, adapté pour les besoin de l'étude.

DETZEL, A. et KRÜGER, M. (2006). Life Cycle Assessment of PLA : A comparison of food packaging made from NatureWorks® PLA and alternative materials, Rapport final réalisé par IFEU Heidelberg pour le compte de NatureWorks LLC, 146 pages En ligne: [http://www.ifeu.de/oekobilanzen/pdf/LCA%20zu%20PLA%20erstellt%20fuer%20NatureWorks%20\(Okt%202006\).pdf](http://www.ifeu.de/oekobilanzen/pdf/LCA%20zu%20PLA%20erstellt%20fuer%20NatureWorks%20(Okt%202006).pdf) [page consultée le 7 juin 2012].

DOKA, G. (2009). *Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services*. ecoinvent report No. 13. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Part II : Landfills, Underground deposits, Landfarming. 109 pages.

DROUIN-RACINE, C. (2015). Communication personnelle avec M. Charles Drouin-Racine, de Ni Corporation. Entrevue téléphonique réalisée le 31 mars 2015.

ECOINVENT (2014). *Municipal solid waste landfill calculator*. Ecoinvent v2.2 files,. En ligne : <https://db.ecoinvent.org/files.php?area=3e2c0806caa3c&action=list>. Compte d'utilisateur obligatoire.

EDELMANN, W., SCHLEISS, K. ET AL. (2012) *Ökologischer, energetischer und ökonomischer Vergleich von Vergärung, Kompostierung und Verbrennung fester biogener Abfallstoffe*. Rapport pour l'Office Fédérale de l'Énergie, Suisse. 135 pages.

EEQ (2012). Fiche technique : Impacts des emballages sur la collecte sélective et le recyclage – bouteille de PLA. En ligne : http://www.ecoentreprises.qc.ca/documents/pdf/applications/fiche3_tech_impact_emballage_fr.pdf [page consultée le 16 janvier 2016].

ENVIRONNEMENT CANADA (2012). National Inventory Report : Greenhouse gas sources and sinks in Canada. En ligne : http://publications.gc.ca/collections/collection_2014/ec/En81-4-2012-1-eng.pdf. [page consultée le 05 mai 2015].

ENVIRONNEMENT CANADA (2015). National Inventory Report : Greenhouse gas sources and sinks in Canada. Part 2. En ligne : http://publications.gc.ca/collections/collection_2016/eccc/En81-4-2013-2-eng.pdf. [page consultée le 14 novembre 2016].

ERLANDSSON, M., K.ODEEN et EDLUND, M.-L. (1992). Environmental consequences of various materials in utility poles – A life cycle analysis. . International Research Group on Wood

Preservation Annual meeting. Harrogate, UK, International Research Group on Wood Preservation. En ligne: www.uswag.org/2002/irgwp.pdf [page consultée le 7 juin 2013].

FAGNEN, S. (2016). Communication personnelle avec Mme. Shirley Fagnen, du Bureau du Développement durable de polytechnique. Échanges téléphoniques et courriels en août/septembre 2016.

FRANKLIN ASSOCIATES (2006). Life cycle inventory of polystyrene foam, bleached paperboard, and corrugated paperboard foodservice products. Prairie Village, Kansas, Rapport réalisé par Franklin Associates, Ltd pour le compte de The Polystyrene Packaging Council, du American Chemistry Council's Non-Durable Plastics Panel, 236 pages En ligne: <http://plastics.americanchemistry.com/LifeCycle-Inventory-of-Polystyrene-Foam-Bleached-and-Corrugated-Paperboard-Foodservice-Products> [page consultée le 15 octobre 2012].

FRANKLIN ASSOCIATES (2009). Life Cycle Environmental and Cost Analysis of Disposable and Reusable Ware in School Cafeterias, Including Dishwasher Operation, Final Peer-Reviewed Report Prepared For School Nutrition Foundation, 61 pages En ligne: http://www.schoolnutrition.org/uploadedFiles/School_Nutrition/110_SNFoundation/Warewash_Study-Final_Peer-Reviewed_Report.pdf [page consultée le 5 juin 2012].

FRANKLIN ASSOCIATES (2009a). Life Cycle Environmental and Cost Analysis of Disposable and Reusable Ware in School Cafeterias, Including Dishwasher Operation, Final Peer-Reviewed Report Prepared For School Nutrition Foundation, 61 pages. En ligne: http://www.schoolnutrition.org/uploadedFiles/School_Nutrition/110_SNFoundation/Warewash_Study-Final_Peer-Reviewed_Report.pdf [page consultée le 5 juin 2012].

FRANKLIN ASSOCIATES (2009b). Life cycle inventory of 16-ounce disposable hot cups, Rapport préparé par Franklin Associates, a division of Eastern Research Group inc., pour le compte de Microgreen Polymers, 92 pages. En ligne : http://www.microgreeninc.com/media/filer_public/2012/08/15/lifecycleanalysisreport.pdf [page consultée le 5 juin 2012].

FRANKLIN ASSOCIATES (2011). Life Cycle Inventory of Foam Polystyrene, Paper-Based, and PLA Foodservice Products, prepared for the Plastic Foodservice Packaging Group, 149 pages p. [en ligne]. Disponible: <http://plasticfoodservicefacts.com/Life-Cycle-Inventory-Foodservice-Products>

GARRIDO, N. et ALVAREZ DEL CASTILLO, M.D. (2007). Environmental Evaluation of Single-Use and Reusable Cups. International Journal of LCA 12(4) p.252-256.

GOEDKOOP, M.J., HEIJUNGS, R., HUIJBREGTS, M., DE SCHRYVER, A., STRUIJS, J. et VAN ZELM, R. (2009). ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level, First edition Report I: Characterisation; 6 January 2009, 126 En ligne: <http://www.lcia-recipe.net> [page consultée le 7 juin 2013].

GRANDCHAMP, G. et GIGER, L. (2009). Analyse de cycle de vie. Gobelets jetables, réutilisables, recyclables. Section Sciences et Ingénierie de l'Environnement, Faculté ENAC, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Projet SIE, Master III, 30 pages p. [en ligne]. Disponible: http://usine21.org/girons/Rapport_Gobelets_Recyclables.pdf

HÄKKINEN, T. et VARES, S. (2010). Environmental impacts of disposable cups with special focus on the effect of material choices and end of life. Journal of Cleaner Production 18(14) p.1458-1463.

HARNOTO, M. F. (2013). A Comparative Life Cycle Assessment of Compostable and Reusable Takeout Clamshells at the University of California, Berkeley. 24 pages. En ligne : http://nature.berkeley.edu/espm/classes/es196/projects/2013final/HarnotoM_2013.pdf [page consultée le 15 octobre 2012]

HUMBERT, S., ROSSI, V., MARGNI, M., JOLLIET, O. et LOERINCIK, Y. (2009). *Life cycle assessment of two baby food packaging alternatives: glass jars vs. plastic pots*. International Journal of Life Cycle Assessment 14(2) p.95-106.

HYDRO-QUÉBEC (2012). *Faits sur l'électricité d'Hydro-Québec : Approvisionnements énergétiques et émissions atmosphériques – 2012. Fiche d'information.*, En ligne: http://www.hydroquebec.com/developpement-durable/pdf/approvisionnement_energetiques_et_emissions_atmospheriques_d_hydro_quebec_2012.pdf [page consultée le 25 mai 2013].

HYDRO-QUÉBEC (2013). *Rapport annuel 2012*, 126 pages En ligne: http://www.hydroquebec.com/publications/fr/rapport_annuel/pdf/rapport-annuel-2012.pdf [page consultée le 25 mai 2013].

IEA (2009). *Electricity /Heat in Canada, United-States and Mexico in 2009.*, En ligne: pour le Canada : http://www.iea.org/stats/electricitydata.asp?COUNTRY_CODE=CA, pour les États-Unis : http://www.iea.org/stats/electricitydata.asp?COUNTRY_CODE=US, pour le Mexique : http://www.iea.org/stats/electricitydata.asp?COUNTRY_CODE=MX [page consultée le 15 juillet 2013].

IKEA (2013). *Assiette de carton*. En ligne : <http://www.ikea.com/ca/fr/catalog/products/00234867/>. [page consultée le 7 juin 2013].

ISO (2006a). ISO 14040: Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes et cadre, Organisation internationale de normalisation, 24 p.

ISO (2006b). ISO 14044: Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Exigences et lignes directrices, Organisation internationale de normalisation, 56 p.

JELSE, K. et WESTERDAHL, J. (2011). Life cycle assessment of premium single-use and reusable napkins for restaurant dinners. Stockholm, Rapport réalisé par IVL Swedish Environmental Research Institute pour le compte de Duni AB, 66 pages En ligne: http://www.duni.com/Global/AboutUs/Environment/Documents/U3473_Report_Duni-LCA-Critically-reviewed.pdf [page consultée le 15 octobre 2012].

JOLLIET, O., MARGNI, M., CHARLES, R., HUMBERT, S., PAYET, J., REBITZER, G. et ROSENBAUM, R. (2003). IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology. International Journal of Life Cycle Assessment 8(6) p.324-330.

KRÜGER, M., KAUERTZ, B. et DETZEL, A. (2009). Life cycle assessment of food packaging made of Ingeo bio-polymer and (r)PET. Heidelberg, Allemagne, IFEU GmbH. En ligne : http://www.natureworkslc.com/~media/The_Ingeo_Journey/Ingeo_vs_rPET/IFEU_LCA_Ingeo_Full_Report_012709_FINAL_pdf.pdf [page consultée le 27 avril 2015].

KUNNIGER, T. et RICHTER, K. (1995). Life cycle analysis of utility poles. A Swiss case study. 3rd International Wood Preservation Symposium: The Challenge – Safety and Environment,, Cannes-Mandelieu France. En ligne: www.uswag.org/2002/empa.pdf [page consultée le 7 juin 2013].

LACOMBE, G. (2012). Communication personnelle. Valorisation du biogaz produit au LET de Sainte-Sophie. Décembre 2012. Échange électronique entre Ghislain Lacombe (directeur ingénierie et environnement, WM Québec inc.) et Geneviève Martineau, analyste du CIRAIG.

LAPRESSE (2013). Transformer les déchets en énergie. En ligne : <http://affaires.lapresse.ca/portfolio/jeunes-entrepreneurs/201306/18/01-4662423-transformer-les-dechets-en-energie.php> [page consultée le 22 octobre 2013].

LAUZON-GOSSELIN, M. (2004a). *Discussion complémentaire et Sommaire du rapport "Projet cafétéria verte"*. En ligne : http://www.polymtl.ca/durable/docs/documents/sommaire_cafeteria_verte.pdf. [page consultée le 7 juin 2013].

LAVIOLETTE, J-P. (2014). Communication personnelle avec Jean-Philippe Laviolette, chercheur au département de génie chimique à Polytechnique Montréal, le 31 janvier 2014.

LAVIOLETTE, J-P. (2015). Évaluation de la qualité des produits générés avec les déchets de cafétéria de Polytechnique avec l'unité alpha. Version 1. Rapport technique confidentiel.

LAVIOLETTE, J-P. (2016). Communication personnelle avec Jean-Philippe Laviolette, chercheur au département de génie chimique à Polytechnique Montréal, le 7 juin 2016.

LIGHTHART, T.N. et ANSEMS, A.M.M. (2007). Single use Cups or Reusable (coffee) Drinking Systems: An Environmental Comparison, TNO Built Environment and Geosciences, 2006-A-R0246(E)/B, 121 pages + 4 annexes p. [en ligne]. Disponible: http://www.copobras.com.br/upload/ckfinder/files/Estudo%2520Completo_TNO_ING.pdf

MADIVAL, S., AURAS, R., SINGH, S.P. et NARAYAN, R. (2009). Assessment of the environmental profile of PLA, PET and PS clamshell containers using LCA methodology. *Journal of Cleaner Production* 17(13) p.1183-1194.

MAMI, F., ROHANI, N., TAKAHASHI, T. et VANDROMME N. (2012). « La vaisselle d'Aramark actuelle vs. la vaisselle biodégradable » Rapport final d'analyse du cycle de vie présenté dans le cadre du cours GCH 6310, École Polytechnique de Montréal, 63 pages.

MARCHAND, C. (2013). Recyclage: projet-pilote pour le polystyrène. La Presse. Montréalp. En ligne : <http://www.lapresse.ca/environnement/politique-verte/201310/15/01-4699635-recyclage-projet-pilote-pour-le-polystyrene.php> [page consultée le 27 avril 2015].

MARTINEAU, G. et LANMAFANKPOTIN, G. (2014). Analyse du cycle de vie de tasses réutilisables et de gobelets à café à usage unique. Montréal, CIRAIG, 159 pages. En ligne : http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/upload/publications/ACV_tasses_cafe_rapport.pdf

MDELCC (2004). Rapport d'analyse environnementale – Agrandissement du lieu d'enfouissement sanitaire de Sainte-Sophie. En ligne : <http://www.mdelcc.gouv.qc.ca/evaluations/decret/Sainte-Sophie.pdf>

NIOUCEL, C. (2014). Communication personnelle avec Caroline Nioucel, technicienne en développement durable au Collège Rosemont, le 31 janvier 2014.

ÖKO-INSTITUT E.V. (2011). *Preparatory Studies for Eco-design Requirements of Energy-using Products - Professional Washing Machines, Dryers and Dishwashers*. En ligne : <http://www.ecowet->

commercial.org/open_docs/Draft%20Final%20Report/EuP_Lot24_Dish_T5_Report_27102010.pdf. [page consultée le 22 octobre 2013].

OVAM (2006) Comparative LCA of 4 types of drinking cups used at events. Rapport réalisé par l'OVAM, 390 pages. En ligne : http://www.natureworkslc.com/~media/The_Ingeo_Journey/EcoProfile_LCA/LCA/OVAM_Cup_ComparativeLCA_FullReport_0206_pdf.pdf [page consultée le 7 juin 2013].

PE AMERICAS (2009). Comparative Life Cycle Assessment Ingeo™ biopolymer, PET, and PP Drinking Cups. Boston, MA, Starbucks Coffee Company, 52 pages. En ligne : http://www.natureworkslc.com/the-ingeo-journey/eco-profile-and-lca/life-cycle-analysis/~media/The_Ingeo_Journey/EcoProfile_LCA/LCA/PEA_Cup_Lid_LCA_FullReport_ReviewStatement_121209_pdf.pdf [page consultée le 27 avril 2015].

PHILIPPE, C. (2014). Communication personnelle avec Cynthia Philippe, conseillère en développement durable à l'UQAM, le 31 janvier 2014.

PLADERER, C., DINKEL, F. et DEHOUST, G. (2008). Comparative Life Cycle Assessment of various Cup Systems for the Selling of Drinks at Events. Focussing on major events such as the European Football Championships UEFA EURO 2008™ in Austria and Switzerland as well as the German "Bundesliga", Collaboration de Österreichisches Ökologie-Institut, Carbotech AG et Öko-Institut e.V. Deutschland. En ligne : http://www.meucopoeco.com.br/environmental_study.pdf [page consultée le 27 avril 2015].

POLYFORM (2013). *Environnement Polyvert: Récupération/Recyclage*. En ligne: <http://polyform.com/pages.php?page=environnement>. [page consultée le 22 octobre 2013].

POLYSTYVERT (2013). *Polystyvert – Recyclage de polystyrene*. En ligne : <http://www.polystyvert.com/> [page consultée le 22 octobre 2013].

PRIMEAU, M. (2012), *Alexandre Allard et Danny Luong: s'attaquer au polystyrène une bactérie à la fois*. La Presse, 20 janvier 2012. En ligne : <http://www.lapresse.ca/actualites/regional/personnalites-la-presse/201201/20/01-4487826-alexandre-allard-et-danny-luong-sattaquer-au-polystyrene-une-bacterie-a-la-fois.php> [page consultée le 7 juin 2013].

PRIMEAU, M. (2012). *Alexandre Allard et Danny Luong: s'attaquer au polystyrène une bactérie à la fois*. La Presse p.1.

PYROWAVE (2014). Page Facebook de la compagnie Pyrowave. <https://www.facebook.com/pyrowavequebec>

QUANTIS (2012). Comparative life cycle assessment of horticultural growing media based on peat and other growing media constituents. 156p. [en ligne]. Disponible: http://www.epagma.eu/sites/default/files/documents/epagma_growing-media-lca_final-report_2012-01-17_quantis.pdf

RAZZA, F., FIESCHI, M., DEGLI INNOCENTI, F. et BASTIOLI, C. (2009). Compostable cutlery and waste management: An LCA approach. *Waste Management* 29 p.1424-1433.

RDC ENVIRONNEMENT (2013). Étude de l'impact environnemental des gobelets réutilisables dans les événements. Bruxelles, 71 p. [en ligne]. Disponible: <http://documentation.bruxellesenvironnement.be/documents/STUD2013Gobelet.PDF>

RECYC-QUÉBEC (2011). Projet pilote de recyclage du polystyrène à Montréal. En ligne : <http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/client/fr/rubriques/Nouvelles.asp?id=662> [page consultée le 22 octobre 2013].

REFILLER (2013). Lifecycle Assessment: reusable mugs vs. disposable cups. Berne, Suisse.

RICHARD, É. (2014). Donner une deuxième vie au polystyrène. Radio-Canada. En ligne : <http://ici.radio-canada.ca/regions/estrie/2014/11/29/001-polyform-granby-polystyrene-styromousse-valorisation-recyclage.shtml>. [page consultée le 22 octobre 2013].

RRPS (2015). Projets pilotes de récupération et de recyclage du polystyrène et travaux du regroupement recyclage polystyrène (RRPS). 23 pages. En ligne : <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/projets-pilotes-recup-recyc-polystyrene.pdf> [page consultée le 12 septembre 2016]

SECOR (2011). Comité Polystyrène: Rapport final sur les travaux du comité, 20 pages. En ligne : <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/rapport-comite-polystyrene.pdf> [page consultée le 22 octobre 2013].

SIMON, R., RICE, E., KINGSBURY, T. et DORNFELD, D. (2012). A Comparison of Life Cycle Assessment (LCA) Software in Packaging Applications. Berkeley, LMAS - Laboratory for Manufacturing and Sustainability, University of California, College of Engineering, 151 pages p. [en ligne]. Disponible : http://lmas.berkeley.edu/public/wp-content/uploads/2012/10/packaging_comparison_of_lca_tools.pdf

SKELLING, M., LÉONARD, A. ET D'ASTOUS, A. (2006) *Projet vaisselle durable*. Présentation.

STEWART, J. (2007). Styrofoam recycler forced to close. En ligne : <http://www.mississauga.com/news-story/3120166-styrofoam-recycler-forced-to-close/> [page consultée le 7 juin 2013].

TO, K. et CHAN, W. (2006). A Life-Cycle and Economic Analysis: Paper Versus Ceramic Plates in the Barn Restaurant, CHBE 484, 21 pages p. En ligne : <https://circle.ubc.ca/bitstream/handle/2429/22662/A%20Lifecycle%20and%20Economic%20Analysis%20Paper%20vs%20Ceramic.pdf?sequence=1> [page consultée le 22 octobre 2013].

UDO-DE-HAES, H.A., FINNVEDEN, G. et GOEDKOOP, M. (2002). Life-Cycle Impact Assessment: Striving towards Best Practice, Society of Environmental Toxicology & Chemist, 272

UIHLEIN, A., EHRENBERGER, S. et SCHEBEK, L. (2008). Utilisation options of renewable resources: a life cycle assessment of selected products. Journal of Cleaner Production 16(12) p.1306-1320.

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE (2013). *Programme d'élimination de la vaisselle jetable*. En ligne : <http://www.usherbrooke.ca/developpement-durable/campus/matieres/vaisselle/>. [page consultée le 22 octobre 2013].

UNIVERSITÉ DU MINNESOTA (2013). *Biodegradable Thermoplastic from Lignin: a Waste Product from Pulp Mills and Bioethanol Manufacturing*. En ligne : http://www.license.umn.edu/Products/Biodegradable-Thermoplastic-from-Lignin--a-Waste-Product-from-Pulp-Mills-and-Bioethanol-Manufacturing_99187.aspx. [page consultée le 22 octobre 2013].

US EPA (2016). Documentation for Greenhouse Gas Emission and Energy Factors Used in the Waste Reduction Model (WARM). March 2015. Rapport préparé par ICF International pour l'U.S. Environmental Protection Agency. 416 pages.

VAN DER HARST, E., POTTING, J. et KROEZE, C. (2014). Multiple data sets and modelling choices in a comparative LCA of disposable beverage cups. *Science of The Total Environment* 494–495(0) p.129-143.

VERCALSTEREN, A., SPIRINCKX, C., GEERKEN, T. et CLAEYS, P. (2006). Comparative LCA of 4 Types of Drinking Cups Used At Event. Belgique, OVAM, p. [en ligne]. Disponible: http://www.natureworksllc.com/~media/The_Ingeo_Journey/EcoProfile_LCA/LCA/OVAM_Cup_ComparativeLCA_FullReport_0206_pdf.pdf

VILLE DE MONTRÉAL (2013). À la recherche du numéro 6. Montréal. [en ligne]. Disponible: http://ville.montreal.qc.ca/pls/portal/docs/page/arrond_pmr_fr/media/documents/projet_polystyrne.pdf

VILLE DE MONTRÉAL (2016). À la recherche du numéro 6. Montréal. [en ligne]. Disponible: http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=7237,117249575&_dad=portal&_schema=PORTAL. [page consultée le 15 novembre 2016].

VILLE DE SHERBROOKE (2012), *Un projet pilote de récupération de styromousse*, Ville de Sherbrooke, 1 page. En ligne : http://www.plastics.ca/files/file.php?fileid=filemSgeXCXCpG&filename=file_City_of_Sherbrooke_PS_Foam_Collection_Notice_Oct_2012.pdf [page consultée le 22 octobre 2013].

VOLSTAD, S. (2012), *Concordia student makes environmental breakthrough*. Université Concordia. En ligne : <http://www.concordia.ca/now/what-we-do/research/20120201/concordia-student-makes-environmental-breakthrough.php> [page consultée le 22 octobre 2013].

YING, S.-W. (2001). *Waste polystyrene liquefaction technology*, Energy Research Laboratory, Taiwan.

Annexe A : Méthodologie d'analyse du cycle de vie (ACV)

Le contenu de cette annexe est inclus dans le fichier
« CIRAIG_Poly_Vaisselle_Annexe_A-Methodologie_ACV.pdf » fourni avec le présent rapport.

Annexe B : **Méthode d'évaluation des impacts du cycle de vie**

Le contenu de cette annexe est inclus dans le fichier
« CIRAIG_Poly_Vaisselle_Annexe_B – IMPACT 2002+ v1.15.pdf » fourni avec le présent rapport.

Annexe C : Données et hypothèses

Le contenu de cette annexe est inclus dans le fichier
« CIRAIG_Poly_Vaisselle_Annexe_C.xlsx » fourni avec le présent rapport.

Annexe D : **Évaluation de la qualité des données d'inventaire**

D.1 Critères d'évaluation de la qualité des données

Le Tableau D-1 présente les critères de qualification des données utilisés. Ces critères concernent la fiabilité et la représentativité des données. Il est à noter que cette étude est simplifiée dans l'objectif de ne pas alourdir le processus d'évaluation des impacts du cycle de vie, mais représente une excellente vue d'ensemble du type de données d'inventaire collectées.

Tableau D-1 : Critères de qualification des données (quantités et processus)

Pointages	Critères de qualification de la <u>fiabilité</u> des données (quantités)
1	Données vérifiées mesurées ou calculées sur le terrain - <i>Cette donnée remplit le critère « fiabilité/précision » requis pour le cas à l'étude</i>
2	Données vérifiées, en partie issues d'hypothèses ou Données non vérifiées issues de mesures (documents fournis par le mandataire ou littérature) – <i>cette donnée est jugée suffisamment précise/fiable par l'équipe d'analystes pour le cas à l'étude</i>
3	Données non vérifiées, en partie issues d'hypothèses ou Estimation de qualité (effectuée par un expert) – <i>cette donnée est jugée utilisable par l'équipe d'analystes, mais sa fiabilité/précision pourrait être améliorée</i>
4	Données estimées de façon grossière - <i>Cette donnée ne remplit pas le critère « fiabilité/précision » requis pour le cas à l'étude</i>
Pointages	Critères de qualification de la <u>représentativité</u> des données (processus)
1	Données de terrain (du cadre à l'étude), de laboratoire - <i>Cette donnée remplit le critère « représentativité » requis pour le cas à l'étude</i>
2	Bonne représentativité géographique et/ou technologique du processus sélectionné – <i>cette donnée est jugée suffisamment représentative par l'équipe d'analystes pour le cas à l'étude</i>
3	Données relatives au même procédé ou matériau, mais se référant à une technologie différente (ex. : processus représentatif disponible dans la banque ecoinvent) – <i>Cette donnée est jugée utilisable par l'équipe d'analystes, mais sa représentativité pourrait être améliorée</i>
4	Représentativité géographique et/ou technologique inadéquate. La donnée recherchée n'est pas facilement accessible, utilisation d'un autre processus comme approximation - <i>Cette donnée ne remplit pas le critère « représentativité » requis pour le cas à l'étude</i>

D.2 Résultats – analyse de qualité des données

Le Tableau D-3 présente un résumé de l'évaluation de la qualité des données.

La qualité des données « fiabilité » fait référence à la quantification des flux (matière et énergie, distances de transport, quantités de rejets). La qualité des données « représentativité » fait plutôt référence à la validité géographique et technologique et la complétude des jeux de données (processus) génériques sélectionnés. Enfin, la contribution potentielle aux scores environnementaux, i.e. aux résultats d'indicateurs pour les quatre catégories de dommages considérées, réfère à l'influence du processus ou du paramètre évalué sur les résultats. Pour simplifier la lecture, un code de couleur a été ajouté et est présenté au Tableau D-2.

Tableau D-2 : Critères de contribution et de qualité des données

Contribution		Qualité	
0-5%	Contribution potentiellement faible ou négligeable	1	Remplit le critère pour le cas à l'étude
6-10%	Contribution potentiellement influente	2	Jugée suffisamment représentative
11-50%	Forte contribution potentielle	3	Jugée utilisable, mais pouvant être améliorée
51-100%	Très forte contribution potentielle	4	Ne remplit pas le critère pour le cas à l'étude

Rappelons que de manière générale, une note de « 1 » correspond à une très bonne évaluation, alors qu'une note de « 4 » correspond à une donnée qui devrait être améliorée afin de remplir les différents critères de qualité. Ainsi, les processus pour lesquels la qualité des données est considérée comme étant limitée ou insuffisante sont surlignés en rouge (note « 4 ») et les processus pouvant être améliorés sont en orangé (note « 3 »).

En ce qui a trait à la contribution, une plage de valeurs est présentée. Elle indique la contribution minimale et maximale du processus évalué en fonction des quatre catégories de dommages considérées (c.-à-d. *Santé humaine, Qualité des écosystèmes, Changement climatique* et *Ressources*). La contribution globale du processus évalué (couleur de la case) a été établie en fonction de sa contribution maximale, tous indicateurs confondus.

Tableau D-3 : Contribution des processus et qualité des données (Volet A – assiettes)

Étape du cycle de vie / Processus	Contribution à l'impact global du système	Qualité	
		Fiabilité (Quantité)	Représentativité (Processus)
Assiette/Option en PSE	100%		
Production	98-161%	2	2
Distribution	2-16%	2	2
Gestion en fin de vie	-77-0%	2	2
CO2 capté	9%	2	
Production	100%		
PSE	16-80%	1	3
Énergie de production	11-26%	2	2
Emballage	8-63%	3	2
Distribution	100%		
Transports	2-16%	2	2
Gestion en fin de vie	100%		
Recyclage du carton	-135--105%	2	3
Enfouissement du PSE	5-223%	2	2

Assiette/Option en bagasse	100%		
Production	90-101%	2	2
Distribution	7-15%	2	2
Gestion en fin de vie	-15-16%	2	2
CO2 capté	-25%	2	
Production	100%		
Bagasse	0-30%	1	3
Énergie de production	49-95%	3	2
Emballage	3-21%	3	2
Distribution	100%		
Transports	7-15%	2	2
Gestion en fin de vie	100%		
Recyclage du carton	-292--25%	2	3
Compostage de la bagasse	18-192%	2	2
Assiette/Option en carton	100%		
Production	99-260%	2	2
Distribution	1-2%	2	2
Gestion en fin de vie	-5-44%	2	2
CO2 capté	-206%	2	
Production	100%		
Carton	63-84%	1	3
Énergie de production	8-26%	2	2
Emballage	7-11%	3	2
Distribution	100%		
Transports	1-2%	2	2
Gestion en fin de vie	100%		
Recyclage du carton (emballage)	-363--28%	2	3
Compostage du carton (assiette)	20-263%	2	2
Assiette réutilisable (céramique)	100%		
Production	12-80%	2	2
Distribution	2-12%	2	2
Utilisation	15-86%	2	2
Gestion en fin de vie	0-1%	2	2
CO2 capté	-1%	2	
Production	100%		
Céramique	94-100%	1	2
Emballage	0-6%	3	2
Distribution	100%		
Transports	2-12%	2	2

Utilisation		100%	
Production du lave-vaisselle	6-19%	2	2
Lavage (énergie, eau, savon et eaux usées)	81-94%	2	2
Gestion en fin de vie		100%	
Recyclage du carton (emballage)	-669--6%	2	3
Compostage du carton (assiette)	72-569%	2	2

Tableau D-4 : Contribution des processus et qualité des données (Volet B)

Étape du cycle de vie / Processus	Contribution à l'impact global du système	Qualité	
		Fiabilité (Quantité)	Représentativité (Processus)
Enfouissement des MO	100%	2	2
Transport	-935-63%	1	2
Traitement	-551-105%	3	2
Crédits pour les coproduits	-18-1586%	3	2
Compostage des MO	100%	2	2
Transport	9-133%	1	2
Traitement	22-95%	2	2
Crédits pour les coproduits	-55--4%	3	3
Décomposition catalytique des MO	100%	1	2
Transport	n/a	n/a	n/a
Traitement	-510-240%	1	1
Crédits pour les coproduits	-140-610%	1	3

Pour plus de détails, voir le fichier « CIRAIG_Poly_Vaisselle_Annexes D+E.xlsx » fourni avec le présent rapport.

Annexe E : Résultats bruts

Le contenu de cette annexe est inclus dans le fichier
« CIRAIG_Poly_Vaisselle_Annexes D+E.xlsx » fourni avec le présent rapport.

Annexe F: Glossaire

Aérobique	Relatif à l'aérobie, qui vit ou qui n'a lieu qu'en présence d'oxygène.
Biodégradable	Substance pouvant être dégradée par des organismes vivants.
Compostable	Que l'on peut transformer en compost (mélange de matières organiques subissant une décomposition aérobique pour former un humus stable de bonne qualité qui servira ensuite comme amendement ou couverture de sol).
Polystyrène	Polymère obtenu par la polymérisation des monomères de styrène.
Polystyrène expansé	Mousse blanche et compacte, constituée de polystyrène, utilisée le plus souvent comme isolant thermique et comme emballage. Aussi appelé styromousse. <i>(Le polystyrène expansé est obtenu à partir de polystyrène cristal auquel on a ajouté, en cours de polymérisation, un agent d'expansion (souvent vapeur d'eau puis pentane)).</i>
Styrène	Composé organique aromatique de formule chimique C ₈ H ₈ , incolore, huileux, toxique, inflammable et liquide à température et à pression ambiantes.

Les abréviations des matières plastiques ont été utilisées. Leur définition est donnée ici :

	Polyéthylène téréphtalate (PET)		Polypropylène (PP)
	Polyéthylène haute densité (PEHD ou HDPE).		Polystyrène (PS), pouvant être expansé (PSE), d'usage général (GPPS) ou résistant aux chocs (HIPS)
	Polychlorure de vinyle (PVC)		Autres plastiques, incluant le polycarbonate (PC), l'acide polylactique (PLA) l'acrylique et le nylon
	Polyéthylène basse densité (PEBD ou LDPE)		

Annexe G: Revue de littérature

Les différentes études répertoriées et analysées pour la revue de littérature sont détaillées dans le tableau ci-dessous.

Tableau G-1 : Études publiées sur la vaisselle jetable

Auteurs (année)	Contexte géographique	Titre	Produits analysés / comparés	Commentaire
Accorsi et al. (2014)	Italie	Economic and environmental assessment of reusable plastic containers: A food catering supply chain case study	Emballages pour livraison de fruits et légumes frais : <ul style="list-style-type: none"> • Caisse en bois • Caisse en plastique (PP) • Carton de papier • Récipient en plastique réutilisable (PP) 	UF : Le transport de 1200 tonnes de fruits et légumes tout au long de la chaîne d'approvisionnement de restauration.
Bouvier et Bossut (2011)	France	Comparaison des impacts environnementaux des gobelets dans l'événementiel	Gobelet jetable en PP Gobelet réutilisable en PP Gobelet biodégradable en PLA ou en carton et PLA	UF : 1 utilisation d'un gobelet de 25 cl sur une manifestation.
Brownlee et al. (2013)	Colombie-Britannique, Canada	Life Cycle Assessment: Aspenware Biodegradable Cutlery	Couverts en bois et en plastique (polystyrène)	UF : 1 ustensile (couvert)
Detzel et Krüger (2006)	Allemagne	Life Cycle Assessment of PLA : A comparison of food packaging made from NatureWorks® PLA and alternative materials	Emballages pour emporter double coque (<i>clamshell</i>)	UF : 1 000 unités d'emballage de 500 ml pour emporter de la nourriture froide
Franklin Associates (2006)	États-Unis	Life Cycle Inventory of five products produced from PLA and Petroleum-based Resins	Gobelets jetables en : <ul style="list-style-type: none"> • HIPS • PET • PP • PLA 	UF : 10 000 gobelets de 16 oz utilisés dans les marchés
Franklin Associates (2009a)	États-Unis	Life Cycle Environmental and Cost Analysis of Disposable	Plateaux de service compartimenté réutilisable (PC) et jetable (PS) Assiette compartimentée	UF : 100 000 repas complets servis.

Auteurs (année)	Contexte géographique	Titre	Produits analysés / comparés	Commentaire
		and Reusable Ware in School Cafeterias, Including Dishwasher Operation	jetable (PS) sur plateau plat réutilisable (fibre de verre) Assiette et bol jetables (PS) sur plateau plat réutilisable (fibre de verre)	
Franklin Associates (2009b)	États-Unis	Life cycle inventory of 16-ounce disposable hot cups	Gobelets de 16 oz jetables en : <ul style="list-style-type: none"> • mousse de PET recyclé SMX (Solid-state Microcellular eXpansion) • PSE • papier et PE (avec ou sans gaine en carton ondulé non blanchi) 	UF : 10 000 gobelets à usage unique de 16 oz pour boisson chaude, incluant l'emballage. Résultats limités à l'énergie, la production de déchets solides et les GES.
Franklin Associates (2011)	États-Unis	Life Cycle Inventory of Foam Polystyrene, Paper based, and PLA Foodservice Products	Gobelets pour boisson chaude de 16 oz jetables en : <ul style="list-style-type: none"> • PSE • papier et PE (avec ou sans gaine en carton ondulé non blanchi) • papier et PLA (avec ou sans gaine en carton ondulé non blanchi) Gobelets pour boisson froide de 32 oz jetables en : <ul style="list-style-type: none"> • PSE • papier blanchi et PE • papier blanchi ciré • PLA rigide Assiettes 9 po haute résistance en : <ul style="list-style-type: none"> • GPPS • papier blanchi doublé de PE • pâte moulée • PLA rigide 	Mise à jour d'une étude de 2006 Résultats limités à l'énergie, la production de déchets solides, l'évaluation du potentiel de réchauffement global (100 ans) et la consommation d'eau

Auteurs (année)	Contexte géographique	Titre	Produits analysés / comparés	Commentaire
			Emballages double coque pour sandwich (5 po) en : <ul style="list-style-type: none"> • GPPS • carton ondulé. • PLA rigide 	
Garrido et Alvarez del Castillo (2007)	Espagne	Environmental Evaluation of Single-Use and Reusable Cups	Gobelet jetable en PP Gobelet réutilisable en PP	<i>UF</i> : Servir 1 000 l de breuvage (froid) Gobelets utilisés lors d'événements.
Grandchamp et Giger (2009)	Suisse	ACV Gobelets jetables, réutilisables, recyclables	Gobelet jetable en PET Gobelet réutilisable en PP Gobelet recyclable en PET (haute qualité)	<i>UF</i> : L'utilisation d'un gobelet pouvant contenir 3 dl de boisson Gobelets utilisés lors d'événements
Häkkinen et Vares (2010)	Europe	Environmental impacts of disposable cups with special focus on the effect of material choices and end of life	Gobelets jetables en : <ul style="list-style-type: none"> • carton et PE • carton et PLA • PET 	<i>UF</i> : 100 000 gobelets pour boissons froides Impact évalué : potentiel de réchauffement climatique
Harnoto (2013)	Colombie-Britannique, Canada	A Comparative Life Cycle Assessment of Compostable and Reusable Takeout Clamshells at the University of California, Berkeley	Emballages double coque triple compartiments réutilisables (polypropylène) et compostables (bagasse)	<i>UF</i> : 1 triple compartiment réutilisable
Jelse et Westerdahl (2011)	Allemagne, Suisse, Royaume-Uni	Life cycle assessment of premium single-use and reusable napkins for restaurant dinners	Serviettes de table jetables (papier) et réutilisables (coton et lin)	<i>UF</i> : une utilisation de serviette de table dans un restaurant moyen

Auteurs (année)	Contexte géographique	Titre	Produits analysés / comparés	Commentaire
Krüger <i>et al.</i> (2009)	Europe, États-Unis	Life cycle assessment of food packaging made of Ingeo bio-polymer and (r)PET	Emballage double coque en PLA	Addenda à l'étude de Detzel et Krüger (2006)
Lighthart et Ansems (2007)	Europe	Single use Cups or Reusable (coffee) Drinking Systems: An Environmental Comparison	Tasse en céramique, avec soucoupe Tasse (mug) en terre cuite Gobelets jetables en : <ul style="list-style-type: none"> • PS • PS avec support réutilisable • papier 	UF : La distribution de 1 000 unités de boissons chaudes à partir d'une machine distributrice dans un bureau ou une usine
Madival <i>et al.</i> (2009)	États-Unis	Assessment of the environmental profile of PLA, PET and PS clamshell containers using LCA methodology	Emballages coquille pour la vente de fraises	UF : 1 000 unités d'emballage d'une capacité de 0,4536 kg de fraises (1 lb)
Martineau et Lanmafank potin (2014)	Québec, Canada	Analyse du cycle de vie de tasses réutilisables et de gobelets à café à usage unique	Gobelet jetable en carton doublé de polyéthylène (PE), avec couvercle en polystyrène (PS) Tasse en céramique Tasses de voyage avec couvercle et poignée en polypropylène (PP) en : <ul style="list-style-type: none"> • acier inoxydable • PP • PC 	UF : Servir un café de format « moyen » (équivalent à 16 oz ou 475 ml) par jour, pour consommation sur place dans un point de restauration québécois, pendant un an (2013) Inclut une revue de littérature Impacts sociaux et économiques considérés
PE Americas (2009)	États-Unis	Comparative LCA Ingeo™ biopolymer,	Gobelets jetables, avec couvercle, en : <ul style="list-style-type: none"> • PET 	UF : un gobelet de 16 oz en plastique pour boisson

Auteurs (année)	Contexte géographique	Titre	Produits analysés / comparés	Commentaire
		PET, and PP Drinking Cups	<ul style="list-style-type: none"> • PLA • PP 	froide, avec un couvercle
Pladerer et al. (2008)	Suisse, Allemagne	Comparative Life Cycle Assessment of various Cup Systems for the Selling of Drinks at Events	<p>Gobelets jetables en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PET • PS • carton • PLA • matière plastique développée par Belland <p>Gobelet réutilisable en PP</p>	But de l'étude : dresser un écobilan comparatif des types de gobelets les plus fréquemment utilisés dans les débits de boissons. Pour l'UEFA EURO 2008.
Razza et al. (2009)	Italie	Compostable cutlery and waste management: An LCA approach	<p>Ustensiles biodégradables et compostables</p> <p>Ustensile jetable en GPPS</p>	UF: servir 1 000 repas
RDC Environnement (2013)	Belgique	Étude de l'impact environnemental des gobelets réutilisables dans les événements	<p>Gobelet réutilisable en PP</p> <p>Gobelet réutilisable en verre</p> <p>Gobelet jetable en PP</p> <p>Gobelet jetable en PLA</p>	UF : servir 25 cl d'une boisson
Refiller (2013)	Suisse	Lifecycle Assessment: reusable mugs vs. disposable cups	<p>Tasse en céramique</p> <p>Tasse de voyage (KeepCup)</p> <p>Gobelets jetables en :</p> <ul style="list-style-type: none"> • papier et PE • PS 	UF : 500 services de café (nombre de réutilisations des tasses, par hypothèse). Indicateurs évalués : réchauffement global et énergie non renouvelable.
Simon et al. (2012)	États-Unis	A Comparison of Life Cycle Assessment (LCA) Software in Packaging Applications	<p>Gobelets 16 oz jetables pour boissons froides et chaudes en :</p> <ul style="list-style-type: none"> • PLA, PS, PP, PET recyclé • en papier doublé de PE • papier recyclé 	Paramètres clés seulement puisque logiciels ACV différents Comparaison de 5 outils ACV

Auteurs (année)	Contexte géographique	Titre	Produits analysés / comparés	Commentaire
			<ul style="list-style-type: none"> • papier doublé de PLA 	appliqués à l'évaluation d'emballages. UF : 24 000 gobelets de 16 oz.
Uihlein <i>et al.</i> (2008)	Allemagne	Utilisation options of renewable resources: a life cycle assessment of selected products	Gobelets jetables : <ul style="list-style-type: none"> • en PLA de maïs • en PS 	Comparaison directe d'un gobelet par rapport à l'autre.
van der Harst et Potting (2013)	Pays-Bas	Multiple data sets and modelling choices in a comparative LCA of disposable beverage cups	Gobelets jetables en : <ul style="list-style-type: none"> • PP • PLA • « biopaper » 	UF : servir 180 ml de boissons chaudes par distributeurs automatiques
Vercalsteren <i>et al.</i> (2006)	Belgique	Comparative LCA of 4 types of drinking cups used at events	Gobelet réutilisable en PC Gobelets jetables en : <ul style="list-style-type: none"> • PP • carton et PE Gobelet biodégradable en PLA	Comparaison des impacts environnementaux de gobelets durant les événements

Annexe H : Rapport de revue critique

Le contenu de cette annexe est inclus dans le fichier
« CIRAIG_Poly_Vaisselle_Annexe H.pdf » fourni avec le présent rapport.