



Rapport technique

Empreinte carbone des plats servis à Polytechnique Montréal pour la session d'automne 2023

Octobre 2023

Préparé pour
Polytechnique Montréal
2500 Chem. de Polytechnique, Montréal, QC H3T 1J4

CIRAIG



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

Les auteurs sont responsables du choix et de la présentation des résultats. Les opinions exprimées dans ce document sont celles des membres de l'équipe de projet et n'engagent aucunement Polytechnique Montréal ou l'ESG-UQÀM.

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

CIRAIG

Centre international de référence sur l'analyse du cycle de vie et la transition durable
Polytechnique Montréal
3333 Chemin Queen-Mary, suite 310
Montréal (Québec) Canada
H3V 1A2

www.ciraig.org

Avis au lecteur

Ce rapport n'est pas un rapport d'analyse du cycle de vie. C'est un rapport simplifié de quantification d'empreinte carbone pour un projet d'implantation d'affichage d'empreinte carbone.

Équipe de travail

Réalisation

Lisa Duval

Rédaction et modélisation

Catherine Houssard

Direction du projet

Collaboration

Sara Russo-Garrido, M.Phil., M.Sc

Direction exécutive du CIRAIG

Pr Réjean Samson, Ing., PhD

Direction générale du CIRAIG

Table des matières

ÉQUIPE DE TRAVAIL.....	IV
TABLE DES MATIÈRES	V
LISTES DES TABLEAUX.....	VI
LISTES DES FIGURES	VII
LISTE DES ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS	VIII
1 MISE EN CONTEXTE.....	9
2 MÉTHODOLOGIE.....	12
3 CHAMP DE L'ÉTUDE	16
4 RÉSULTATS	23
5 CONCLUSIONS	40
6 RÉFÉRENCES	41
ANNEXE A : COMPOSITION ET ANALYSE DE CONTRIBUTION DES INGRÉDIENTS À L'EMPREINTE CARBONE TOTALE D'UN PLAT	43
ANNEXE B : HYPOTHÈSES ET MODÉLISATION DES INGRÉDIENTS REMODÉLISÉS	55

Listes des tableaux

Tableau 1 : Liste des plats ayant été quantifiés et leur groupe correspondant	11
Tableau 2 : Le barème de notation.....	15
Tableau 3 : Inclusions et exclusions du système	17
Tableau 4 : Sources de données	20
Tableau 5 : Empreinte carbone, masse et note pour une portion de repas pour l'ensemble des plats analysés	24
Tableau 6 : tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les salades.....	27
Tableau 7 : tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les pizzas	28
Tableau 8 : tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les pâtes.....	29
Tableau 9 : tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les burgers (seuls).....	31
Tableau 10 : tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les burgers (avec accompagnement de frites)	35
Tableau 11 : tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les frites et poutines	36
Tableau 12 : tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les plats de la catégorie « Autres ».....	37
Tableau 13 : tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les plats de la catégorie « Autres » (avec un accompagnement de frites)	39

Listes des figures

Figure 1 : Étapes génériques d'un cycle de vie	12
Figure 2 : Illustration des étapes du cycle de vie selon ISO 14040	13
Figure 3 : Illustration des étapes d'inventaire et d'évaluation des impacts	14
Figure 4 : Frontières du système à l'étude	17
Figure 5 : Penne Alfredo, analyse de contribution par étape du cycle de vie	25
Figure 6 : Penne Alfredo, analyse de contribution par ingrédient	26
Figure 7 : classement des salades selon leur empreinte carbone totale par portion.....	27
Figure 8 : classement des pizzas selon leur empreinte carbone totale	28
Figure 9 : classement des pâtes selon leur empreinte carbone totale.....	30
Figure 10 : classement des burgers (seuls) selon leur empreinte carbone totale	31
Figure 11 : Analyse de contribution par ingrédient pour les burgers végétariens (colonne de gauche) et leur galette (colonne de droite).....	33
Figure 12 : Analyse de contribution par ingrédient pour les burgers au poulet et au saumon (colonne de gauche) et leur galette (colonne de droite)	34
Figure 12 : classement des frites et poutines selon leur empreinte carbone totale	36
Figure 11 : Analyse de contribution par ingrédient pour les poutines hot dog et viande fumée	37
Figure 15 : classement des plats de la catégorie « Autres » selon leur empreinte carbone totale.....	38

Liste des acronymes et abréviations

CIRAIG	Centre international de référence sur le cycle de vie des produits procédés et services
PNUE	Programme des Nations Unies sur l'Environnement
ACV	Analyse du Cycle de Vie
ASCV	Analyse Sociale du Cycle de Vie
ACCV	Analyse des Coûts du Cycle de Vie
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ASaP	Association des Services Alimentaires de Polytechnique
AEP	Association Etudiante de Polytechnique
ICV	Inventaire du cycle de vie
GES	Gaz à Effet de Serre
ISO	Organisation internationale de normalisation
PDF	« Potentially Disappeared fraction of species » (fraction des espèces susceptible de disparaître)
PRG	Potentiel de Réchauffement Global
GWP	Global Warming Potential
BLT	Sandwich Bacon Laitue Tomates

1 Mise en contexte

L'Association des Services Alimentaires de Polytechnique (ASaP) en partenariat avec l'Association étudiante de Polytechnique (AEP) et le bureau du développement durable de Polytechnique Montréal souhaite sensibiliser les usagers de la cafétéria de Polytechnique Montréal sur l'empreinte carbone des aliments qu'ils consomment pour ultimement les encourager à faire des choix plus durables.

Ce projet vise à déployer l'étiquetage de l'empreinte carbone des plats servis par les services alimentaires de Polytechnique. Le CIRAIQ a été mandaté pour quantifier l'empreinte carbone de 38 plats servis aux cafétérias de l'ASAP à l'automne 2023 avec une approche cycle de vie.

Ce projet s'inscrit dans la continuité de la phase pilote de mai 2022 (Blais-Gingras, Houssard, & Saunier, 2022) qui visait à développer le système de notation pour la classification des plats et avait permis de quantifier l'empreinte carbone de 10 plats servis durant la session d'été 2022; et du premier déploiement du concept d'étiquetage à l'automne 2022 (Grefte, Blais-Gingras, Houssard, & Saunier, 2022), pour lequel le CIRAIQ avait quantifié l'empreinte carbone de 12 plats correspondant aux plats servis à la table chaude les jeudis.

Objectifs

Quantifier l'empreinte carbone de 38 plats servis à la cafétéria de Polytechnique Montréal à l'automne 2023 et leur attribuer une note selon le barème préalablement établi (Blais-Gingras, Houssard, & Saunier, 2022).

Terminologie utilisée

Un « **plat** » correspond à typiquement une portion individuelle ou item vendu par les services alimentaires de Polytechnique Montréal. La masse d'aliments et la qualité nutritionnelle des plats ne sont pas équivalentes d'un plat à l'autre et un plat ne constitue pas nécessairement un repas complet équilibré.

Une « **portion individuelle de repas** » correspond à une **quantité typique d'aliments pouvant constituer un plat principal ou un repas** selon les habitudes de consommation des usagers de l'AsAP. Une portion individuelle de repas peut être constituée de 2 plats (exemple : burger + frite) et ne constitue pas nécessairement un repas complet équilibré.

Plats étudiés

L'empreinte carbone de 38 plats a été déterminée. Pour 14 de ces plats, la quantification d'un accompagnement de frites a été ajoutée, ce qui constitue un total de 52 portions individuelles de repas quantifiés. À des fins de comparabilité, les plats ont été répartis selon plusieurs grands groupes et sont présentés dans le Tableau 1 :

- Les salades (cinq salades repas)
- Les pizzas (cinq pizzas servies par portion de une pointes)
- Les plats de pâtes (trois sauces au choix)

- Les burgers (neuf burgers servis avec ou sans accompagnement de frites)
- Les frites et poutines (cinq choix possibles servis en petites et grandes portions)
- Les plats restants ont été regroupés dans une catégorie « Autres » (six plats, dont cinq sont également servis avec accompagnement de frites)

Limites

Ce projet pédagogique est une première étape pour sensibiliser les usagers de la cafétéria à l'empreinte carbone des items alimentaires qu'ils consomment.

Les catégories d'impacts environnementaux autres que celle des changements climatiques ne sont pas considérées dans cette analyse.

Les aspects nutritionnels des plats servis par les services alimentaires de Polytechnique ne sont pas considérés dans cette analyse.

Tableau 1 : Liste des plats ayant été quantifiés et leur groupe correspondant

Type de plat	Nom des recettes
Salades	Salade crevettes asiatique
	Salade poulet mexicaine
	Salade saumon
	Salade au poulet croustillant
	Salade au tofu croustillant
Pizzas	Pizza légumes grillés
	Pizza toute garnie
	Pizza steak-saucisse-piment
	Pizza 3 fromages
	Pizza Pepperoni
Pâtes	Penne Alfredo
	Penne viande
	Penne sauce légumes grillés
Burgers	Burger boeuf *
	Cheeseburger *
	Double burger*
	Double Cheeseburger*
	Burger poulet croustillant*
	Burger végan croustillant*
	Burger végétarien*
	Burger végétarien croustillant*
Burger saumon bbq*	
Frites et poutines	Frites
	Frite grande
	Frite Sauce
	Grande Frite Sauce
	Poutine
	Grande poutine
	Poutine hot dog
	Grande poutine hot dog
	Poutine viande fumée
	Grande poutine viande fumée
Autres	Fish and Chips
	Pogo végétarien*
	Club sandwich poulet*
	BLT*
	Ailes de poulet*
Filet de poulet*	

*Plats pour lesquels l’empreinte carbone a été calculée sans accompagnement, puis avec un accompagnement de frites

2 Méthodologie

L'approche cycle de vie

L'approche cycle de vie permet d'évaluer les impacts environnementaux d'un produit, service ou comportement sur toutes les étapes de leur cycle de vie (voir Figure 1).

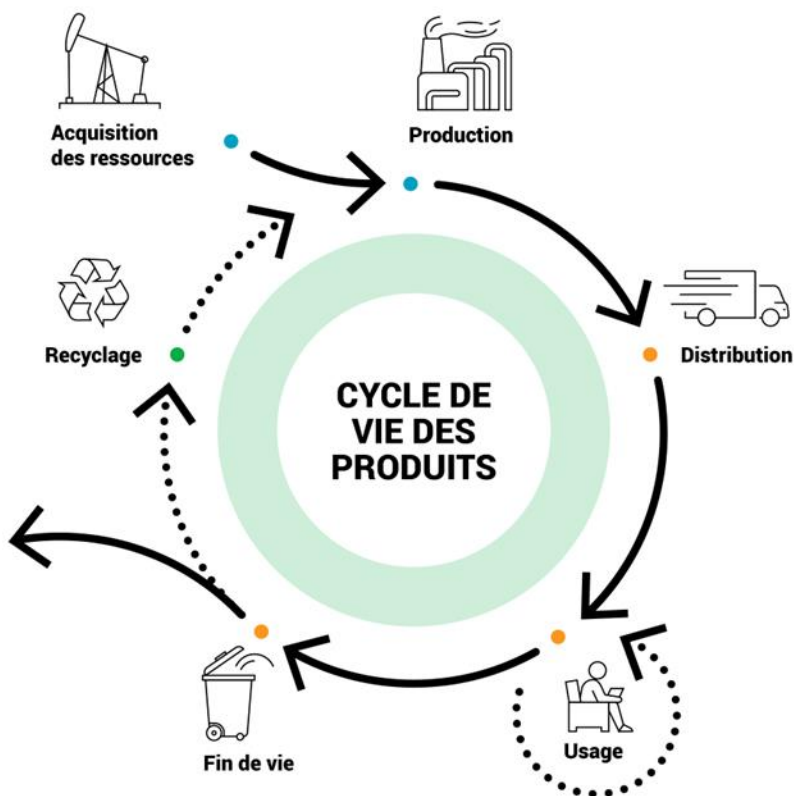


Figure 1 : Étapes génériques d'un cycle de vie

L'approche cycle de vie permet de quantifier une empreinte environnementale complète, et non juste focalisée sur une étape du cycle de vie. En plus de considérer la totalité du cycle de vie du produit qu'elle analyse, elle tient également compte du cycle de vie de tous les éléments nécessaires à l'utilisation de ce produit. Par exemple, l'impact d'un aliment ne se résume pas seulement à la production de l'aliment et au transport lors de sa distribution, mais inclut aussi les étapes de transformation, de conditionnement (emballage), de stockage (telles que la réfrigération) de préparation, de cuisson et de gestion des emballages et des déchets organiques en fin de vie.

L'analyse du cycle de vie

L'analyse du cycle de vie est une méthodologie standardisée par les normes ISO 14040 (ISO, 2006) et 14044 (ISO, 2006) qui permet d'évaluer les impacts environnementaux d'un produit ou service. Elle se réalise en plusieurs étapes (Figure 2) :

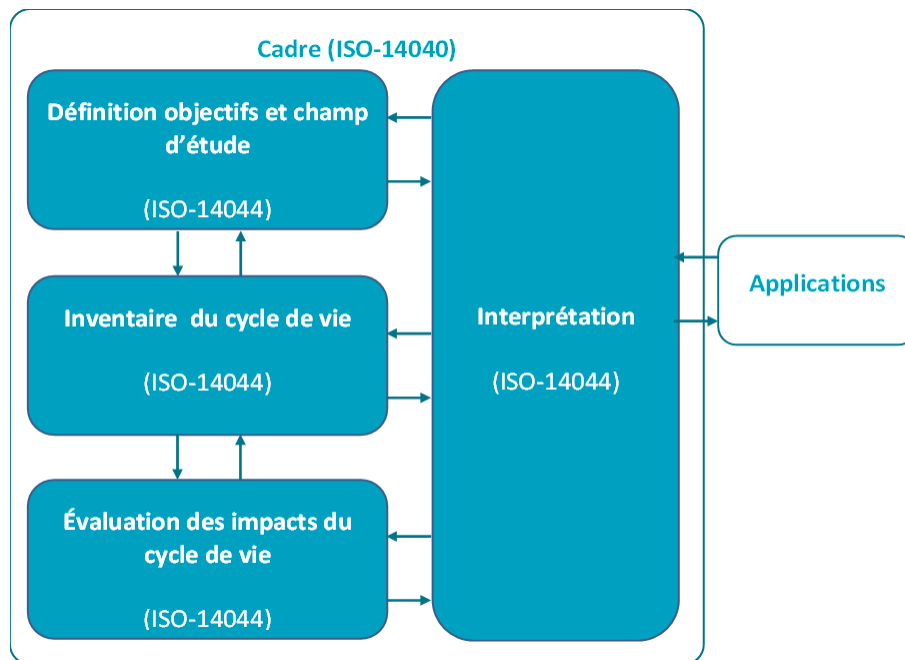


Figure 2 : Illustration des étapes du cycle de vie selon ISO 14040

- **L'étape de définition de l'objectif et du champ de l'étude** décrit, entre autres, les frontières du système étudié – c'est-à-dire l'ensemble des étapes du cycle de vies incluses dans l'étude - ainsi que sa fonction et son unité fonctionnelle. La fonction d'un système décrit le besoin auquel il doit répondre, par exemple « Transporter des passagers » pour un véhicule personnel. L'unité fonctionnelle correspond à la quantification de la fonction, par exemple « Transporter un passager sur 1000 km ». Elle permet ainsi de comparer différents systèmes à partir d'une même base de comparaison et est utilisée pour la mise à l'échelle des résultats.
- **L'étape d'inventaire (ICV)** consiste à modéliser le cycle de vie du système étudié afin de comptabiliser l'ensemble des flux économiques (flux de matière et d'énergie) et environnementaux (émissions vers l'environnement et ressources de l'environnement utilisées).
- **L'étape d'évaluation des impacts** permet de convertir les flux environnementaux en scores d'impact pour différents indicateurs environnementaux, dont les changements climatiques font partie.
- Enfin **l'étape d'interprétation** permet d'analyser les résultats pour répondre aux objectifs de l'étude.

La Figure 3 illustre les étapes d'inventaire et d'évaluation des impacts en analyse du cycle de vie.

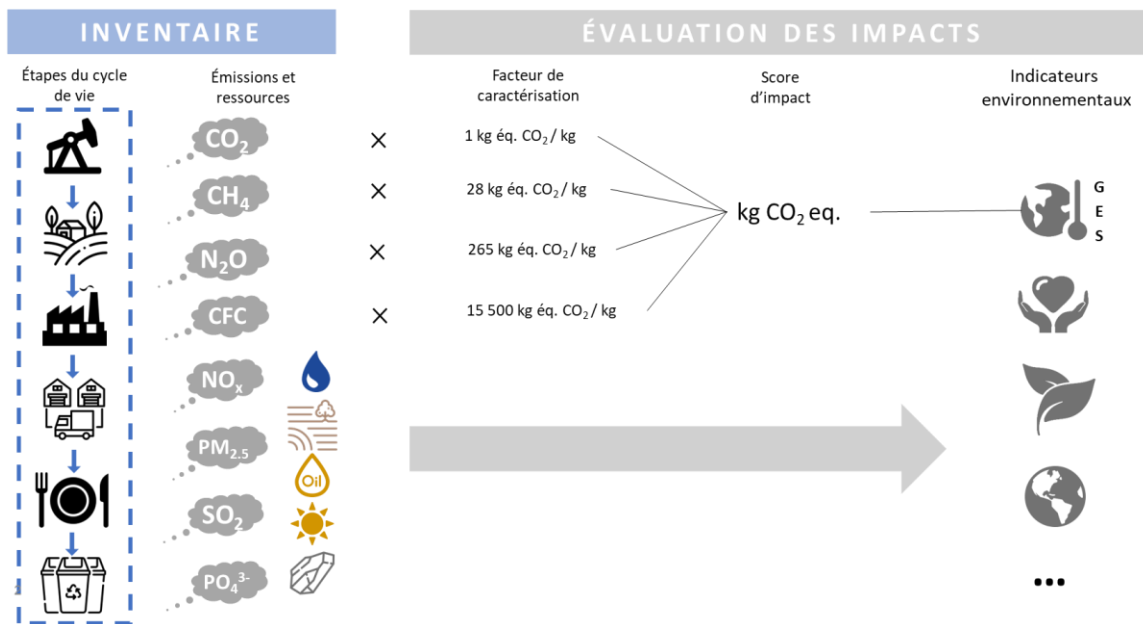


Figure 3 : Illustration des étapes d’inventaire et d’évaluation des impacts

Ce rapport n’est pas un rapport d’analyse du cycle de vie complet, mais il se base sur les principales étapes de la méthodologie d’analyse du cycle de vie.

L’empreinte carbone

Le calcul d’une empreinte carbone est un cas particulier d’analyse du cycle de vie ne prenant en compte que l’indicateur environnemental sur les changements climatiques. Pour la calculer, l’inventaire sur le cycle de vie (ICV) de toutes les émissions de gaz à effet de serre (GES) (tels que CO₂, N₂O, CH₄, CFC, etc.) est réalisé, et l’impact sur les changements climatiques seulement est calculé. Ce calcul est réalisé en utilisant la méthode GWP 100 du GIEC (IPCC, 2013), basé sur le pouvoir de réchauffement global (PRG ou GWP en anglais pour Global Warming Potential) à 100 ans. Le score d’impact est exprimé en kg d’équivalent CO₂ (kg éq. CO₂) et représente l’empreinte carbone du produit.

Le barème de notation

L’empreinte carbone de chaque plat, mesurée en kg éq. CO₂, est ensuite reportée sur une échelle de notation à 9 paliers, en clin d’œil au barème de Polytechnique bien connu par la communauté. Cette échelle est détaillée dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Le barème de notation

Empreinte carbone par plat (kg éq.CO₂)	Score
< 0,3	À*
0,3 - 0,39	A
0,4 - 0,49	B+
0,5 - 0,59	B
0,6 - 0,79	C+
0,8 – 0,99	C
1 - 1,49	D+
1,5 – 1,99	D
≥ 2	F

Ce barème est inspiré du Carbone-Score de l'entreprise [Ansamble en Europe](#). Le Carbone-Score propose une échelle de notation en cinq couleurs et cinq lettres exprimée à partir de résultats en gramme éq. CO₂/100 g d'aliment et dont les scores sont calculés à partir du référentiel de l'ADEME, Base Carbone, de FoodGES et les travaux d'Agribalyse (Colomb, et al., 2015). Le référentiel utilisé pour l'adaptation du barème à Polytechnique est une portion de 318g d'un plat idéal bas carbone (0,22 kg éq. CO₂) contenant 25% de féculent, 25% de protéine, 50% de légumes et/ou fruit tel que recommandé par le guide alimentaire canadien. Ce référentiel constitue un repas complet équilibré. Pour en savoir plus, consultez le rapport du CIRAIG (Blais-Gingras, Houssard, & Saunier, 2022).

À titre de référence également, l'empreinte carbone d'un repas moyen pris à la maison au Québec est de 1,8 kg éq. de CO₂ (CIRAIG & Polycarbonate, 2023) en excluant le gaspillage alimentaire et la gestion des déchets organiques. Ce chiffre élevé s'explique par la place significative de la viande et des produits laitiers dans la diète omnivore québécoise et par le fait que le repas moyen inclus aussi des desserts et des boissons qui ne sont pas pris en considération dans les plats de l'ASaP (Blanchet, Plante, & Rochette, 2009). Les plats de l'ASaP obtenant des notes entre A* et D+ ont une empreinte carbone inférieure à la moyenne d'un repas moyen avec la diète omnivore actuelle des Québécois. Ces plats sont à privilégier pour réduire l'empreinte carbone de notre alimentation. Les plats obtenant la note F ont une empreinte carbone supérieure à la moyenne. Réduire leur consommation pourrait améliorer significativement l'impact environnemental de notre alimentation.

3 Champ de l'étude

Fonction et unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle est la base de comparaison de l'étude. Elle se traduit ici par une quantité de produit dans le contexte spécifique de l'étude. Pour être en mesure de comparer les plats servis par l'ASaP entre eux, l'unité fonctionnelle suivante a été choisie :

Une portion individuelle de repas servie par les services alimentaires de Polytechnique Montréal à la session d'automne 2023.

Une portion individuelle de repas est définie dans ce projet comme une **quantité typique d'aliments pouvant constituer un repas** selon les habitudes de consommation des usagers de l'ASaP.

Cette unité fonctionnelle a été choisie afin que les consommateurs puissent facilement visualiser l'empreinte carbone de la portion qui leur est servie, contrairement à une unité fonctionnelle massique (par ex. 400 g de nourriture) qui ne correspondrait pas forcément à la portion servie pour chaque plat.

En général, « un plat » constitue une portion individuelle de repas, mais un accompagnement de frites a été ajouté à plusieurs des plats du menu de l'ASaP (plats marqués d'une * dans le Tableau 1) qui peuvent soit être vendus seuls, soit en formule « Duo », c'est-à-dire avec un accompagnement de 100 g de frites. Les résultats avec et sans l'accompagnement de frites sont présentés dans la suite de ce rapport.

Il convient de souligner qu'une « portion individuelle de repas » ne représente pas nécessairement un repas « complet et équilibré » tel que défini dans le guide alimentaire canadien¹.

Frontières du système

Les frontières du système permettent d'indiquer quelles étapes du cycle de vie sont prises en compte dans l'étude. Certaines étapes du cycle de vie peuvent être incluses ou exclues selon les objectifs de l'étude, les limites de disponibilité des données ou les limites inhérentes au budget d'étude. Les étapes incluses et exclues (en pointillé) sont schématisées dans la Figure 4.

¹ Canada, S. (2021, January 14). Bienvenue dans le guide alimentaire canadien. <https://guide-alimentaire.canada.ca/fr/>

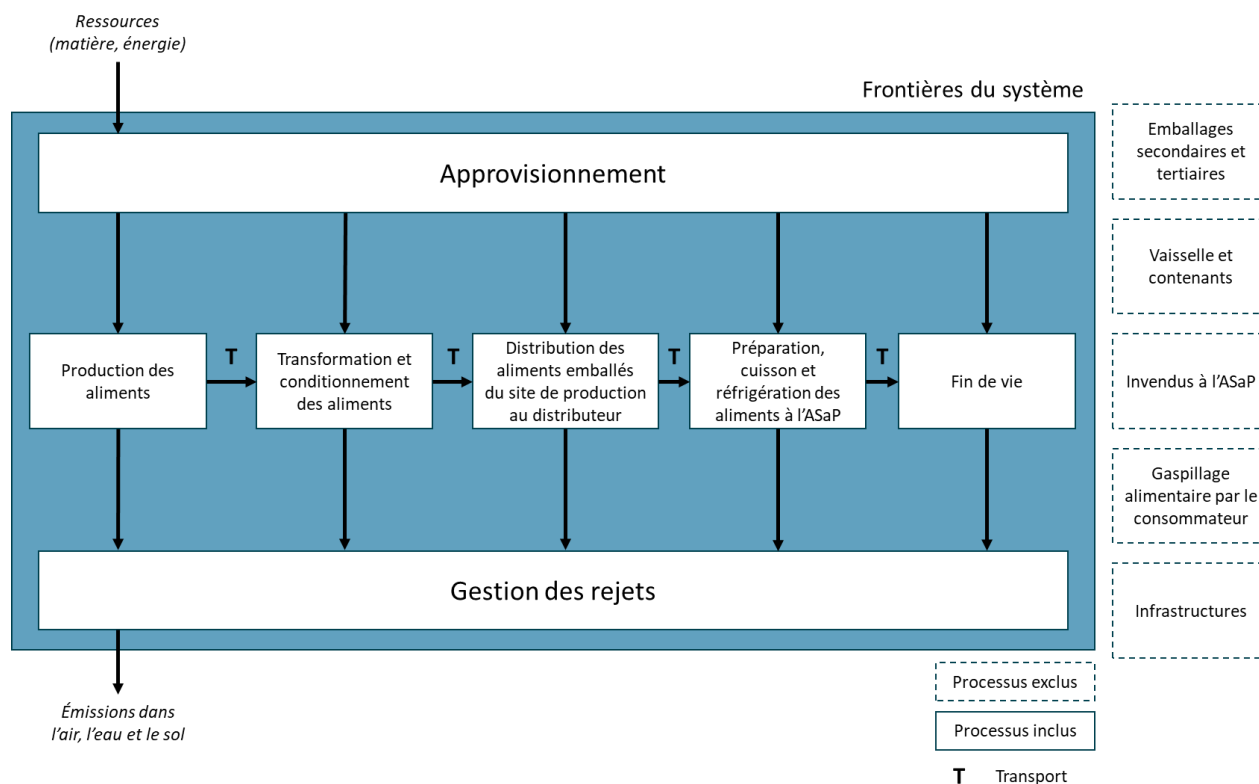


Figure 4 : Frontières du système à l'étude

Le Tableau 3 présente plus en détail les processus inclus et exclus dans le système étudié. Les étapes du cycle de vie regroupent plusieurs processus ou sous-processus détaillés dans le tableau.

Tableau 3 : Inclusions et exclusions du système

Étapes du cycle de vie	Activité	Commentaires
Production <i>Inclus toutes les étapes du cycle de vie de la production de l'aliment jusqu'au distributeur</i>	Production des aliments	Inclus. Elle tient compte de toutes les opérations nécessaires à la culture et à l'élevage des produits alimentaires du champ à la sortie de la ferme et des spécificités liées aux zones géographiques de production (CIRAIG & Polycarbone, 2023).
	Transformation et conditionnement des aliments	Partiellement inclus. Les aliments en conserve ou surgelés ne sont pas inclus pour cette version de la base de données (CIRAIG & Polycarbone, 2023).
	Distribution des aliments du site de production au distributeur	Inclus. La distance de transport considérée pour chaque ingrédient est basée sur la moyenne du marché québécois (CIRAIG & Polycarbone, 2023).

	alimentaire	
	Fin de vie des pertes alimentaires sur la chaîne d'approvisionnement (production, transformation, distribution)	Inclus. Des quantités d'aliments perdus ou gaspillés sont considérées lors des étapes de production des aliments, de leur transport jusqu'au lieu de transformation et de leur distribution (CIRAIG & Polycarbonate, 2023).
Emballages <i>Inclus la production et la fin de vie des emballages</i>	Production des emballages primaires	Inclus. Elle tient compte de toutes les étapes d'extraction des matières premières jusqu'au produit fini pour les matériaux d'emballage typiquement utilisés pour chaque groupe d'aliment (CIRAIG & Polycarbonate, 2023). Cette étape est néanmoins surestimée car elle est basée sur la modélisation d'emballages en portions individuelles et non la modélisation d'emballage en vrac pour des services alimentaires.
	Production des emballages secondaires et tertiaires	Exclu. L'empreinte carbone des emballages secondaires (emballage regroupant plusieurs unités du produit, par ex. une boîte en carton) et tertiaires (emballage permettant de transporter une grande quantité de produit, par ex. une palette) n'est pas modélisée (CIRAIG & Polycarbonate, 2023). Elle est considérée comme négligeable.
	Transport des emballages	Inclus. Le transport de l'emballage est inclus pour toutes les étapes du cycle de vie, excepté pour l'étape de transport entre le distributeur et la cafétéria : seule la masse des aliments sans emballage est considérée. Cependant, la masse des emballages étant très faible par rapport à celle des aliments, leur exclusion a un impact négligeable sur les résultats.
	Fin de vie des emballages	Inclus. La fin de vie des emballages est répartie entre le recyclage (55%) et l'enfouissement des matières (45%). Le processus représente la fin de vie générique des emballages alimentaires sur le marché québécois (CIRAIG & Polycarbonate, 2023).
Transport <i>Inclus le transport du distributeur à la cafétéria.</i>	Transport des aliments	Inclus. Représente uniquement l'étape de transport entre le distributeur et la cafétéria (CIRAIG & Polycarbonate, 2023). Les autres opérations de transport sont incluses dans les étapes de production et de transformation.

Préparation et réfrigération	Préparation, cuisson et réfrigération des aliments	Inclus. La consommation relative à la préparation des aliments à la cafétéria, y compris le stockage des aliments, la cuisson et le lavage de la vaisselle utilisée dans la cuisine pour la préparation des repas (CIRAIG & Polycarbonate, 2023).
Fin de vie des pertes Inclus le traitement de fin de vie des pertes alimentaires	Fin de vie des pertes alimentaires	Inclus. Représente le traitement de fin de vie des pertes alimentaires, c'est-à-dire les matières organiques résiduelles qui constituent la partie non comestible des aliments (peau, os, fans...) (CIRAIG & Polycarbonate, 2023)
Utilisation	Vaisselles et contenants	Exclu. Non sélectionné dans le périmètre de l'étude. L'ACV de la vaisselle réalisée à Polytechnique Montréal (Saunier et al., 2017) a montré que cette étape est peu contributrice aux impacts des services alimentaires.
Gaspillage	Gaspillage alimentaire par le consommateur	Exclu. Non sélectionné dans le périmètre de l'étude. Ce choix se justifie par l'objectif du projet qui est de renseigner les usagers de la cafétéria sur l'empreinte carbone des plats servis. Néanmoins compte tenu de l'importance significative du gaspillage dans les cafétérias il serait intéressant d'ajouter ce volet aux itérations futures du projet.
	Invendus à l'ASaP	Exclu. Part de gaspillage alimentaire pour des portions non vendues. Constitue une limite de l'étude et une possibilité d'amélioration future.
Infrastructures	Cycle de vie des infrastructures	Exclu. Les infrastructures désignent les bâtiments et les machines. Elles contribuent généralement à moins de 1% du score d'impact sur tout le cycle de vie d'un produit.

Données

Le Tableau 4 présente les sources pour chaque catégorie de données utilisées dans l'étude.

Tableau 4 : Sources de données

Données	Sources	Commentaires
Recettes	ASaP	Liste et quantité des ingrédients, masse des portions de chaque plat fourni par l'ASaP.
Production	Base de données d'inventaire du cycle de vie de l'alimentation québécoise (CIRAIG & Polycarbonate, 2023)	La majeure partie des inventaires du cycle de vie de ces ingrédients est tirée de cette base de données.
	Autres articles scientifiques (Clune, Crossin, & Verghese, 2017) et bases de données (Petersson, et al., 2021)	Bases de données de la littérature utilisées pour modéliser certains ingrédients (notamment les poissons et crustacés) non disponibles dans la base de données québécoise (CIRAIG & Polycarbonate, 2023).
Transport	ASaP	L'ASaP a fourni des informations sur le type de camion (réfrigéré avec une capacité de chargement de 16 tonnes) et la distance de livraison entre la cafétéria et les fournisseurs.
	Base de données ecoinvent v 3.6 cut-off (Wernet, et al., 2016)	Le processus « transport, freight, lorry with refrigeration machine, 7.5-16 ton, EURO5, R134a refrigerant, cooling market for transport » de ecoinvent a été utilisé en adaptant la distance parcourue avec les données de l'ASaP.
Autres étapes du cycle de vie (emballages, préparation et réfrigération, fin de vie des pertes)	Base de données d'inventaire du cycle de vie de l'alimentation québécoise (CIRAIG & Polycarbonate, 2023)	Données directement utilisées de la base de données. Les données concernant les emballages et la préparation des aliments ont notamment pu être mises à jour dans la base de données grâce à la méthodologie développée dans la version précédente du projet (Grefte, Blais-Gingras, Houssard, & Saunier, 2022). Toutes les précisions sur les sources de données utilisées pour chaque étape du cycle de vie sont disponibles dans la documentation de la base de données.

Hypothèses générales, calculs et limites

La majorité des données utilisées pour cette étude sont tirées de la base de données d'ICV de la consommation québécoise – axe alimentation version 0.1.6 (CIRAIG & Polycarbonate, 2023), désignée ci-après par BD ICV, qui comprend plusieurs limites. Elle est toutefois la base de données la plus représentative de la consommation alimentaire des Québécois à ce jour. Certaines données ont été adaptées pour permettre une modélisation plus spécifique au cadre d'étude. Par ailleurs, l'étude a également permis d'améliorer la modélisation de certains jeux de données.

Les processus utilisés sont pour la plupart basés sur la valeur moyenne de provenance (locale et importée) selon les volumes du marché québécois moyen, mais il n'est pas possible pour l'instant de distinguer l'impact d'un plat local par rapport à un plat non-local.

Principes généraux de modélisation

À chaque plat est associée une recette, c'est-à-dire une liste d'ingrédients ajoutés en quantité déterminée pour obtenir une portion donnée. Chaque ingrédient est modélisé et leurs empreintes carbone sont sommées et mises à l'échelle d'une portion pour obtenir l'empreinte carbone totale d'une portion individuelle de repas.

Si l'ingrédient est déjà disponible dans la BD ICV, les données sont directement mises à l'échelle de la recette, excepté pour la phase de transport qui est ajustée selon les données spécifiques de l'ASaP (voir Tableau 4, ligne « Transport »).

Si l'ingrédient n'est pas disponible dans la BD ICV, il est nécessaire de chercher d'autres données permettant de le modéliser. Deux cas de figure se présentent :

- un autre ingrédient très proche disponible dans la base de données et dont l'empreinte carbone est similaire peut être choisi pour le modéliser ;
- l'ingrédient doit être remodelé à l'aide de valeurs trouvées dans la littérature scientifique car aucun autre ingrédient disponible dans la base de données n'est acceptable. Ces ingrédients sont désignés par l'appellation « ingrédients remodelés ». Les données utilisées pour les modéliser sont disponibles en Annexe B.

Critère de coupure massique

Les ingrédients dont la masse représente moins de 2% de la masse totale du plat n'ont pas été modélisés, considérant que leur contribution à l'empreinte carbone totale de la portion serait négligeable. Cependant, leur masse est comptabilisée dans la masse de la portion individuelle de repas servie.

Prise en compte de la variation de masse à la cuisson

Lors de la préparation du plat, les aliments peuvent subir des variations de masse liées à un ajout ou une perte d'eau. Par exemple, lors de la cuisson des pâtes, la masse des pâtes crues achetées à l'épicerie est multipliée par trois en raison de l'absorption d'eau à la cuisson. À l'inverse, la cuisson de la viande entraîne généralement une perte de masse liée à une perte d'eau. Ainsi, on distingue la masse de l'ingrédient acheté, de celle de l'ingrédient « prêt-à-manger », désignant sa masse après préparation. La masse des portions affichée dans les résultats est calculée à partir de la masse des aliments « prêt-à-manger » et représente la masse de la portion servie. L'empreinte carbone est cependant calculée en fonction des masses des ingrédients achetés, de façon à correspondre au facteur d'impact disponible dans la BD ICV.

Proxys utilisés

3.1.1.1 Herbes et épices

Lorsque la masse des épices dépasse le critère de coupure, les épices non disponibles dans la base de données ont été remplacées par du sel. La masse des herbes sèches n'est pas la même que celle des herbes fraîches, mais elle est considérée équivalente ici compte tenu des faibles quantités utilisées.

3.1.1.2 Fromage

En raison des fortes différences d'empreinte carbone liées à l'affinage du fromage, une distinction est faite entre les fromages à pâte dure et les fromages à pâtes molles.

3.1.1.3 Poissons et fruits de mer

La version actuelle de la base de données d'inventaire du cycle de vie de la consommation québécoise a une résolution faible pour les ingrédients de type poisson ou fruit de mer. Les données pour ces ingrédients ont été affinées en utilisant d'autres bases de données plus précises pour ces ingrédients (voir Tableau 4, ligne « Production »).

Gaspillage alimentaire

Le gaspillage alimentaire à la cafétéria de Polytechnique n'est pas pris en considération. Cependant, toutes les pertes et le gaspillage en amont sur la chaîne d'approvisionnement sont considérés. Les auteurs Fusi et al. (2016) soulèvent dans leur étude qu'une portion non négligeable peut être gaspillée dans un service de traiteur ou une cafétéria, et citent notamment une étude italienne de Risteco réalisée en 2006 dans des écoles à Turin et où 27,5% des assiettes étaient non servies et/ou leur contenu gaspillé (Fusi, Guidetti, & Azapagic, 2016). Dans une étude préliminaire récente, le CIRAIG a évalué que le gaspillage alimentaire réalisé par le citoyen pour des repas pris à la maison représenterait 17% de l'empreinte carbone de l'alimentation au Québec (Houssard et al. 2022). L'ajout de la composante du gaspillage constituerait donc une possibilité d'amélioration significative du modèle et un bel axe de sensibilisation pour quantifier l'empreinte carbone des repas consommés à la cafétéria et les impacts du gaspillage alimentaire.

Évaluation des impacts du cycle de vie

Une seule catégorie d'impact est considérée dans cette étude, celle des changements climatiques. La méthode utilisée pour calculer ce score d'impact est celle de l'IPCC (IPCC, 2013). Elle considère le potentiel de réchauffement global des gaz à effet de serre (GES) sur un horizon de 100 ans selon l'intensité de forçage radiatif des gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, N₂O, etc.) par rapport à celui du CO₂ qui constitue la référence. Par exemple, le méthane (CH₄) a un potentiel de réchauffement climatique 28 fois plus élevé que le CO₂ sur un horizon de 100 ans (IPCC, 2013). L'unité utilisée pour exprimer le score d'impact sur les changements climatiques est le kg éq. de CO₂.

Les résultats d'impacts potentiels sur les changements climatiques sont calculés en utilisant un calculateur automatisé développé en interne sur le logiciel Microsoft Excel.

4 Résultats

Cette section présente les résultats obtenus pour le calcul de l’empreinte carbone des plats servis à Polytechnique Montréal pour la session d’automne 2023. Les résultats sont d’abord analysés de manière générale puis de manière détaillée pour chaque groupe de plats.

Résultats généraux

Le Tableau 5 donne le détail de l’empreinte carbone calculée pour une portion de chaque plat, ainsi que la masse de la portion retenue et la note associée.

Dans l’ensemble du menu, cinq plats obtiennent la note A*. Ces plats sont végétaliens. En revanche, six plats obtiennent la note de F : tous contiennent de la viande de bœuf.

Plus généralement, on remarque une grande variété de plats végétariens et végétaliens qui ont tendance à avoir une plus faible empreinte carbone que les plats contenant de la viande. Les plats végétariens qui contiennent du fromage (pizzas végétariennes, penne Alfredo et poutines végétariennes) performant moins bien que ceux qui n’en contiennent pas, et ont une empreinte carbone plus élevée que certains plats contenant de la viande blanche (burger poulet croustillant, club sandwich poulet (servi seul), salade au poulet croustillant, salade au poulet mexicaine, filet de poulet). Les plats contenant du bœuf présentent les empreintes carbone les plus élevées.

Le plat obtenant la meilleure empreinte carbone par portion est le pogo végétarien (77 g éq. CO₂), et le plat ayant la plus grande empreinte carbone par portion est le double cheeseburger (4.850 kg éq. CO₂, environs 40 fois plus impactant que la portion de petite frite). Il y a un écart de 430 g entre la plus petite portion (pogo végétarien, 90 g) et la plus grande (grande poutine hot dog, 520 g).

Tableau 5 : Empreinte carbone, masse et note pour une portion de repas pour l'ensemble des plats analysés

des recettes	Empreinte carbone totale par portion [kg CO2 eq]	Masse de la portion [g]	Note
Pogo végétarien	0.077	90	A*
Frites	0.120	150	A*
Frite grande	0.199	250	A*
Frite Sauce	0.202	250	A*
Burger végan croustillant	0.287	212	A*
Burger végétarien croustillant	0.317	223	A
Grande Frite Sauce	0.322	400	A
BLT	0.345	163	A
Burger végétarien	0.365	242	A
Salade au tofu croustillant	0.386	380	A
Penne sauce légumes grillés	0.417	447	B+
Pizza légumes grillés	0.511	160	B
Burger poulet croustillant	0.560	208	B
Pizza Pepperoni	0.600	128	B
Pizza toute garnie	0.609	158	C+
Burger saumon bbq	0.630	218	C+
Club sandwich poulet seul	0.672	262	C+
Salade au poulet croustillant	0.679	380	C+
Salade poulet mexicaine	0.688	395	C+
Filet de poulet	0.701	168	C+
Salade saumon	0.716	355	C+
Pizza 3 fromages	0.782	153	C+
Filet de poulet + petite frite	0.785	268	C+
Penne Alfredo	0.819	507	C
Poutine	0.847	300	C
Salade crevettes asiatique	1.169	360	D+
Poutine hot dog	1.178	390	D+
Grande poutine	1.204	420	D+
Ailes de poulet	1.227	444	D+
Penne viande	1.242	462	D+
Ailes de poulet + petite frite	1.311	544	D+
Pizza steak-saucisse-piment	1.346	175	D+
Fish and Chips	1.369	380	D+
Grande poutine hot dog	1.653	520	D
Poutine viande fumée	2.214	370	F
Burger boeuf	2.436	204	F
Cheeseburger	2.552	216	F
Grande poutine viande fumée	3.364	500	F
Double burger	4.734	289	F
Double Cheeseburger	4.850	301	F

Deux analyses de contribution sont réalisées pour chaque plat. Dans les paragraphes suivants, ces deux analyses sont illustrées pour le plat de penne Alfredo.

Contribution des étapes du cycle de vie

Le graphique suivant (Figure 5) présente la contribution des différentes étapes du cycle de vie à l’empreinte carbone finale du plat pour les penne Alfredo.

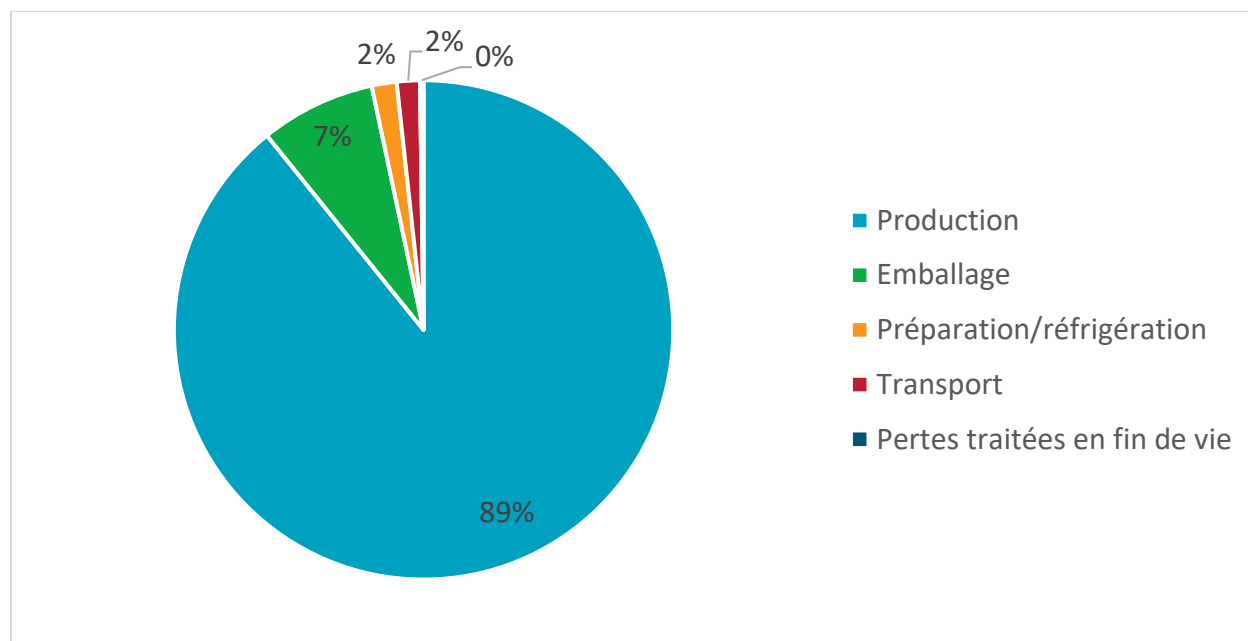


Figure 5 : Penne Alfredo, analyse de contribution par étape du cycle de vie

La contribution de chaque étape du cycle de vie est donnée en pourcentage de l’empreinte carbone totale. Ce graphique illustre des tendances qui sont observées pour l’ensemble des plats analysés : l’étape de production est l’étape qui contribue le plus à l’empreinte carbone du plat en contribuant à au moins 80% de l’empreinte carbone totale pour tous les plats analysés (voir Tableau 3 pour le détail sur les processus inclus dans l’étape de production). Ainsi, les différences entre les plats s’expliquent par les différences liées à la production des ingrédients qui les composent.

Les graphiques d’analyse de contribution par étape du cycle de vie étant très similaires pour l’ensemble des plats analysés, ils ne sont pas fournis dans la suite de ce rapport. Toutefois, ces graphiques sont disponibles sur demande.

Contribution par ingrédient

	g	%
Penne Alfredo	507	100%
Penne ou linguine	282	56%
Crème	100	20%
Lait	52	10%
Parmesan	30	6%
Oignons hachés	25	5%
Ail en poudre	10	2%
Fécule de maïs	8	2%

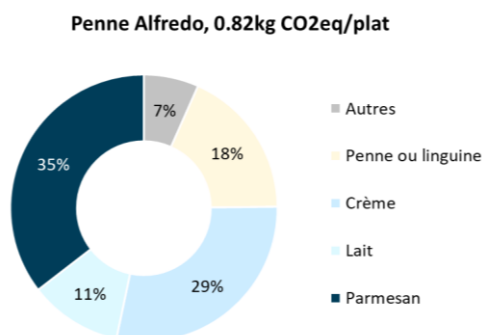


Figure 6 : Penne Alfredo, analyse de contribution par ingrédient

La

	g	%
Penne Alfredo	507	100%
Penne ou linguine	282	56%
Crème	100	20%
Lait	52	10%
Parmesan	30	6%
Oignons hachés	25	5%
Ail en poudre	10	2%
Fécule de maïs	8	2%

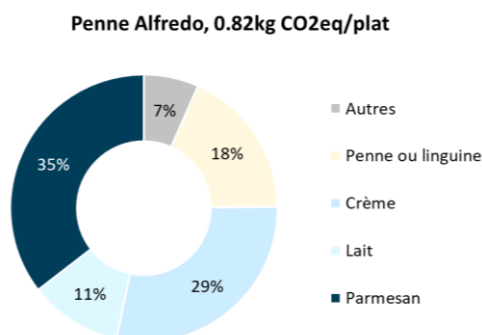


Figure 6 présente la composition du plat de penne Alfredo et la contribution des différents ingrédients à l’empreinte carbone finale du plat.

La contribution de chaque ingrédient est donnée en pourcentage de l’empreinte carbone totale. **La contribution d’un ingrédient comprend toutes les étapes du cycle de vie (production, emballage, préparation/réfrigération, transport et pertes traitées en fin de vie) pour cet ingrédient.** La catégorie « Autres » regroupe l’ensemble des ingrédients qui contribuent à moins de 5% de l’empreinte carbone totale du plat.

Le graphique de contribution par ingrédient permet de mieux identifier les ingrédients qui contribuent le plus à l’empreinte carbone de chaque plat, notamment à cause de différences à l’étape de production (voir section ci-dessus). Au vu du nombre élevé de plats analysés, ces figures ne sont pas données pour chacun d’eux dans le corps du rapport, mais disponibles en annexe (Annexe A).

Les sections suivantes présentent les analyses des empreintes carbone des plats détaillées par groupe de plats.

Les salades

Cinq salades repas ont été analysées dans cette étude. Les salades sont composées de la même base d'ingrédients avec les mêmes quantités : quinoa, mesclun, pousses, betteraves, carottes, concombre, tomates. Des haricots rouges et du maïs sont ajoutés à cette base pour la salade de poulet mexicaine uniquement. Une quantité de vinaigrette (50 ml) a été ajoutée pour chacune d'entre elles, correspondant à une portion moyenne individuelle de vinaigrette. Finalement, une protéine est ajoutée : tofu, poulet, saumon ou crevette selon la salade considérée.

Nom des recettes	Empreinte carbone totale par portion [kg éq. CO2]	Masse de la portion [g]	Empreinte carbone totale pour 100 g [kg éq. CO2/100g]	Score
Salade au tofu croustillant	0.39	380	0.10	A
Salade au poulet croustillant	0.68	380	0.18	C+
Salade poulet mexicaine	0.69	395	0.17	C+
Salade saumon	0.72	355	0.20	C+
Salade crevettes asiatique	1.17	360	0.32	D+

Tableau 6 : tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les salades

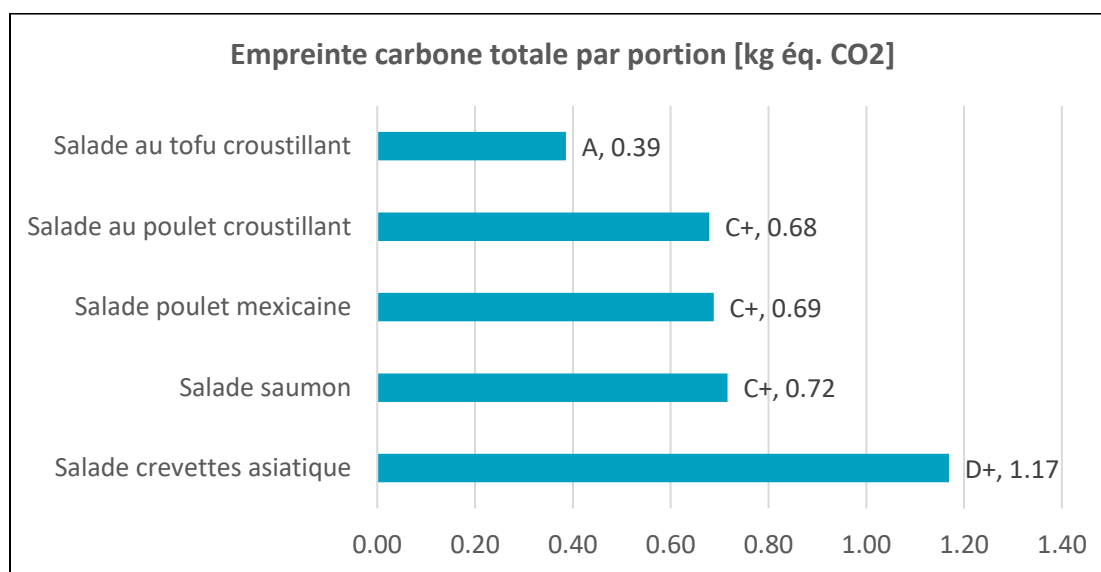


Figure 7 : classement des salades selon leur empreinte carbone totale par portion

Les masses des portions de salade varient entre 355g et 380g. La salade ayant l'empreinte carbone par portion la plus faible est la salade au tofu croustillant, avec une empreinte carbone de 390g éq. CO2. La salade obtenant l'empreinte carbone la plus élevée est la salade de crevettes asiatique, avec une empreinte carbone de 1.17 kg éq. CO2.

Les salades contiennent environ la même quantité de protéine (entre 25% et 27% de la masse totale de la portion). C'est la nature de la protéine qui explique la hiérarchie des résultats obtenus : la part de l'empreinte carbone du plat liée à la protéine varie de 32 % (salade au tofu croustillant), 56% (salade au poulet mexicaine), 61 % (salade au poulet croustillant), 63% (salade au saumon) à 78 % (salade de crevette asiatique). Le tofu croustillant est constitué essentiellement de soya fermenté, plante ayant une faible

empreinte carbone (Mejia, Harwatt, Jaceldo-Siegi, & Sranacharoenpong, 2017). En revanche, le poulet a une empreinte carbone plus élevée que le soya. Le saumon est un poisson ayant une empreinte carbone légèrement plus élevée que le poulet. La crevette est de loin la protéine ayant la plus haute empreinte carbone.

Les pizzas

Cinq choix de pizzas sont disponibles dans le menu. Une portion de pizza correspond à une pointe. Toutes les pizzas ont la même pâte, recouverte d'une même base tomate et de fromage (mozzarella) dans les mêmes quantités. Les différences entre les empreintes carbone des pizzas sont donc liées aux autres ingrédients ajoutés à cette base.

Tableau 7 : tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les pizzas

Nom des recettes	Empreinte carbone totale par portion [kg éq. CO2]	Masse de la portion [g]	Empreinte carbone totale pour 100 g [kg éq. CO2/100g]	Score
Pizza légumes grillés	0.51	160	0.32	B
Pizza Pepperoni	0.60	128	0.47	C+
Pizza toute garnie	0.61	158	0.38	C+
Pizza 3 fromages	0.78	153	0.51	C+
Pizza steak-saucisse-piment	1.35	175	0.77	D+

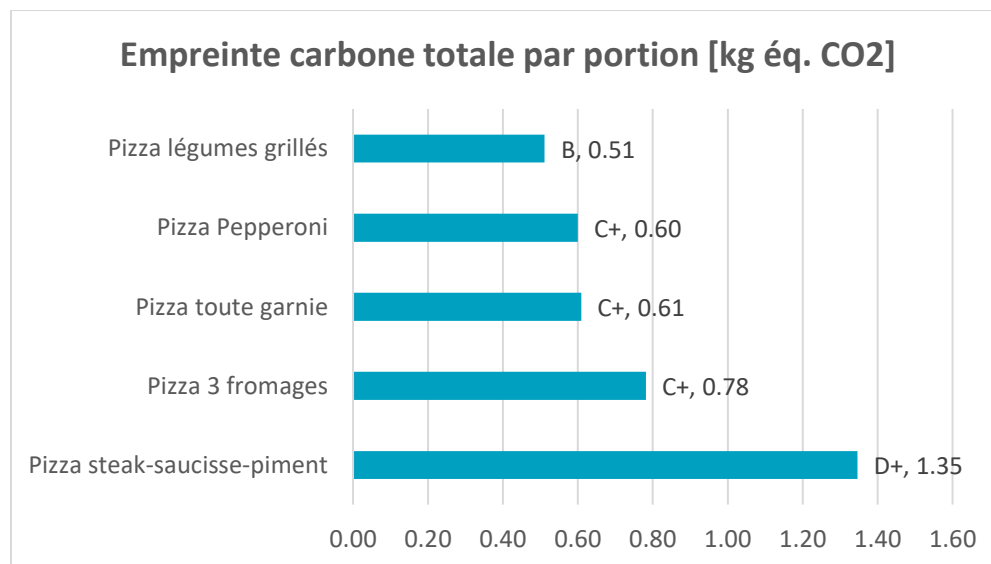


Figure 8 : classement des pizzas selon leur empreinte carbone totale

Les masses des portions de pizza varient entre 128g et 175g. La pizza pepperoni a notamment une masse plus faible que les autres, car seulement 20 g de pepperoni est ajouté sur la pointe de pizza contrairement aux autres pizzas ou une masse plus importante d'ingrédients supplémentaires est ajoutée. La pizza ayant

l’empreinte carbone par portion la plus faible est la pizza aux légumes grillés, avec une empreinte carbone de 0.51 kg éq. CO₂. La pizza obtenant l’empreinte carbone la plus élevée est la pizza steak-saucissepiment, avec une empreinte carbone de 1.35 kg éq. CO₂.

De manière générale, les portions de pizzas ont une empreinte carbone moyenne (toutes les notes obtenues par les pizzas sont au-dessus de D+) en raison de la faible masse de la portion de pizza par rapport à d’autres portions servies à la cafétéria. Cependant, elles ont une empreinte carbone élevée pour 100 g (toutes les pizzas se situent au-dessus de la valeur médiane, qui vaut 0.279 kg éq. CO₂ / 100 g) à cause de la présence de mozzarella, qui constitue jusqu’à 63% (pizza aux légumes grillés) de l’empreinte carbone de la portion. La pâte et la base tomate ne constituent qu’au plus 11% et 10% respectivement de l’empreinte carbone (pizza aux légumes grillés). Les pizzas sans viande obtiennent les meilleures performances, excepté pour la pizza trois fromages qui a une empreinte plus élevée que la pizza aux pepperonis et toute garnie. En effet, l’empreinte carbone du fromage, notamment du fromage à pâte dure, est plus élevée que l’empreinte carbone des pepperonis. Finalement, la pizza steak saucissepiment est de loin celle qui obtient le score le plus élevé: son empreinte carbone vaut plus de 2,5 fois l’empreinte carbone de la pizza aux légumes grillés, qui est la pizza obtenant les meilleures performances. Cette forte différence est liée à la viande de bœuf hachée qui a une empreinte carbone au kilogramme de l’ordre de trois fois la valeur de l’empreinte carbone du fromage.

Les pâtes

Trois choix de pâtes sont disponibles dans le menu. La portion considérée pour les plats de pâte correspond à une assiette remplie de pâtes. Toutes les portions de pâtes contiennent la même quantité de pâtes, mais la quantité et la nature de la sauce fait varier leur empreinte carbone.

Tableau 8 : tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les pâtes

Pâtes	Empreinte carbone totale par portion [kg éq. CO ₂]	Masse de la portion [g]	Empreinte carbone totale pour 100 g [kg éq. CO ₂ /100g]	Score
Penne sauce légumes grillés	0.42	447	0.09	B+
Penne Alfredo	0.82	507	0.16	C
Penne viande	1.24	462	0.27	D+

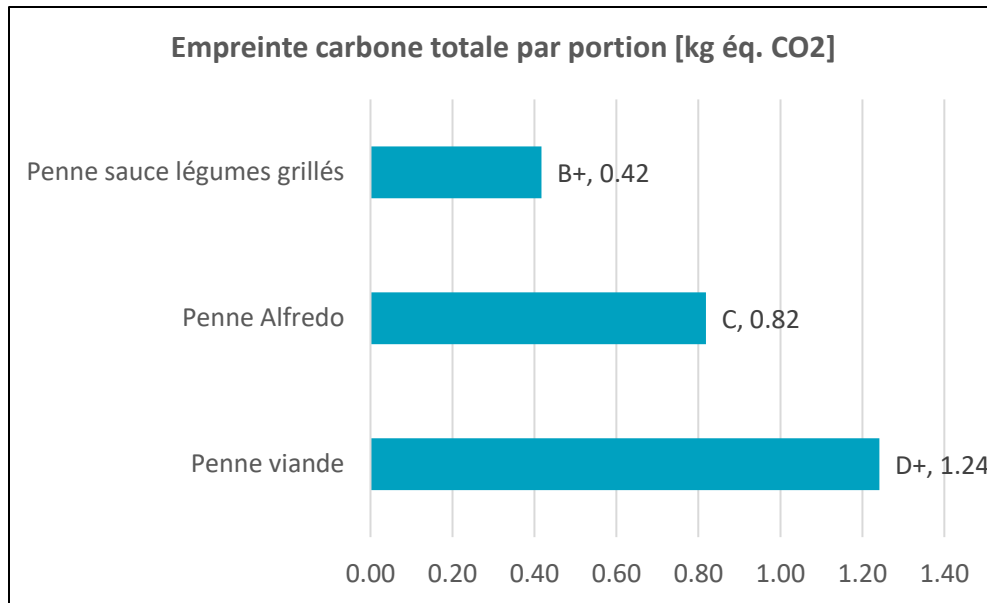


Figure 9 : classement des pâtes selon leur empreinte carbone totale

Les masses des portions de pâtes varient entre 447 g et 507 g. Le plat de pâtes ayant l’empreinte carbone par portion la plus faible est le plat de penne sauce légumes grillés, avec une empreinte carbone de 0.42 kg éq. CO₂. Le plat de pâtes obtenant l’empreinte carbone la plus élevée est le plat de penne viande, avec une empreinte carbone de 1.24 kg éq. CO₂.

La sauce aux légumes grillés ne contient que des ingrédients végétaux, c’est pourquoi le plat de pâtes aux légumes grillés a l’empreinte carbone la plus faible. Les penne Alfredo contiennent du parmesan, du lait et de la crème, ingrédients ayant une empreinte carbone plus élevée que les légumes. Enfin, c’est la quantité de viande qui alourdit grandement l’empreinte carbone du plat de pâtes à la viande, notamment à cause de l’ajout de viande de bœuf qui contribue à 65% de l’empreinte carbone de la sauce.

Les burgers

Les usagers ont le choix entre neuf burgers différents, et peuvent les acheter seuls ou en formule « Duo » incluant un accompagnement de frites. L’ensemble des burgers sont constitués des mêmes ingrédients : pain blanc, laitue, tomate et mayonnaise. Des oignons et cornichons sont ajoutés à cette base pour les burgers au bœuf, ainsi qu’une tranche de cheddar pour les deux cheeseburgers. Du poivron et des tomates séchées sont ajoutés à la base pour les deux burgers végétariens, le burger végan et le burger au poisson. La différence d’empreinte carbone des burgers vient très majoritairement de la nature de la protéine qu’ils contiennent, sous forme de galette.

Les résultats sont donnés dans un premier temps lorsque le burger est servi seul, puis avec une portion de 100g de frites.

Burger seul (sans accompagnement)

Tableau 9 : tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les burgers (seuls)

Noms des burgers	Empreinte carbone totale par portion [kg éq. CO ₂]	Masse de la portion [g]	Empreinte carbone totale pour 100 g [kg éq. CO ₂ /100g]	Score
Burger végétarien croustillant	0.29	212	0.14	A*
Burger végétarien croustillant	0.32	223	0.14	A
Burger végétarien	0.36	242	0.15	A
Burger poulet croustillant	0.56	208	0.27	B
Burger saumon bbq	0.63	218	0.29	C+
Burger boeuf	2.44	204	1.19	F
Cheeseburger	2.55	216	1.18	F
Double burger	4.73	289	1.64	F
Double Cheeseburger	4.85	301	1.61	F

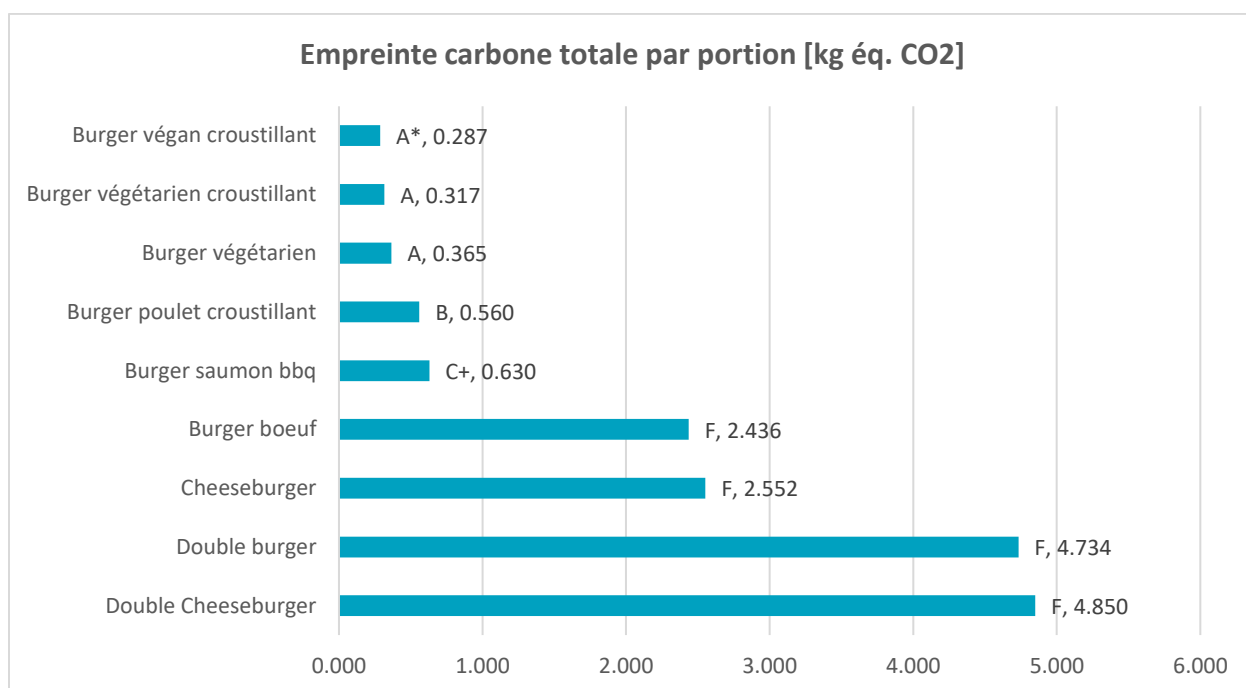


Figure 10 : classement des burgers (seuls) selon leur empreinte carbone totale

Les masses des portions de burgers varient entre 204 g et 301 g. Le burger ayant l'empreinte carbone par portion la plus faible est le burger végétarien croustillant, avec une empreinte carbone de 0.29 kg éq. CO₂. Le burger obtenant l'empreinte carbone la plus élevée est le double cheeseburger, avec une empreinte carbone de 4.85 kg éq. CO₂. L'amplitude de variation de l'empreinte carbone des burgers est la plus grande observée sur un groupe de plat, avec le double cheeseburger obtenant une empreinte carbone presque 17 fois plus élevée que celle du burger végétarien croustillant.

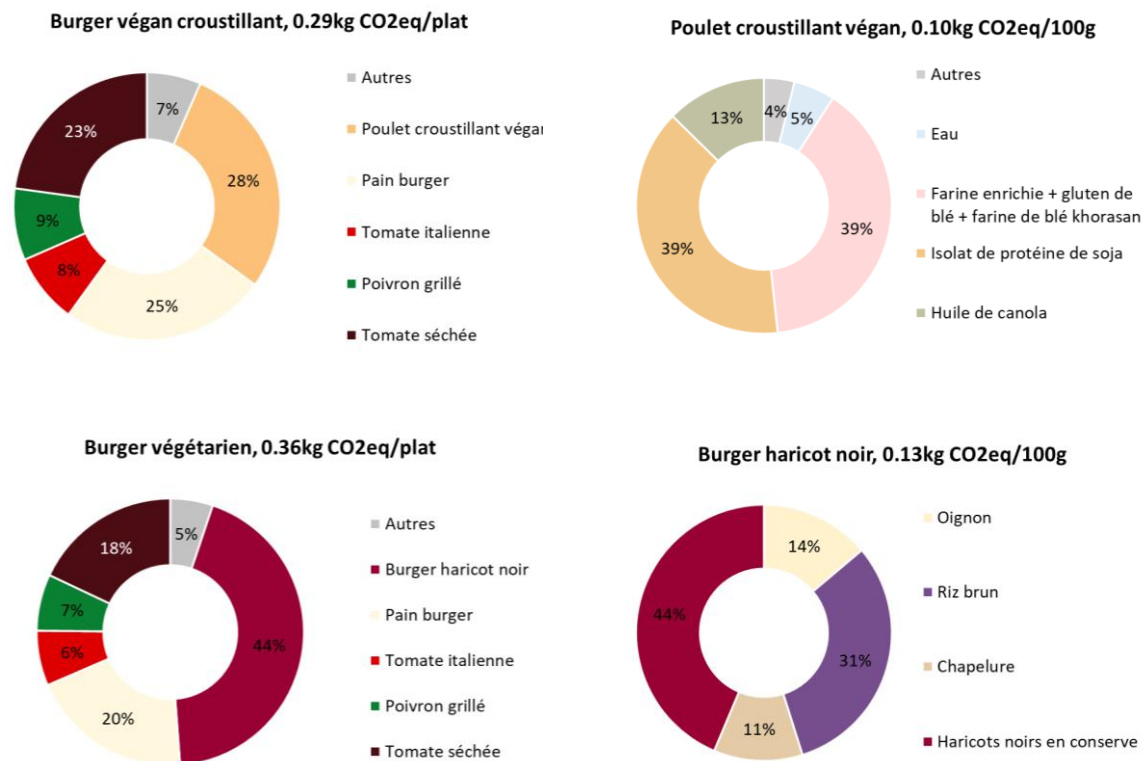
Les burgers végétariens et végétariens ont l'empreinte carbone la plus faible, suivi du burger au poulet, puis du burger au saumon. La faible différence observée entre les burgers végétariens et végétariens vient du fait que les burgers végétariens ont une composition très similaire aux burgers végétariens. Ils contiennent essentiellement des protéines végétales et seulement une très petite quantité de protéine animale (l'œuf

utilisé pour la mayonnaise). Les burgers de bœuf sont de loin les burgers ayant la plus grande empreinte carbone : le meilleur burger au bœuf a une empreinte carbone environ 4 fois plus élevée que le burger au saumon, alternative équivalente sans bœuf ayant l’empreinte carbone la plus importante.

La contribution de la protéine à l’empreinte carbone totale du burger varie de 28% (burger vegan) à 97% (double burger). On remarque notamment que doubler la quantité de bœuf revient presque à doubler l’empreinte carbone des burgers au bœuf ce qui montre la contribution très majoritaire du bœuf à l’empreinte carbone totale (qui représente entre 90% et 97% de l’empreinte carbone totale de la portion pour les burgers contenant du bœuf).

Le cheeseburger a une empreinte carbone par portion plus élevée que le burger au bœuf dû à l’ajout d’une tranche de cheddar. Cependant, l’empreinte carbone aux 100g du cheeseburger est plus faible que l’empreinte carbone aux 100g du burger : en effet, la tranche de fromage ajoutée fait diminuer la proportion de viande, et donc l’empreinte carbone aux 100g. Cette observation soulève un enjeu d’interprétation des résultats. Les présenter par portion a des biais, mais les présenter aux 100 g aussi.

La différence entre les trois burgers végétariens s’explique par des différences dans la masse et la composition de la galette végétale qu’ils contiennent. Les graphiques suivants présentent la contribution des ingrédients à l’empreinte carbone totale des burgers végétariens par portion, et la contribution par ingrédient à l’empreinte carbone des galettes qu’ils contiennent, donnés pour 100g de galette.



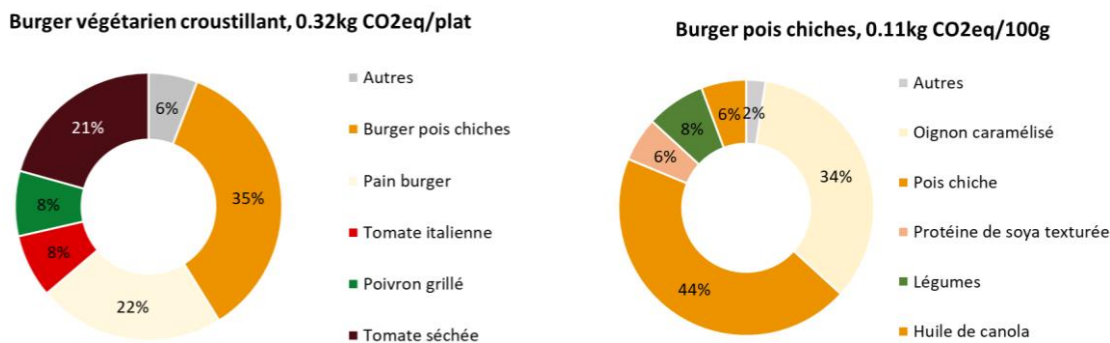
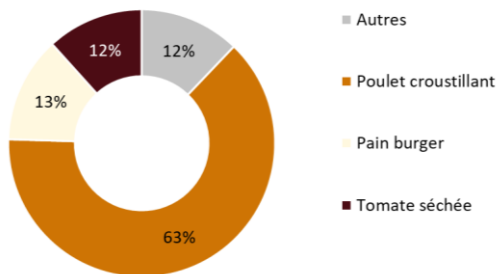


Figure 11 : Analyse de contribution par ingrédient pour les burgers végétariens (colonne de gauche) et leur galette (colonne de droite)

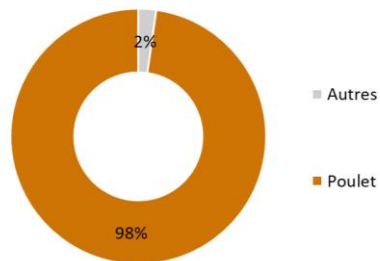
Les masses des galettes valent respectivement 89g, 100g et 119g pour les burgers végan, végétarien et végétarien croustillant et représentent respectivement 28%, 35% et 44% de leur empreinte carbone. La galette végétale du burger végan croustillant est majoritairement composée de farine enrichie et de soya (60%) et d'eau (30%). Son empreinte carbone vaut 1.0 kg éq. CO₂ / kg. La galette du burger végétarien est majoritairement composée d'un mélange d'oignons et de pois chiches (plus de 55%), ayant une empreinte carbone comparable à celle de la farine enrichie et du soya. En revanche, elle pèse plus lourd que la galette du burger végan, et ainsi alourdit l'empreinte carbone du burger végétarien croustillant. La galette du burger végétarien est celle qui a la plus grande empreinte carbone (0.32 kg éq. CO₂ / kg). Elle est composée de haricots noirs et de riz (environ 55%). Le riz, notamment, est un ingrédient ayant une empreinte carbone plus élevée que les autres céréales, car les rizières sont des zones d'eaux stagnantes qui rejettent beaucoup de méthane (CH₄) et d'oxyde nitreux (N₂O), deux GES au pouvoir de réchauffement global respectivement 28 et 265 fois plus puissants que le dioxyde de carbone (CO₂) (IPCC, 2013).

Concernant le burger de poulet croustillant et le burger au saumon, la hiérarchie des résultats s'explique aussi en considérant les différences des galettes qu'ils contiennent. La galette de saumon dans le burger au saumon ne contient que 40 % de saumon, et 55% de légumes. Ainsi, la galette au saumon a une empreinte carbone plus faible que la galette de poulet croustillant pour la même quantité. Cependant, la galette de poulet croustillant ne pèse que 75g tandis que la galette au saumon pèse 100g, c'est pourquoi le burger au saumon a une empreinte carbone finale plus élevée que le burger au poulet croustillant.

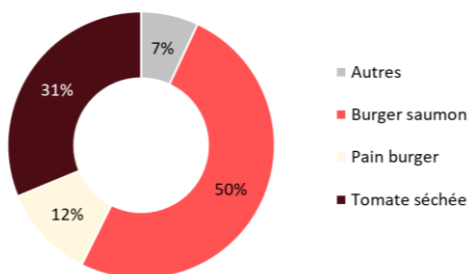
Burger poulet croustillant, 0.56kg CO2eq/plat



Poulet pané, 0.42kg CO2eq/100g



Burger saumon bbq, 0.63kg CO2eq/plat



Burger saumon, 0.32kg CO2eq/100g

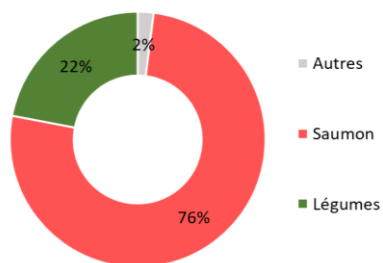


Figure 12 : Analyse de contribution par ingrédient pour les burgers au poulet et au saumon (colonne de gauche) et leur galette (colonne de droite)

Burger avec accompagnement de frites

Le Tableau 10 présente les résultats obtenus si les burgers sont accompagnés d'une portion de 100g de frites.

Tableau 10 : tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les burgers (avec accompagnement de frites)

Nom des recettes	Empreinte carbone totale par portion [kg éq. CO ₂]	Masse de la portion [g]	Empreinte carbone totale pour 100 g [kg éq. CO ₂ /100g]	Score
Burger végan croustillant avec frites	0.37	312	0.12	A
Burger végétarien croustillant avec frites	0.40	323	0.12	A
Burger végétarien avec frites	0.44	342	0.13	B+
Burger poulet croustillant avec frites	0.64	308	0.21	C+
Burger saumon bbq avec frites	0.71	318	0.22	C+
Burger boeuf avec frites	2.52	304	0.83	F
Cheeseburger avec frites	2.63	316	0.83	F
Double burger avec frites	4.81	389	1.24	F
Double Cheeseburger avec frites	4.93	401	1.23	F

Lorsqu'une portion de frites est ajoutée à l'assiette, la masse de la portion et l'empreinte carbone associée augmentent : comme l'accompagnement de frites pèse 100 g et a une empreinte carbone de 80 g éq. CO₂ environ, toutes les masses et les empreintes carbone par portion sont augmentées d'autant. La note du burger végan croustillant passe de A* à A, celles du burger végétarien de A à B+ et celle du burger au poulet croustillant passe de B à C+. Les notes des cinq burgers ayant les empreintes carbone les plus élevées ne varient pas.

En revanche, l'effet est inverse sur l'empreinte carbone calculée pour 100 g de plat. En effet, les frites ont une intensité carbone plus faible que les burgers seuls. Ainsi, l'ajout de frites dans la portion va faire diminuer l'empreinte carbone calculée aux 100 g.

Les frites et poutines

Cinq poutines différentes sont proposées en deux formats : format petit et format grand.

Tableau 11 : tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les frites et poutines

Nom des recettes	Empreinte carbone totale par portion [kg éq. CO ₂]	Masse de la portion [g]	Empreinte carbone totale pour 100 g [kg éq. CO ₂ /100g]	Score
Frites	0.12	150	0.08	A*
Frite grande	0.20	250	0.08	A*
Frite Sauce	0.20	250	0.08	A*
Grande Frite Sauce	0.32	400	0.08	A
Poutine	0.85	300	0.28	C
Poutine hot dog	1.18	390	0.30	D+
Grande poutine	1.20	420	0.29	D+
Grande poutine hot dog	1.65	520	0.32	D
Poutine viande fumée	2.21	370	0.60	F
Grande poutine viande fumée	3.36	500	0.67	F

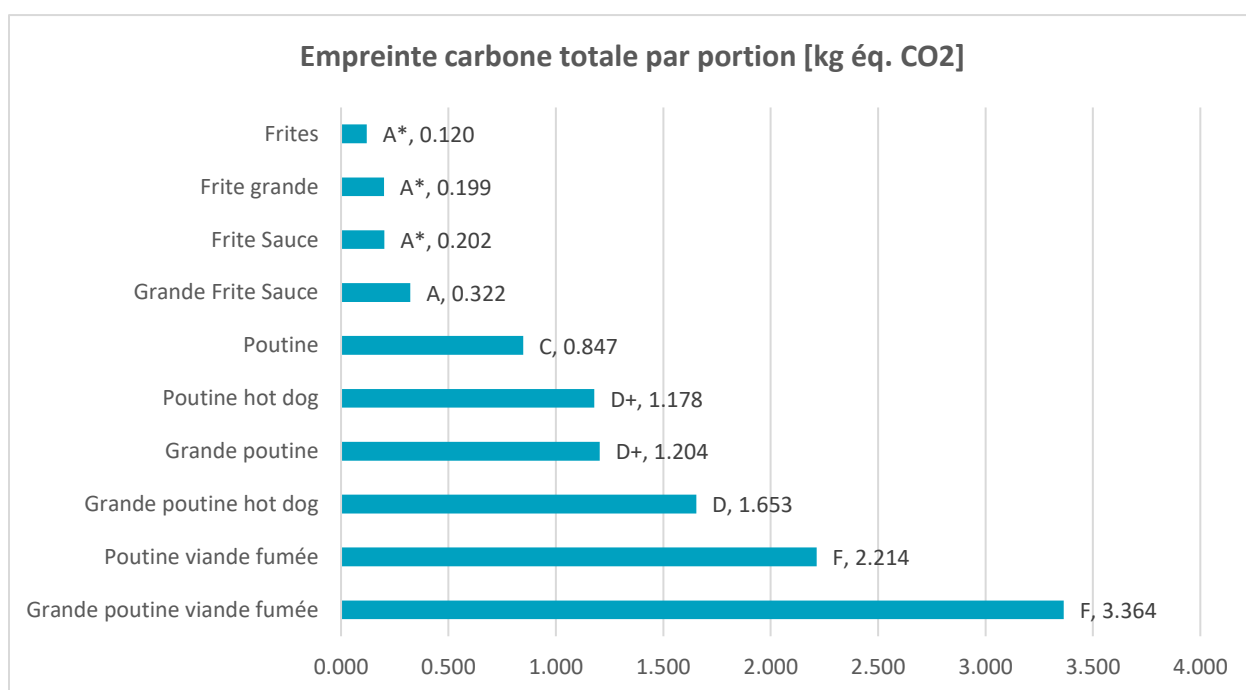


Figure 13 : classement des frites et poutines selon leur empreinte carbone totale

Les masses des portions de frites et poutines varient entre 150 g et 520 g. Le plat ayant l’empreinte carbone par portion la plus faible est la petite portion de frites, avec une empreinte carbone de 0.12 kg éq. CO₂. Le plat obtenant l’empreinte carbone la plus élevée est la grande poutine viande fumée, avec une empreinte carbone de 3.36 kg éq. CO₂.

L’empreinte carbone des frites et poutines augmente au fur et à mesure que des ingrédients sont ajoutés. On remarque notamment une augmentation significative de l’empreinte carbone par portion lorsque du fromage à poutine entre dans la composition des plats : l’empreinte carbone de petite poutine est plus de deux fois plus élevée que l’empreinte carbone de la grande frite sauce. L’empreinte carbone augmente également lorsque de la viande est ajoutée.

Bien que la poutine hot dog contiennent davantage de viande que la poutine viande fumée (70g contre 50g), son empreinte carbone est plus faible, car la saucisse hot dog, composé majoritairement de poulet, a une empreinte carbone bien plus faible que celle de la viande fumée de bœuf.

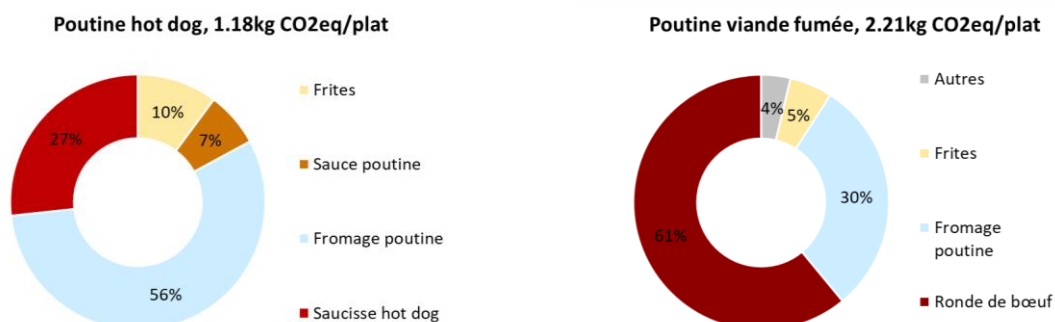


Figure 14 : Analyse de contribution par ingrédient pour les poutines hot dog et viande fumée

Plats de la catégorie « Autres »

Cette catégorie regroupe tous les plats restants analysés : six plats variés de nature et de taille très variées.

Certains des plats de cette catégorie sont aussi considérés avec des frites, car ils peuvent être achetés en formule « Duo ». Les résultats sont donnés dans un premier temps lorsque les plats sont servis seuls, puis avec une portion de 100 g de frites.

Plats de la catégorie « Autres » servis seuls

Tableau 12 : tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les plats de la catégorie « Autres »

Nom des recettes	Empreinte carbone totale par portion [kg éq. CO2]	Masse de la portion [g]	Empreinte carbone totale pour 100 g [kg éq. CO2/100g]	Score
Pogo végétarien	0.08	90	0.09	A*
BLT	0.34	163	0.21	A
Club sandwich poulet seul	0.67	262	0.26	C+
Filet de poulet	0.70	168	0.42	C+
Ailes de poulet	1.23	444	0.28	D+
Fish and Chips	1.37	380	0.36	D+

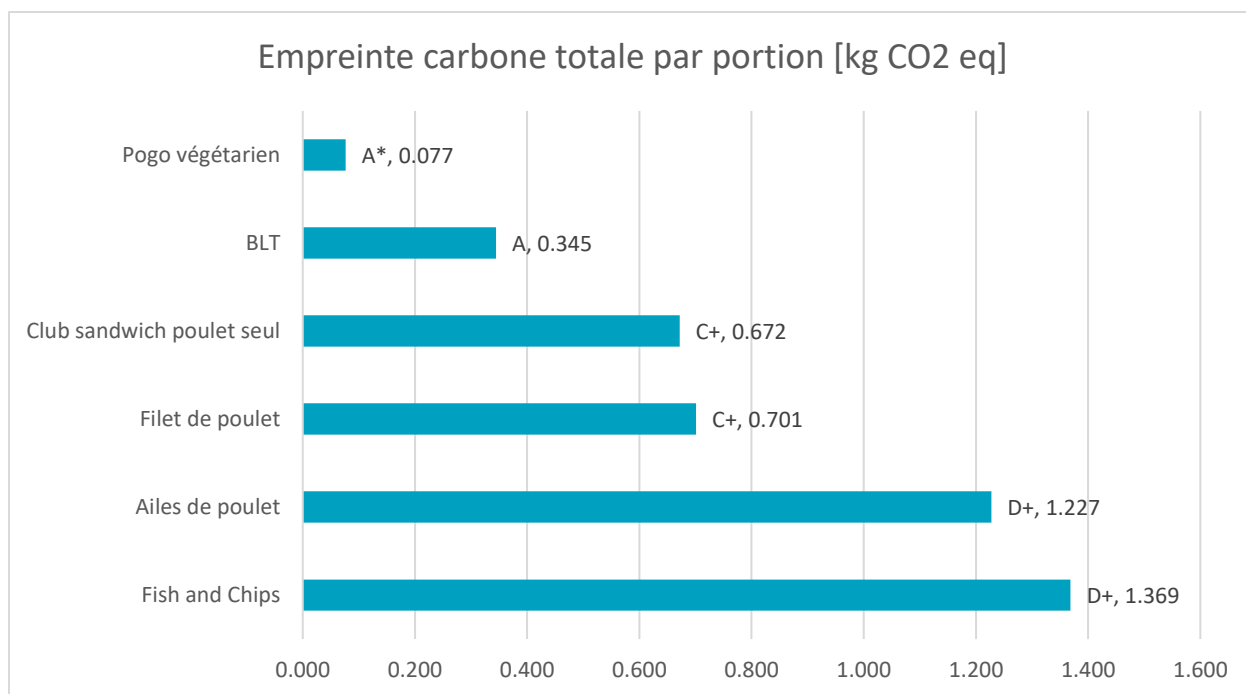


Figure 15 : classement des plats de la catégorie « Autres » selon leur empreinte carbone totale

Les masses des plats de cette catégorie varient entre 90 g (pogo végétarien) et 444 g (ailes de poulet). Le pogo végétarien est le plat ayant à la fois la plus petite portion et l'empreinte carbone par portion la plus faible sur tous les plats analysés (80 g éq. CO₂). Le plat obtenant l'empreinte carbone la plus élevée est le fish and chips, avec une empreinte carbone de 1.37 kg éq. CO₂.

Ces plats sont difficilement comparables entre eux notamment à cause des différences dans la masse de leurs portions et parce qu'ils ne sont pas tous habituellement consommés seuls lors d'un repas. Le pogo végétarien (3 pogos par portion), les filets de poulet pané (3 lanières par portion) et les ailes de poulet (6 ailes par portion) constituent davantage des collations que des repas.

On peut noter que malgré la faible quantité de bacon dans le BLT (13.5%), il représente environ 19% de l'empreinte carbone totale du sandwich. Le club sandwich contient la même quantité de bacon, mais les tranches de pain sont plus épaisses et surtout, de la viande de poulet est ajoutée. Dans ce sandwich, le poulet représente environ 23% de la masse des ingrédients, mais contribue à l'empreinte carbone totale à hauteur de 43%.

Les ailes de poulet ont une empreinte carbone élevée notamment du fait de la masse élevée de la portion. Bien que les ailes de poulet contiennent des os (environ 46 %), la quantité de viande consommable dans le plat est élevée en comparaison avec d'autres plats contenant du poulet.

Finalement, c'est le poisson (aiglefin) qui contribue le plus à l'empreinte carbone du fish and chips, avec une contribution de 89% à l'empreinte totale du plat.

Plats de la catégorie « Autres » avec accompagnement de frites

Une portion de 100 g de frites a été ajoutée à l'ensemble des plats de la catégorie « Autres », excepté pour le fish and chips qui en contient déjà.

Tableau 13 : tableau récapitulatif des résultats obtenus pour les plats de la catégorie « Autres » (avec un accompagnement de frites)

Nom des recettes	Empreinte carbone totale par portion [kg éq. CO ₂]	Masse de la portion [g]	Empreinte carbone totale pour 100 g [kg éq. CO ₂ /100g]	Score
Pogo végétarien avec frites	0.16	190	0.08	A*
BLT avec frites	0.42	263	0.16	B+
Club sandwich poulet seul avec frites	0.75	362	0.21	C+
Filet de poulet avec frites	0.78	268	0.29	C+
Ailes de poulet avec frites	1.31	544	0.24	D+

De même que dans le cas des burgers (voir section « Burger avec accompagnement de frites »), lorsqu'une portion de frite est ajoutée, toutes les masses et les empreintes carbone des portions sont augmentées de respectivement 100 g et 80 g éq. CO₂. La note BLT passe de A à B+.

Également, l'ajout de frites dans la portion fait donc augmenter l'empreinte carbone et la masse de la portion, mais fait diminuer l'empreinte carbone calculée aux 100g (voir justification section « Burger avec accompagnement de frites »).

5 Conclusions

Les objectifs du projet étaient de quantifier l’empreinte carbone et de noter 38 plats (52 en considérant les possibilités d’accompagnement) servis à la cafétéria de Polytechnique Montréal pour la session d’automne 2023. La quantification a été réalisée avec une approche cycle de vie. Le choix du système de notation sélectionné dans le projet rappelle le barème de Polytechnique Montréal : A*, A, B+, B, C+, C, D+, D et F.

Comme beaucoup d’autres études dans le domaine de l’alimentation, les résultats démontrent que les principaux contributeurs à l’empreinte carbone de chaque plat sont les ingrédients, en particulier les protéines animales (viande, poisson et produits laitiers). Le transport, les emballages et la cuisson des aliments contribuent peu à l’empreinte carbone des plats.

Dans l’ensemble du menu, cinq plats obtiennent la note A*, qui correspond à une empreinte carbone inférieure ou égale à 300 g éq. CO₂ par portion : les frites (petite et grande portion), les frites sauce (petite portion), le pogo végétarien (servi seul et avec frites) et le burger végétan croustillant (servi seul). Ces plats sont végétaliens. En revanche, sept plats obtiennent la note de F, correspondant à une empreinte carbone supérieure ou égale à 2 kg éq. CO₂ par portion : la poutine viande fumée, le burger bœuf, le cheeseburger, la pizza steak-saucisse-piment, la grande poutine viande fumée, le double burger et le double cheeseburger. Tous contiennent de la viande de bœuf.

Plus généralement, les plats végétariens ont une moins grande empreinte carbone que les plats avec de la viande. Cependant, les plats végétariens qui contiennent du fromage (pizzas végétariennes, penne Alfredo et poutines végétariennes) performant moins bien que ceux qui n’en contiennent pas et ont une empreinte carbone plus importante que certains plats contenant de la viande blanche.

Les résultats sont basés sur les données génériques de la base de données d’inventaire du cycle de vie de la consommation québécoise (version 0.1.6) développée par le CIRAIG en partenariat avec PolyCarbone (CIRAIG & Polycarbonate, 2023). Cette base de données est la seule qui permet de refléter la réalité moyenne québécoise pour modéliser les processus des différentes étapes du cycle de vie de l’alimentation au Québec. Cette base de données est toutefois amenée à évoluer afin d’en améliorer la précision. La base de données est enrichie au fur et à mesure des itérations du projet.

La prise en compte du gaspillage alimentaire à la cafétéria de l’AsaP, pour l’instant exclus de l’analyse, constitue un axe d’amélioration intéressant pour la quantification de l’empreinte carbone des services alimentaires de Polytechnique. Favoriser des actions de réduction du gaspillage pourrait être un levier significatif pour réduire l’empreinte carbone des services alimentaires de Polytechnique.

Finalement, ce rapport s’ajoute à celui de la phase pilote réalisée au printemps 2022 (Blais-Gingras, Houssard, & Saunier, 2022) et à celui du premier déploiement du projet (Grefte, Blais-Gingras, Houssard, & Saunier, 2022). Ainsi, l’empreinte carbone de 72 plats servis à la cafétéria de Polytechnique a déjà pu être quantifiée et de nouveaux plats pourront graduellement être intégrés aux résultats au cours des prochaines sessions.

6 Références

- Blais-Gingras, L., Houssard, C., & Saunier, F. (2022). *Projet d'affichage d'empreinte carbone à la cafétéria de Polytechnique Montréal; Phase pilote : Quantification de l'empreinte carbone des plats de l'été 2022*. Montréal: CIRAIG.
- Blanchet, C., Plante, C., & Rochette, L. (2009). *La consommation alimentaire et les apports nutritionnels des adultes québécois*. Récupéré sur https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/931_rapportnutritionadultes.pdf
- CIRAIG & Polycarbonate. (2023). *Base de données d'inventaire du cycle de vie de la consommation québécoise, Version 0.1.6*.
- Clune, S., Crossin, E., & Verghese, K. (2017). Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2016.04.082
- Colomb, V., Ait Amar, S., Basset Mens, C., Gac, A., Gaillard, G., Koch, P., . . . M.G. van der Werf, H. (2015). AGRIBALYSE®, the French LCI Database for agricultural products: high quality data for producers and environmental labelling. *OCL*. doi:<https://doi.org/10.1051/ocl/20140047>
- Favi, C., Germani, M., Landi, D., Mengarelli, M., & Rossi, M. (2018). Comparative life cycle assessment of cooking appliances in Italian kitchens. *Journal of Cleaner Production*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.140>
- Fusi, A., Guidetti, R., & Azapagic, A. (2016). Evaluation of environmental impacts in the catering sector: the case of pasta. *Journal of Cleaner Production*, 146-160. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.074>
- Grefte, T., Blais-Gingras, L., Houssard, C., & Saunier, F. (2022). *Projet d'affichage d'empreinte carbone à la cafétéria de Polytechnique Montréal : Quantification de l'empreinte carbone des plats de l'automne 2022*. Montréal: CIRAIG.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- ISO. (2006). *ISO 14040: Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes et cadre*. Organisation internationale de normalisation.
- ISO. (2006). *ISO 14044: Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Exigences et lignes directrices*. Organisation internationale de normalisation.
- Mejia, A., Harwatt, H., Jaceldo-Siegi, K., & Sranacharoenpong, K. (2017). Greenhouse Gas Emissions Generated by Tofu Production: A Case Study. *Journal of Hunger & Environmental Nutrition*, 1-12. doi:10.1080/19320248.2017.1315323
- Petersson, T., Secondi, L., Magnani, A., Antonelli, M. D., Valentini, R., Varotto, A., & Castaldi, S. (2021). SU-

EATABLE LIFE: a comprehensive database of carbon and water footprints of food commodities.
doi:10.6084/m9.figshare.13271111.v2

Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., & Weidema, B. (2016). The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *International Journal of Life Cycle Assessment*. doi:<https://doi.org/10.1007/s11367>

ANNEXE A : COMPOSITION ET ANALYSE DE CONTRIBUTION DES INGRÉDIENTS À L'EMPREINTE CARBONE TOTALE D'UN PLAT

Cette annexe présente la composition (nature et masse d'ingrédients) ainsi que l'analyse de contribution des ingrédients à l'empreinte carbone totale des plats analysés.

À l'instar du corps du rapport, les plats sont classés par groupe, tel que suit :

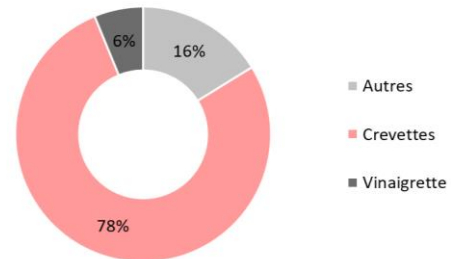
- Les salades
- Les pizzas
- Les pâtes
- Les burgers
- Les frites et poutines
- Les autres plats

Pour rappel, la contribution d'un ingrédient comprend toutes les étapes du cycle de vie (production, emballage, préparation/réfrigération, transport et pertes traitées en fin de vie) pour cet ingrédient.

Les salades

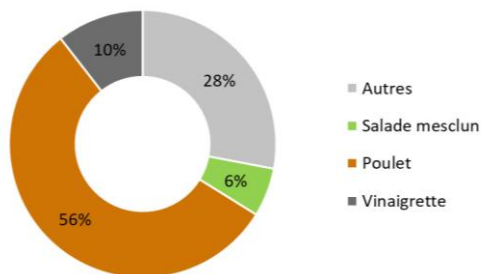
	g	%
Salade crevettes asiatique	360	100%
Quinoa	100	28%
Crevettes	80	22%
Vinaigrette	50	14%
Salade mesclun	40	11%
Tomate	20	6%
Concombre	20	6%
Mélange de pousses, radis/pois	20	6%
Carottes râpées	15	4%
Bettraves râpées	15	4%

Salade crevettes asiatique, 1.17kg CO2eq/plat



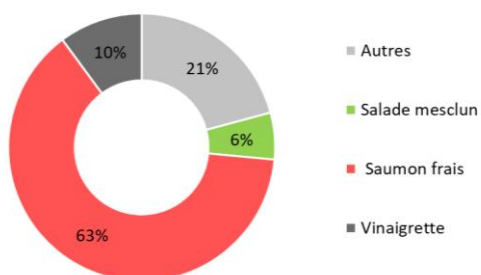
	g	%
Salade poulet mexicaine	395	100%
Quinoa	100	25%
Poulet	80	20%
Vinaigrette	50	13%
Salade mesclun	40	10%
Tomate	20	5%
Mélange de pousses, radis/pois	20	5%
Concombre	20	5%
Maïs	15	4%
Haricot rouges	15	4%
Carottes râpées	15	4%
Bettraves râpées	15	4%
Coriandre	5	1%

Salade poulet mexicaine, 0.69kg CO2eq/plat



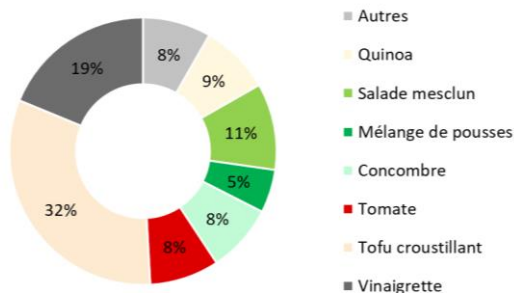
	g	%
Salade saumon	355	100%
Quinoa	100	28%
Saumon frais	75	21%
Vinaigrette	50	14%
Salade mesclun	40	11%
Tomate	20	6%
Concombre	20	6%
Mélange de pousses, radis/pois	20	6%
Carottes râpées	15	4%
Bettraves râpées	15	4%

Salade saumon, 0.72kg CO2eq/plat



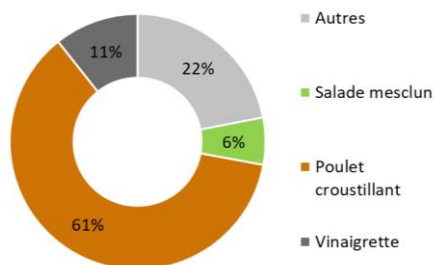
	g	%
Salade au tofu croustillant	380	100%
Tofu croustillant	100	26%
Quinoa	100	26%
Vinaigrette	50	13%
Salade mesclun	40	11%
Tomate	20	5%
Concombre	20	5%
Mélange de pousses	20	5%
Carottes râpées	15	4%
Bettraves râpées	15	4%

Salade au tofu croustillant, 0.39kg CO2eq/plat



	g	%
Salade au poulet croustillant	380	100%
Poulet croustillant	100	26%
Quinoa	100	26%
Vinaigrette	50	13%
Salade mesclun	40	11%
Tomate	20	5%
Concombre	20	5%
Mélange de pousses, radis/pois	20	5%
Carottes râpées	15	4%
Bettes râpées	15	4%

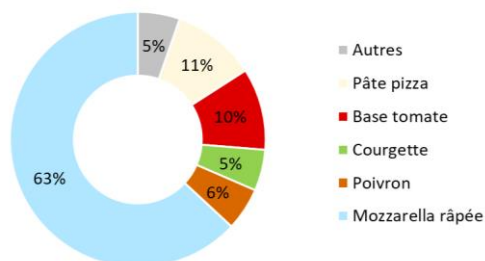
Salade au poulet croustillant, 0.68kg CO2eq/plat



Les pizzas

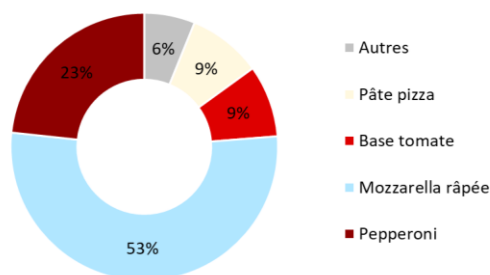
	g	%
Pizza légumes grillés	160	100%
Pâte pizza	60	38%
Mozzarella râpée	33	21%
Poivron	17	10%
Courgette	17	10%
Base tomate	15	9%
Aubergine	10	6%
Oignons rouges	8	5%

Pizza légumes grillés, 0.51kg CO2eq/plat



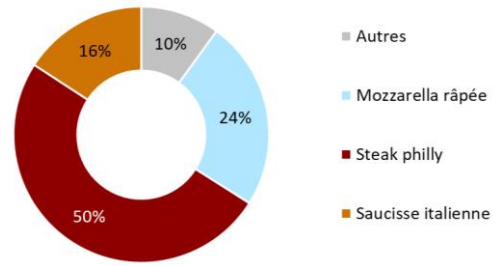
	g	%
Pizza toute garnie	159	100%
Pâte pizza	60	38%
Mozzarella râpée	33	21%
Poivron rouge	17	11%
Champignons	17	11%
Pepperoni	17	11%
Base tomate	15	9%

Pizza toute garnie, 0.61kg CO2eq/plat



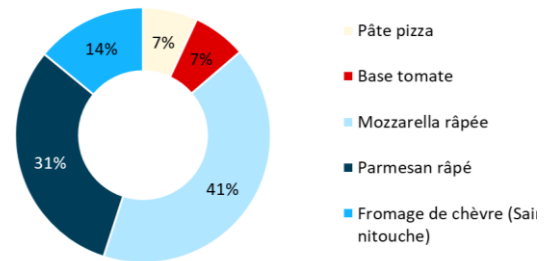
	g	%
Pizza steak-saucisse-piment	175	100%
Pâte pizza	60	34%
Mozzarella râpée	33	19%
Saucisse italienne	25	14%
Steak philly	25	14%
Piments	17	10%
Base tomate	15	9%

Pizza steak-saucisse-piment, 1.35kg CO2eq/plat



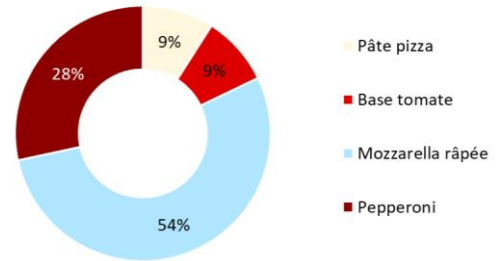
	g	%
Pizza trois fromages	153	100%
Pâte pizza	60	39%
Mozzarella râpée	33	22%
Parmesan râpé	25	16%
Fromage de chèvre	20	13%
Base tomate	15	10%

Pizza 3 fromages, 0.78kg CO2eq/plat



	g	%
Pizza pepperoni	128	100%
Pâte pizza	60	47%
Mozzarella râpée	33	26%
Pepperoni	20	16%
Base tomate	15	12%

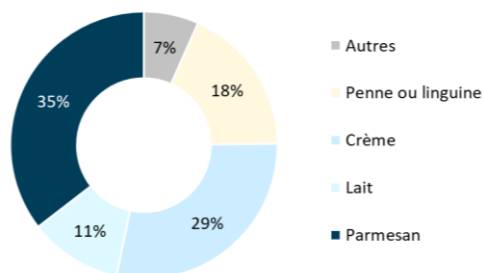
Pizza Pepperoni, 0.60kg CO2eq/plat



Les pâtes

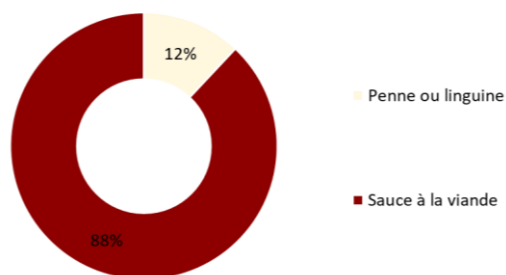
	g	%
Penne Alfredo	507	100%
Penne ou linguine	282	56%
Crème	100	20%
Lait	52	10%
Parmesan	30	6%
Oignons hachés	25	5%
Ail en poudre	10	2%
Fécule de maïs	8	2%

Penne Alfredo, 0.82kg CO2eq/plat



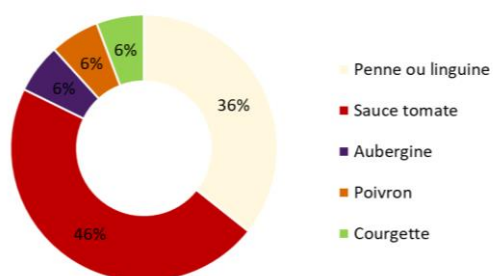
	g	%
Penne sauce légumes grillés	447	100%
Penne ou linguine	282	63%
Sauce tomate	120	27%
Aubergine	15	3%
Poivron	15	3%
Courgette	15	3%

Penne viande, 1.24kg CO2eq/plat



	g	%
Penne viande	462	100%
Penne ou linguine	282	61%
Sauce à la viande	180	39%

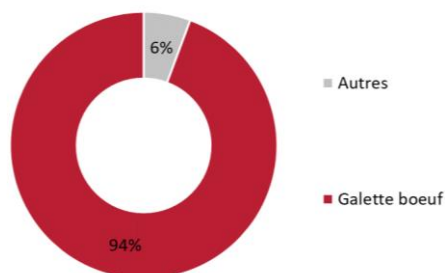
Penne sauce légumes grillés, 0.42kg CO2eq/plat



Les burgers

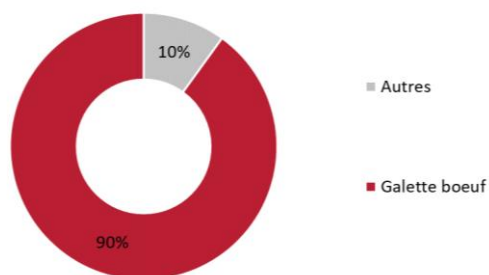
	g	%
Burger boeuf	242	100%
Galette boeuf	85	42%
Pain burger	70	34%
Tomate italienne	15	7%
Mayonnaise	10	5%
Cornichon	10	5%
Laitue iceberg	8	4%
Oignon rouge	6	3%

Burger boeuf, 2.44kg CO2eq/plat



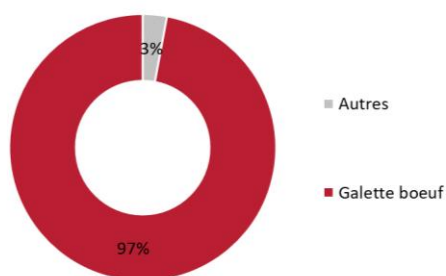
	g	%
Double burger	289	100%
Galette boeuf	170	59%
Pain burger	70	24%
Tomate italienne	15	5%
Mayonnaise	10	3%
Cornichon	10	3%
Laitue iceberg	8	3%
Oignon rouge	6	2%

Cheeseburger, 2.55kg CO2eq/plat



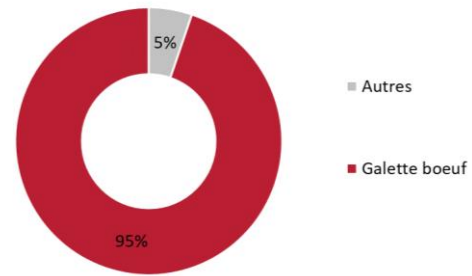
	g	%
Cheeseburger	216	100%
Galette boeuf	85	39%
Pain burger	70	32%
Tomate italienne	15	7%
Cheddar	12	6%
Mayonnaise	10	5%
Cornichon	10	5%
Laitue iceberg	8	4%
Oignon rouge	6	3%

Double burger, 4.73kg CO2eq/plat



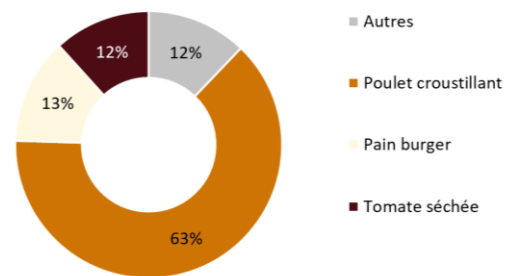
	g	%
Double Cheeseburger	301	100%
Galette boeuf	170	56%
Pain burger	70	23%
Tomate italienne	15	5%
Cheddar	12	4%
Mayonnaise	10	3%
Cornichon	10	3%
Laitue iceberg	8	3%
Oignon rouge	6	2%

Double Cheeseburger, 4.85kg CO2eq/plat



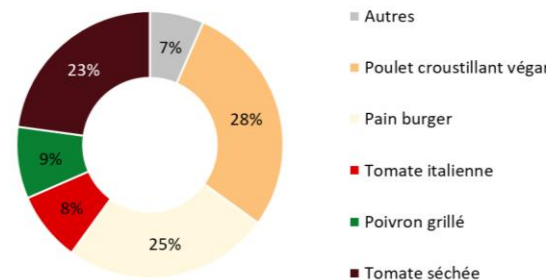
	g	%
Burger poulet croustillant	208	100%
Poulet croustillant	85	41%
Pain burger	70	34%
Poivron grillé	15	7%
Tomate italienne	15	7%
Mayonnaise	10	5%
Laitue iceberg	8	4%
Tomate séchée	5	2%

Burger poulet croustillant, 0.56kg CO2eq/plat



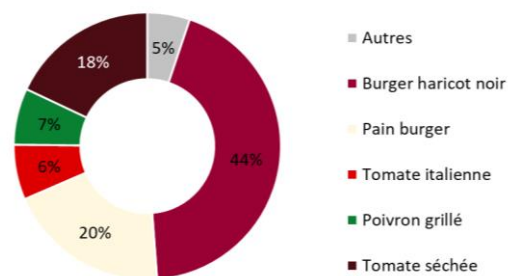
	g	%
Burger végétan croustillant	212	100%
Poulet croustillant végétan	89	42%
Pain burger	70	33%
Poivron grillé	15	7%
Tomate italienne	15	7%
Mayonnaise	10	5%
Laitue iceberg	8	4%
Tomate séchée	5	2%

Burger végétan croustillant, 0.29kg CO2eq/plat



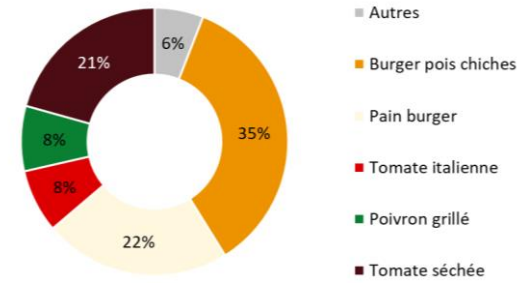
	g	%
Burger végétarien	242	100%
Burger haricot noir	119	49%
Pain burger	70	29%
Poivron grillé	15	6%
Tomate italienne	15	6%
Mayonnaise	10	4%
Laitue iceberg	8	3%
Tomate séchée	5	2%

Burger végétarien, 0.36kg CO2eq/plat



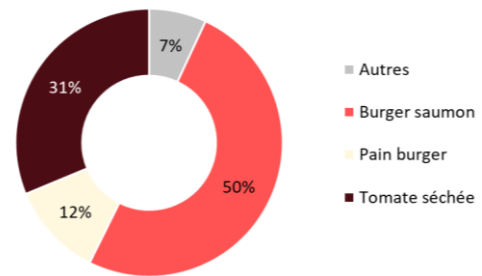
	g	%
Burger végétarien croustillant	223	100%
Burger pois chiches	100	45%
Pain burger	70	31%
Poivron grillé	15	7%
Tomate italienne	15	7%
Mayonnaise	10	4%
Laitue iceberg	8	4%
Tomate séchée	5	2%

Burger végétarien croustillant, 0.32kg CO2eq/plat



	g	%
Burger saumon bbq	218	100%
Burger saumon	100	46%
Pain burger	70	32%
Tomate séchée	15	7%
Poivron grillé	15	7%
Mayonnaise	10	5%
Laitue iceberg	8	4%

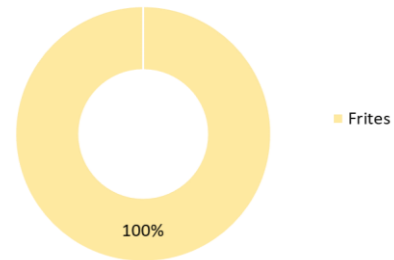
Burger saumon bbq, 0.63kg CO2eq/plat



Les frites et poutines

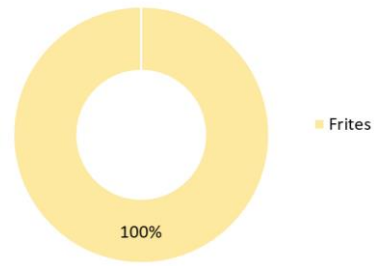
	g	%
Frites	150	100%
Frites	150	100%

Frites, 0.12kg CO2eq/plat



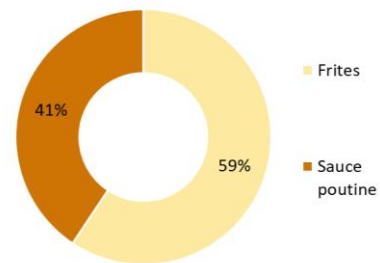
	g	%
Frite grande	250	100%
Frites	250	100%

Frite grande, 0.20kg CO2eq/plat



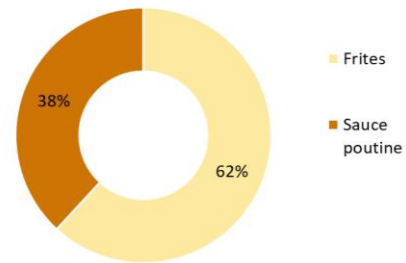
	g	%
Frite Sauce	250	100%
Frites	150	60%
Sauce poutine	100	40%

Frite Sauce, 0.20kg CO2eq/plat



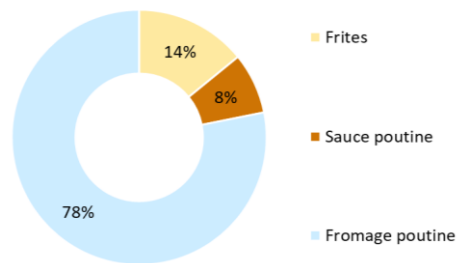
	g	%
Grande Frite Sauce	400	100%
Frites	250	63%
Sauce poutine	150	38%

Grande Frite Sauce, 0.32kg CO2eq/plat

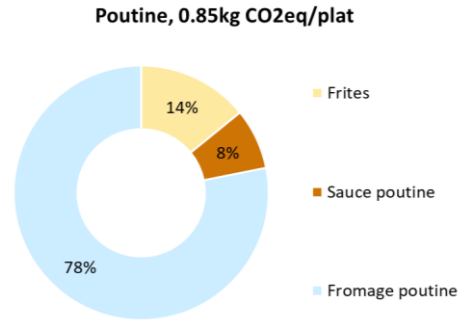


	g	%
Poutine	300	100%
Frites	150	50%
Sauce poutine	80	27%
Fromage poutine	70	23%

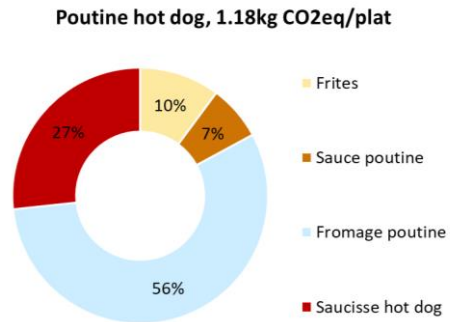
Poutine, 0.85kg CO2eq/plat



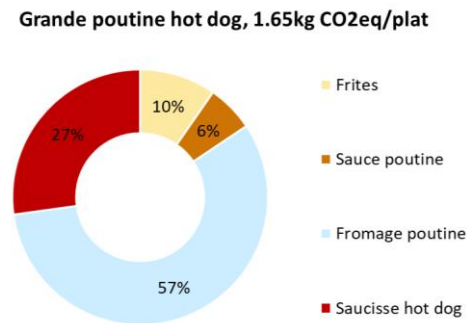
	g	%
Grande poutine	420	100%
Frites	200	48%
Sauce poutine	120	29%
Fromage poutine	100	24%



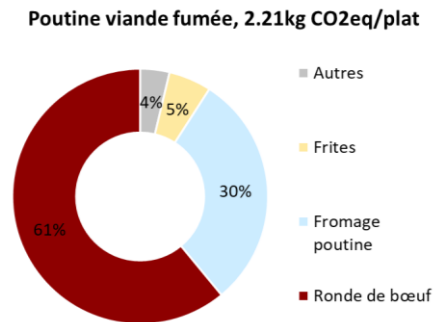
	g	%
Poutine hot dog	390	100%
Frites	150	38%
Sauce poutine	100	26%
Saucisse hot dog	70	18%
Fromage poutine	70	18%



	g	%
Grande poutine hot dog	520	100%
Frites	200	38%
Sauce poutine	120	23%
Saucisse hot dog	100	19%
Fromage poutine	100	19%

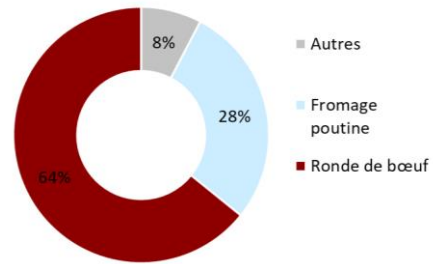


	g	%
Poutine viande fumée	370	100%
Frites	150	41%
Sauce poutine	100	27%
Fromage poutine	70	19%
Ronde de bœuf	50	14%



	g	%
Grande poutine viande fumée	500	100%
Frites	200	40%
Sauce poutine	120	24%
Fromage poutine	100	20%
Ronde de bœuf	80	16%

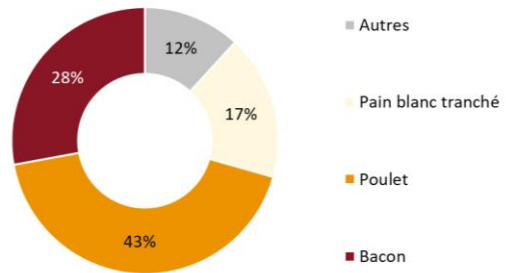
Grande poutine viande fumée, 3.36kg CO2eq/plat



Autres

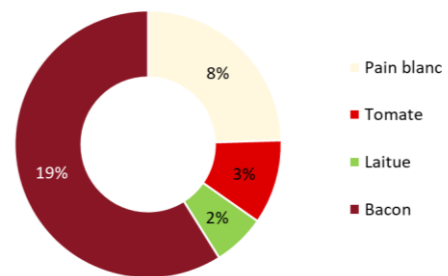
	g	%
Club sandwich poulet seul	262	100%
Pain blanc tranché	115	44%
Poulet	60	23%
Mayonnaise	25	10%
Bacon	22	8%
Tomate	20	8%
Laitue	20	8%

Club sandwich poulet seul, 0.67kg CO2eq/plat

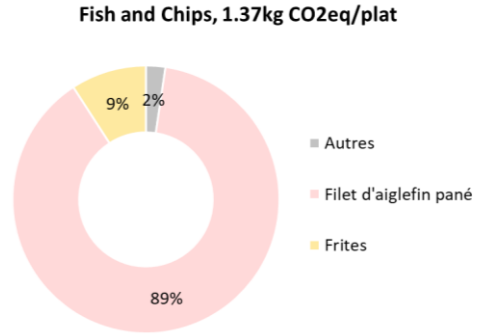


	g	%
BLT	163	100%
Pain blanc	76	47%
Mayonnaise	25	15%
Bacon	22	13%
Laitue	20	12%
Tomate	20	12%

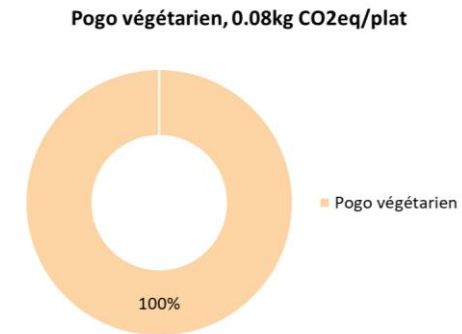
BLT, 0.34kg CO2eq/plat



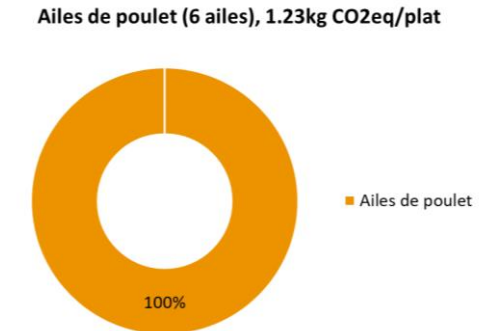
	g	%
Fish and Chips	380	100%
Filet d'aiglefin pané	200	53%
Frites	150	39%
Mayonnaise	30	8%



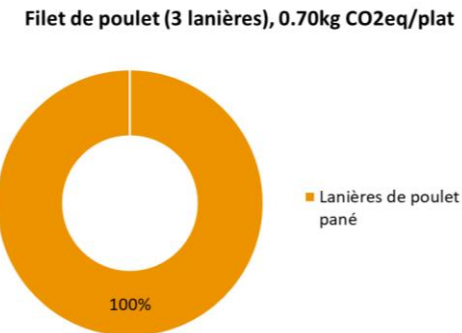
	g	%
Pogo végétarien	90	100%
Pogo végétarien	90	100%



	g	%
Ailes de poulet	444	100%
Ailes de poulet x6	444	100%



	g	%
Filet de poulet	168	100%
lanière de poulet pané	168	100%



ANNEXE B : HYPOTHÈSES ET MODÉLISATION DES INGRÉDIENTS REMODÉLISÉS

Cette annexe présente les hypothèses de modélisation pour les ingrédients remodelés et les résultats obtenus pour chaque ingrédient. Les ingrédients remodelés sont classés en deux catégories :

- les ingrédients de type « recette », modélisés de la même manière qu'un plat
- les autres ingrédients non disponibles directement dans la BD ICV qu'il a fallu modéliser spécifiquement pour le projet.

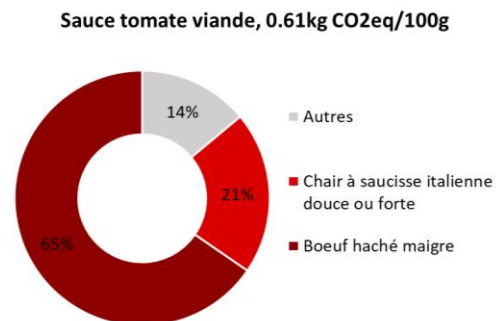
Les ingrédients remodelés « recette »

Les fiches des fournisseurs de l'ASAP précisent la nature et l'ordre de proportion des ingrédients qui entrent dans la composition des ingrédients complexes, mais pas leur quantité exacte. Ainsi, l'ensemble des ingrédients de type « recette » ont été modélisés à partir de recettes provenant d'autres sources, en vérifiant que la liste d'ingrédients corresponde suffisamment bien à la liste des ingrédients du fournisseur.

Sauce tomate viande

Recette disponible en ligne² sélectionnée pour approximer les quantités des ingrédients transmis par l'ASaP.

	g	%
Sauce tomate viande	100	100%
Tomates italiennes en dés	17	17%
Tomates broyées avec purée	17	17%
Chair à saucisse italienne	15	15%
Boeuf haché maigre	15	15%
Carottes, coupées en dés	11	11%
Bouillon de boeuf	11	11%
Oignons, hachés finement	6	6%
Pâte de tomate	3	3%
Branches de céleri, coupées en	3	3%
Huile d'olive	1	1%



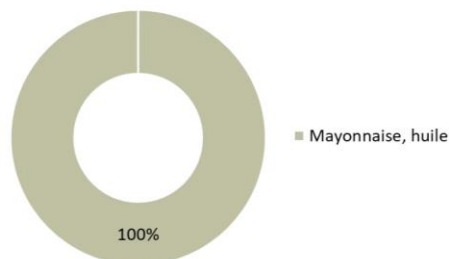
² Ricardocuisine. (2012, February 17). Sauce à spaghetti (la meilleure) | RICARDO. Ricardo. <https://www.ricardocuisine.com/recettes/5335-sauce-a-spaghetti-la-meilleure>

Mayonnaise

Recette disponible en ligne³ sélectionnée pour approximer les quantités des ingrédients transmis par l'ASaP.

	g	%
Mayonnaise	100	100%
Mayonnaise, huile	80	80%
Mayonnaise, eau	20	20%

Mayonnaise, 0.10kg CO2eq/100g

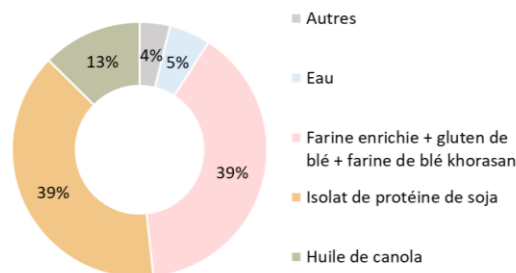


Poulet croustillant végétal

Modélisation reprise du projet pilote avec Polytechnique (Grefte, Blais-Gingras, Houssard, & Saunier, 2022) car la liste d'ingrédients transmise par l'ASaP est très similaire. Tous les ingrédients dont la **masse** est inférieure ou égale à celui du sel sont considérés comme négligeables.

	g	%
Poulet croustillant végétal	100	100%
Isolat de protéine de soja	30	30%
Farine, gluten de blé et farine de blé khorasan	30	30%
Eau	30	30%
Sel	5	5%
Huile de canola	5	5%

Poulet croustillant végétal, 0.10kg CO2eq/100g

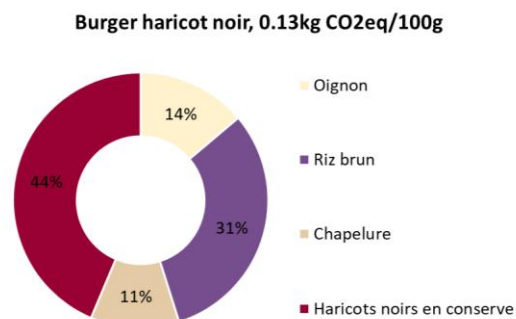


³ Fabrication de Mayonnaise. (n.d.). <https://www.silverson.fr/fr/mediatheque/rapports-dapplication/fabrication-de-mayonnaise>

Burger haricot noir

Recette disponible en ligne⁴ sélectionnée pour approximer la recette du fournisseur⁵ et les quantités des ingrédients transmis par l'ASaP.

	g	%
Burger haricot noir	100	100%
Haricots noirs en conserve	34	34%
Riz brun	28	28%
Oignon	14	14%
Chapelure	14	14%
Eau	7	7%
Ketchup	1	1%
Huile végétale	1	1%



Burger pois chiches

Hypothèses à partir de la recette du fournisseur⁶ et la liste des ingrédients transmis par l'ASaP.

Hypothèses :

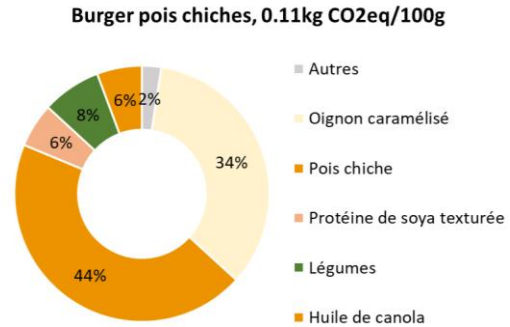
- Galette (95% massique) :
 - Eau (hypothèse 30% massique)
 - Oignon caramélisé (30% massique)
 - Pois chiches (30% massiques)
 - Protéine de soya texturée (5% massique)
 - Légumes (brocoli, carotte, céleri, poivron rouge) (5% massique)
 - Reste (négligeable)
- Chapelure (5% massique) :
 - Panko (50% massique)
 - Huile de canola (50% massique)
 - Reste (négligeable)

⁴Végé Burger de Haricots Noirs - La cuisine De Jean-Philippe. (2021, February 18). La Cuisine De Jean-Philippe. <https://www.lacuisinedejeanphilippe.com/recipe/vege-burger-de-haricots-noirs/>

⁵chipotle black bean burger | Gardein. (n.d.). Gardein. <https://www.gardein.com/beefless-and-porkless/gluten-free/chipotle-black-bean-burger>

⁶Galette au concassé de pois chiche et oignons caramélisés | Chickumi | Aliments du Québec. (n.d.). Aliments Du Québec. <https://www.alimentsduquebec.com/fr/produits-dici/produits-certifies/galette-au-concasse-de-pois-chiche-et-oignons-caramelises>

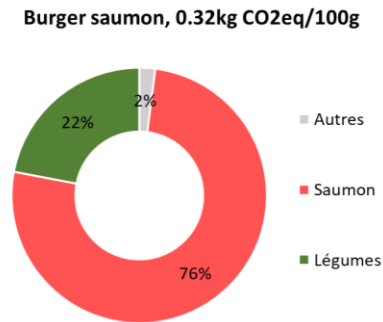
	g	%
Burger pois chiches	100	100%
Pois chiche	28	29%
Oignon caramélisé	28	29%
Eau	28	29%
Légumes	5	5%
Protéine de soya texturée	5	5%
Huile de canola	2	3%
Chapelure panko	2	3%



Burger saumon

Recette disponible en ligne ⁷ pour approximer la recette du fournisseur⁸ et les quantités des ingrédients transmis par l'ASaP.

	g	%
Burger saumon	100	100%
Légumes	55	55%
Saumon	40	40%
Huile de tournesol	5	5%



Pâte à pizza

Recette disponible en ligne pour approximer la recette du fournisseur⁹ et la liste des ingrédients transmise par l'ASaP.

La recette du fournisseur comprend à la fois la pâte et la sauce tomate. On suppose que la pâte fait 80% de la masse et la sauce 20% de la masse. La sauce est détaillée dans la suite de l'annexe, sous l'appellation « concentré de tomates ».

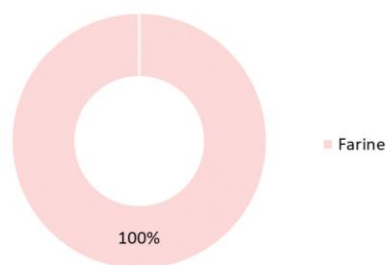
⁷ Croquettes de saumon & de légumes - Libre De Manger. (n.d.). Libre De Manger. <https://libredemanger.com/recettes/croquettes-de-saumon-de-legumes/>

⁸ Smoked BBQ flavoured salmon burger (n. d.). Metro. <https://www.metro.ca/en/online-grocery/aisles/frozen/fish-seafood/burgers-sticks/smoked-bbq-flavoured-salmon-burger/p/775200040124>

⁹ SAUCE TOMATE - Pâtes partout. (n.d.). Pâtes Partout. <https://www.patespartout.com/nos-delices/sauce-tomate/>

Pâte à pizza, 0.08kg CO2eq/100g

	g	%
Pâte à pizza	100	100%
Farine	67	67%
Eau	33	33%

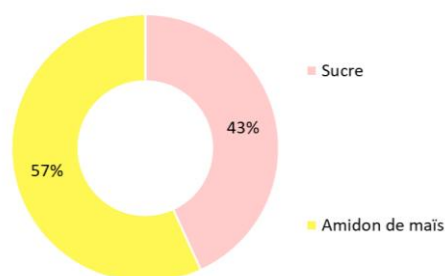


Sauce à poutine

Plusieurs recettes¹⁰¹¹¹² ont servi à la modélisation de la sauce à poutine pour approximer la recette du fournisseur¹³ et les quantités des ingrédients transmis par l'ASaP

Sauce à poutine, 0.08kg CO2eq/100g

	g	%
Sauce à poutine	100	100%
Eau	50	50%
Amidon de maïs	25	25%
Sucre	25	25%



¹⁰ CBC/Radio-Canada. (2021, September 27). Poutine végétalienne | Mordu. Radio-Canada. <https://ici.radio-canada.ca/mordu/recettes/4762/poutine-vegetalienne>

¹¹ Sauce "Gravy" Vegan - La cuisine De Jean-Philippe. (2018, November 8). La Cuisine De Jean-Philippe. <https://www.lacuisinedejeanphilippe.com/recipe/sauce-gravy-vegan/>

¹² Mapa. (n.d.). LUDA ED Rotisserie Chicken Super BBQ Dipping Sauce Mix. Québec Food Directory. <https://www.repertoirealimentsquebecois.gouv.qc.ca/Produit/Index/73140>

¹³ LUDA - Mélange de Sauce Barbecue Super 1 X 20 kg Carton. (2022, April 14). LUDA. <https://luda.ca/fr/produit/luda-ed-melange-de-sauce-barbecue-super-1-x-20-kg-carton/>

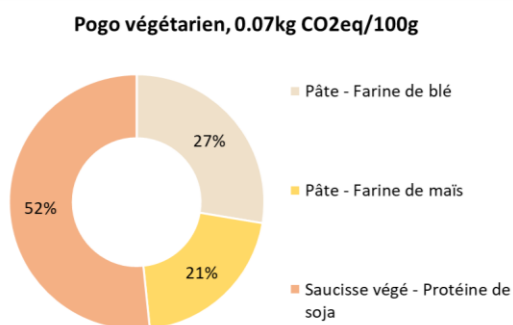
Pogo végétarien

Hypothèses à partir de la recette du fournisseur¹⁴ et la liste des ingrédients communiquée par l'ASaP.

Hypothèses :

- Pâte (40% massique) :
 - Eau (30% massique)
 - Farine de blé (40% massique)
 - Farine de maïs (30% massique)
- Saucisse végétalienne (60% massique) :
 - Eau (50% massique)
 - Isolat de protéine de soja (50% massique)

	g	%
Pogo végétarien	100	100%
Saucisse végété - Eau	30	30%
Saucisse végété - Protéine de soja	30	30%
Pâte - Farine de blé	16	16%
Pâte - Eau	12	12%
Pâte - Farine de maïs	12	12%



Poulet pané

Hypothèses à partir de la recette du fournisseur¹⁵ et la liste des ingrédients communiquée par l'ASaP.

Hypothèses :

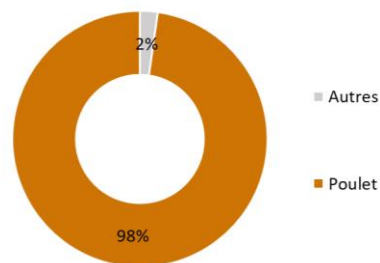
- Poulet (85% massique)
- Pâte (15% massique)
 - Eau (50% massique)
 - Farine de blé (50% massique)

¹⁴ Pogos - Green Brothers. (n.d.). Marché57. <https://www.marche57.com/products/pogos-green-brothers>

¹⁵ Olymel. (n.d.). Croque-Tonnerre, lanières de poitrine de poulet panées. <https://olymelfoodservice.com/fr/thunder-crunch-breaded-chicken-breast-strips-7011016>

	g	%
Poulet pané	100	100%
Poulet	85	85%
Pâte - Farine de blé	8	8%
Pâte - eau	8	8%

Poulet pané, 0.42kg CO2eq/100g

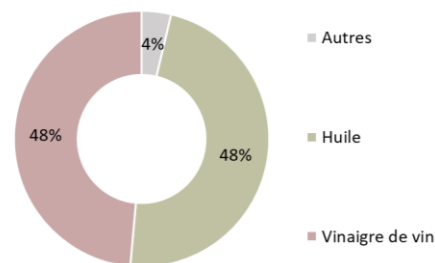


Vinaigrette

Recette disponible en ligne ¹⁶d'une vinaigrette classique.

	g	%
Vinaigrette	100	100%
Huile	61	61%
Vinaigre de vin	34	34%
Moutarde	6	6%

Vinaigrette de base, 0.16kg CO2eq/100g



Les autres ingrédients

Tomates séchées

On suppose que la tomate contient 90% d'eau. Ainsi, il est nécessaire de fournir $1/(1-0.9)$ kg de tomates pour obtenir 1 kg de tomate séchée. Les valeurs de la tomate dans la base de données sont prises comme référence. Seule la valeur de la production est adaptée, les valeurs pour les autres étapes restent inchangées.

Concombre, modifié

L'empreinte environnementale du concombre semble trop élevée dans la base de données consommation

¹⁶ Ricardocuisine. (2014, February 10). Vinaigrette de base | RICARDO. Ricardo. <https://www.ricardocuisine.com/recettes/6139-vinaigrette-de-base>

en comparant sa valeur avec celles d'autres bases de données¹⁷¹⁸. La tomate ayant été raffinée dans la base de données, la valeur de la production du concombre est remplacée par la valeur de la production de la tomate.

Crevette, modifié

L'empreinte environnementale de la crevette semble trop faible dans la base de données consommation en comparant sa valeur avec celles d'autres bases de données¹⁷¹⁸. La crevette est prise comme ingrédient de référence, et la valeur de la production de la crevette est remplacée par la valeur de la production donnée dans la base de données SU-EATABLE¹⁷.

Poivron, modifié

L'empreinte environnementale du poivron semble trop élevée dans la base de données consommation en comparant sa valeur avec celles d'autres bases de données¹⁷¹⁸. La tomate ayant été raffinée dans la base de données, la valeur de la production du poivron est remplacée par la valeur de la production de la tomate.

Concentré de tomates

On considère qu'il faut 1500g de tomates fraîches pour obtenir 600g de concentré¹⁹. L'empreinte de la production de la tomate est donc multipliée par 1500/600. Les valeurs de la tomate dans la base de données sont prises comme référence. Seule la valeur de la production est adaptée, les valeurs pour les autres étapes restent inchangées.

Courgette, modifié

L'empreinte environnementale de la courgette semble trop élevée dans la base de données consommation en comparant sa valeur avec celles d'autres bases de données¹⁷¹⁸. La tomate ayant été raffinée dans la base de données, la valeur de la production de la courgette est remplacée par la valeur de la production de la tomate.

Aubergine, modifié

L'empreinte environnementale de l'aubergine semble trop élevée dans la base de données consommation en comparant sa valeur avec celles d'autres bases de données¹⁷¹⁸. La tomate ayant été raffinée dans la base de données, la valeur de la production de l'aubergine est remplacée par la valeur de la production de la tomate.

¹⁷ Petersson, T., Secondi, L., Magnani, A., Antonelli, M. D., Valentini, R., Varotto, A., & Castaldi, S. (2021). SU-EATABLE LIFE: a comprehensive database of carbon and water footprints of food commodities. doi:10.6084/m9.figshare.13271111.v2

¹⁸ Clune, S., Crossin, E., & Verghese, K. (2017). Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. Journal of Cleaner Production. doi:10.1016/j.jclepro.2016.04.082

¹⁹ Pâte de tomates / concentré de tomates – Fannelie.com. (2020, August 31). <https://fannelie.com/pate-de-tomates-concentre-de-tomates/>

Amidon de maïs

Le maïs en grains contient environ 73% massique d'amidon. La valeur de la production de maïs est multipliée par $1/0.73$. Les valeurs du maïs en grain dans la base de données sont prises comme référence. Seule la valeur de la production est adaptée, les valeurs pour les autres étapes restent inchangées.