

Portrait des émissions de gaz à effet de serre

Secteur ovocole québécois

2024-2025



Avertissement

La reproduction d'extraits est autorisée à des fins non commerciales avec la mention de la source. Toute reproduction partielle doit être fidèle au texte utilisé.

© Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec, 2025

Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée par le Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec en collaboration avec la Fédération des producteurs d'œufs du Québec.

Recherche et rédaction : Sylvestre Delmotte, Ph. D., agr., Thomas Dupuis, B. Sc. et Rosemarie Boulanger, B. Sc.

Renseignements

Pour tout renseignement, vous pouvez communiquer avec la direction générale :

Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec
555, boulevard Roland-Therrien, bureau 100
Longueuil (Québec) J4H 3V6

Téléphone :
450 679-0540, poste 8754

Courriel :
info@cdaq.qc.ca

Résumé

Motivée par le désir de contribuer aux réflexions du secteur agricole en rapport à la lutte contre les changements climatiques, la Fédération des producteurs d'œufs du Québec (FPOQ) a réalisé un portrait des émissions de gaz à effet de serre (GES) des entreprises ovocoles de la province, avec le soutien du Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec (CDAQ). Un total de 31 fermes ovocoles ont été échantillonnées pour établir les principaux postes d'émission de GES : la production des aliments consommés par les poules, la consommation d'énergie, l'élevage des poulettes, le transport et la gestion des fumiers. À la suite d'une analyse transversale des résultats des 31 bilans, plusieurs éléments ont été mis en lumière. La moyenne des émissions totales de GES liées à la production d'œuf s'élève à 1,3 kg d'équivalent dioxyde de carbone (éq. CO₂) par douzaine d'œufs. De ce total, 70 % des émissions sont attribuables à l'alimentation. La contribution de l'alimentation varie selon la composition de la moulée, mais aussi selon l'efficacité alimentaire et la provenance de la moulée. D'autres facteurs causent la variation des émissions de GES d'une entreprise à l'autre : la source d'énergie utilisée pour le chauffage des bâtiments, la quantité totale d'œufs produits, la distance de transport entre la meunerie et la ferme et la durée du cycle de ponte. L'empreinte carbone de la production d'œufs au Québec se positionne de manière favorable par rapport à la moyenne canadienne. Le portrait dégage aussi des perspectives de développement d'une agriculture à faible émission de GES. L'amélioration de l'efficacité alimentaire des poules et poulettes, l'inclusion dans le processus de formulation des moulées d'un critère lié à l'empreinte carbone, l'optimisation des systèmes de gestion des fumiers sont autant de pistes prometteuses pour réduire les émissions de GES du secteur ovocole québécois.

Remerciements

Le CDAQ souhaite remercier en premier lieu les producteurs d'œufs qui ont accepté de participer au projet, ainsi que tous les professionnels et administrateurs de la FPOQ qui ont contribué à sa réalisation.

Également, les auteurs souhaitent souligner la collaboration exceptionnelle des différents partenaires de l'industrie, en particulier les nutritionnistes des différentes organisations membres de l'Association québécoise des industries de nutrition animale et céréalière (AQINAC), ainsi que les professionnels de cette dernière organisation. De même, les représentants de l'entreprise Sanimax ont transmis plusieurs informations très pertinentes qui ont permis d'obtenir un portrait le plus fidèle possible à la réalité.

Plusieurs chercheurs de l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) et de l'Université Laval ont aussi accepté de mettre à profit leur expertise et de réaliser des analyses de données qui ont contribué au sérieux de la présente étude. Enfin, le CDAQ tient à souligner l'excellente collaboration de l'équipe de Nathan Pelletier (UBC) qui nous a fourni plusieurs informations essentielles.

Table des matières

Introduction	1
1 Méthodologie	3
1.1 Conditions de réalisation	3
1.2 Recrutement des fermes, collecte et analyse des données.....	3
1.3 Estimation de l'empreinte carbone de la production d'œufs	4
1.3.1 Périmètre de l'étude	4
1.3.2 Méthode de calcul.....	4
1.4 Évaluation de l'empreinte carbone des moulées	7
1.4.1 Définition des recettes.....	7
1.4.2 Empreinte carbone des sous-produits d'origine animale	8
1.5 Estimation de l'empreinte carbone de l'élevage des poulettes	11
2 Résultats.....	12
2.1 Émissions liées à l'élevage des poulettes	12
2.1.1 Émissions moyennes.....	12
2.1.2 Analyse de la variabilité des émissions liées à l'élevage des poulettes	12
2.2 Émissions liées à la production d'œufs	15
2.2.1 Émissions moyennes.....	15
2.2.2 Comparaison de l'empreinte carbone des œufs québécois avec ceux produits ailleurs.....	15
2.2.3 Variabilité des émissions	16
2.3 Facteurs explicatifs de la variabilité des émissions.....	17
2.3.1 Analyse par poste d'émission.....	17
2.3.2 Analyse de classification ascendante hiérarchique.....	19
2.3.3 Influence de la durée du cycle de ponte.....	20
2.3.4 Comparaison des émissions par système d'élevage.....	21
3 Perspectives pour développer une agriculture à faible émission de GES	22
3.1 Composition des moulées et empreinte carbone des aliments.....	22
3.2 Consommation d'aliments, efficience alimentaire et durée du cycle de ponte.....	23
3.3 Systèmes d'élevage et races.....	24
3.4 Gestion des fumiers, séchage et entreposage	25
Conclusion	26
Références	27

Liste des tableaux

Tableau 1 – Caractéristiques et émissions des quatre groupes de fermes.....	20
---	----

Liste des figures

Figure 1 – Composition des moulées québécoises	8
Figure 2 – Contribution des ingrédients à l’empreinte carbone des moulées	9
Figure 3 – Part des postes dans les émissions de GES de l’élevage des poulettes...	12
Figure 4 – Variabilité des émissions totales liées à l’élevage des poulettes	14
Figure 5 – Part des postes dans les émissions de GES totales de l’ovoculture	15
Figure 6 – Empreinte carbone d’une douzaine d’œufs au Québec, au Canada et ailleurs dans le monde	16
Figure 7 – Émissions de GES par poste des fermes ovocoles de l’échantillon	17
Figure 8 – Arbre de classification des fermes en production régulière.....	19
Figure 9 – Empreinte carbone d’une douzaine d’œufs en fonction de la durée du cycle de ponte.....	21

Introduction

Depuis près de cinq décennies déjà, le climat de la planète évolue du fait de l'augmentation de la concentration des GES dans l'atmosphère. En réaction à ce phénomène, et pour limiter l'ampleur des changements climatiques à l'échelle planétaire, des objectifs de réduction des émissions ont été formulés, notamment dans le cadre des accords de Paris en 2015. Ces objectifs se sont traduits par des engagements au Canada aux échelles nationale et provinciale ainsi que de la part de certaines entreprises et certains secteurs d'activités. Notamment, le secteur agricole est concerné par ces engagements. En effet, selon l'inventaire québécois des émissions de GES, le secteur agricole a contribué à hauteur de 10 % des émissions totales de la province du Québec en 2022, faisant de ce secteur économique le troisième émetteur d'émissions de GES de la province (ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, 2024).

À l'échelle canadienne, les Producteurs d'œufs du Canada (POC) souhaitent atteindre la carboneutralité en 2050 et définissent actuellement la marche à suivre pour remplir cet objectif.

Au Québec, la FPOQ, dans le désir de contribuer aux réflexions, a réalisé un portrait des émissions de GES des entreprises de la province. La présente étude vise à établir un état de la situation actuelle et à contribuer à suggérer des pistes d'action concrètes pour réduire les émissions de GES des entreprises agricoles. Le rapport présente les résultats d'une étude conjointe du CDAQ et de la FPOQ réalisée en 2024 et 2025 dont les objectifs étaient les suivants :

- Réaliser le bilan carbone d'un échantillon d'une trentaine de fermes ovocoles;
- Dresser à partir de cet échantillon un portrait des principaux postes d'émissions de GES du secteur ovocole du Québec et déterminer les facteurs qui expliquent la variabilité des émissions entre les entreprises agricoles;
- Déterminer des stratégies à envisager pour réduire l'empreinte carbone des entreprises.

Ce document est organisé en trois sections principales. La première présente le contexte et la méthodologie utilisée pour l'étude. La deuxième brosse un portrait chiffré des résultats issus des bilans carbone réalisés. Finalement, la dernière section dégage des perspectives pour développer une ovoculture à faible émission de GES.

1 Méthodologie

1.1 Conditions de réalisation

Ce rapport est présenté par le CDAQ pour la FPOQ. Le CDAQ, dans le cadre de l'initiative du projet Agriculmat, a développé un outil de diagnostic des entreprises agricoles afin de les accompagner dans la lutte contre les changements climatiques. Cet outil permet de réaliser le bilan carbone d'une entreprise agricole, c'est-à-dire d'estimer les émissions de GES ainsi que le potentiel de séquestration du carbone. Dans le contexte de cette étude, seules les émissions de GES liées à l'ovoculture ont été estimées (voir le périmètre d'analyse ci-bas) en utilisant le calculateur Agriculmat.

La FPOQ a déterminé les critères d'un échantillon de fermes représentatives du secteur ovicole québécois et a sélectionné les entreprises participantes. Deux agentes de la FPOQ ont été mandatées pour recueillir les données auprès des producteurs et remplir les calculateurs Agriculmat.

Une fois les calculateurs vérifiés et validés par le CDAQ, une analyse transversale des bilans de même que des analyses statistiques ont été réalisées, ces dernières par un professionnel de recherche de l'Université Laval et partenaire du CDAQ.

1.2 Recrutement des fermes, collecte et analyse des données

L'étude a été réalisée auprès d'un échantillon de 31 fermes, dont 30 recrutées par la FPOQ et 1 provenant du projet BOvins pour le climat du CDAQ. Ensemble, les entreprises sélectionnées produisent près de 270 millions d'œufs, soit environ 15 % de la production annuelle au Québec en 2024. Celles-ci comptent en moyenne près de 32 000 pondeuses. 29 des 31 élevages alimentent les poules avec des aliments issus de l'agriculture conventionnelle. Des 29, 20 utilisent des cages enrichies, 6 ont des installations en liberté (5 volières et 1 parquet) et 3 disposent de cages conventionnelles. Les deux entreprises sous régie biologique pratiquent l'élevage sur parquet. Finalement, 14 entreprises élèvent des poulettes destinées au pondoir ou à la vente.

1.3 Estimation de l’empreinte carbone de la production d’œufs

1.3.1 Périmètre de l’étude

Le bilan carbone est un outil qui permet d’estimer les émissions de GES liées aux activités d’une entreprise agricole et la quantité de carbone potentiellement séquestrée par l’entreprise, notamment dans les sols et les arbres. Puisque la majorité des entreprises ovocoles nourrissent leurs volailles avec des aliments achetés (c’est-à-dire non produit sur la ferme), la séquestration du carbone par les sols n’a pas été comptabilisée dans le cadre de ce projet.

Le bilan carbone a été réalisé durant un cycle de ponte, en comptabilisant toutes les émissions de portées 1, 2 et 3¹ liées à la production d’un lot de pondeuses. Chacune des fermes sélectionnées a contribué à la collecte des données et la majorité des lots concernés dans l’étude ont soit débuté, soit terminé (ou les deux) en 2023, puisque celle-ci a été amorcée au printemps 2024. La consigne aux producteurs était de fournir des données pour le dernier lot terminé.

1.3.2 Méthode de calcul

Les trois principaux GES en agriculture sont le méthane (CH₄), le protoxyde d’azote (N₂O) et le dioxyde de carbone (CO₂). Comme ces trois gaz ont un potentiel de réchauffement planétaire différent, les émissions de CH₄ et de N₂O sont exprimées en équivalent CO₂ grâce à des facteurs de conversion proposés par le Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat (GIEC, 2014). Pour faciliter l’interprétation des résultats et la comparaison entre les fermes, les émissions de GES sont rapportées par unité de production. En l’occurrence, nous avons retenu comme unité fonctionnelle la douzaine d’œufs livrée au classificateur, excluant ainsi les œufs sales ou fêlés.

¹ Les émissions de portée 1 sont dites « directes », soit celles émises sur la ferme. Les émissions de portée 2 sont dites « indirectes » et attribuables à l’énergie utilisée par l’entreprise (par exemple les émissions dues à l’extraction du gaz naturel). Les émissions de portée 3 englobent toutes les autres émissions liées à la production de la ferme, mais émises par un tier (par exemple la production des engrais dans les usines).

Pour estimer les émissions de GES liées à l'ovoculture, le calculateur Agriclimat suit les recommandations méthodologiques pour le secteur agricole du Greenhouse Gas Protocol (GHG protocol, 2014). Ainsi, l'estimation des émissions de GES est réalisée par poste d'émission et inclut toutes les émissions de portées 1 à 3 qui se produisent du « berceau » jusqu'à la porte de la ferme. Les émissions de GES sont donc attribuées aux postes suivants :

- La production des aliments consommés par les poules, poste « alimentation » (portées 1, 2 et 3);
- La consommation d'énergie (portées 1 et 2);
- L'élevage des poulettes (portées 1, 2 et 3), poste qui inclut toutes les émissions depuis l'achat des poussins, le transport, la production des aliments et la gestion des fumiers, ainsi que la consommation d'énergie, pour la phase d'élevage des poulettes jusqu'à leur entrée dans le pondeur;
- La gestion des déjections produites par les poules (portées 1 et 3);
- Le transport des poulettes et des aliments consommés par les poules (portée 3).

Les *Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre* et la *Révision 2019* (GIEC, 2006, 2019) définissent des niveaux (1 à 3)² représentant le degré de complexité s'appliquant aux méthodes d'estimations des émissions par poste. Le niveau 1 correspond à la méthode la plus simple, mais aussi la moins précise, puisqu'elle peut entraîner des erreurs d'estimation potentiellement élevées. Elle consiste souvent à utiliser des facteurs d'émissions proposés par le GIEC qui ont une portée internationale, non spécifiques aux secteurs ovocoles du Canada et du Québec. La méthode de niveau 2 permet de réaliser des estimations plus précises, tenant compte de particularités régionales. La méthode de niveau 3 est la plus complexe quant à la méthodologie et aux exigences en matière de données (Environnement et Changement climatique Canada [ECCC], 2024). L'une des principales recommandations du GIEC préconise d'utiliser la méthode la plus précise possible, y compris des méthodes de niveau 3, même si elles peuvent différer de la méthode de calcul proposée par le GIEC, afin de réaliser un inventaire de GES le plus précis possible à l'échelle régionale.

² En anglais *Tier 1*, *Tier 2* et *Tier 3*.

Au Canada, le *Rapport d'inventaire national* (RIN) publié annuellement par ECCC (2025) propose des valeurs de paramètres spécifiques au Canada et, en certains cas, au Québec pour l'estimation de plusieurs postes d'émissions dans une méthode de niveau 2. Dans la présente étude, les émissions liées à la gestion des fumiers ont été comptabilisées en se basant sur les paramètres proposés par le GIEC (2019) et le RIN de 2023 (ECCC, 2025).

En ce qui concerne le poste de l'alimentation, toutes les émissions liées à la production des aliments consommés par les volailles ont été comptabilisées à partir de valeurs de références qui, issues d'analyses de cycle de vie, quantifient les kilogrammes de CO₂ émis par kilogramme d'aliments. Afin d'employer une méthode la plus comparable possible avec celle de l'Outil d'évaluation de l'empreinte écologique des fermes (OEEEF) (POC, 2023), les valeurs de référence utilisées dans l'OEEEF et présentées dans Arulnathan (2023) ont été utilisées.

Si la ferme produit sa propre alimentation, les émissions de GES liées à la production des grains (émissions des sols, émissions liées à la consommation d'énergie par la machinerie, émissions liées à la production des intrants comme les engrais) ont été estimées à partir de différents modèles. Les émissions de N₂O des sols ont été estimées en utilisant la méthode proposée dans le RIN (ECCC, 2025), qui prend en compte des facteurs comme le climat régional et les types de sol et de fertilisant utilisés (Liang et al., 2020). Les émissions attribuables à la combustion des énergies fossiles et à la production d'électricité ont été estimées également à partir des coefficients d'émissions proposées dans le RIN (ECCC, 2025). En ce qui concerne les émissions dues à la production et au transport des carburants, les valeurs de référence de Rotz et al., (2010) ont été utilisées. Ces mêmes valeurs ont servi au calcul des autres consommations d'énergie liées à l'ovoculture (par exemple le chauffage des bâtiments, la génératrice de secours, la manutention des fumiers), de même que celui de la production de la majorité des intrants nécessaires (par exemple les engrais) à la culture des grains (Rotz et al., 2010).

Finalement, les émissions de GES liées au transport des grains, des poulettes et des poussins ont été calculées à partir de l'estimation des distances et des masses des marchandises transportées ainsi que des valeurs de référence utilisées dans l'OEEEF (Arulnathan, 2023).

Le bilan carbone réalisé dans cette étude se distingue de l'inventaire de GES et de l'analyse de cycle de vie (ACV). En effet, l'inventaire permet de faire le suivi des émissions de GES et de la séquestration de carbone à l'échelle d'une province ou d'un pays, mais ne tient pas compte des émissions de portée 3 (c'est-à-dire les émissions qui ne se déroulent pas sur le territoire concerné). L'ACV, quant à elle, repose sur une méthode d'évaluation normalisée, développée pour évaluer le bilan environnemental multicritère (y compris, notamment, l'empreinte sur le climat) d'un produit ou d'un système. Plus complexe qu'un bilan carbone, elle est souvent réalisée à l'échelle d'un secteur de production pour un territoire géographique donné et tient compte de toutes les étapes du cycle de vie d'un produit et de plusieurs effets simultanément. À titre d'exemple, l'exercice portant sur le cycle de vie de la production d'un litre de lait au Canada correspond à ce type d'analyse.

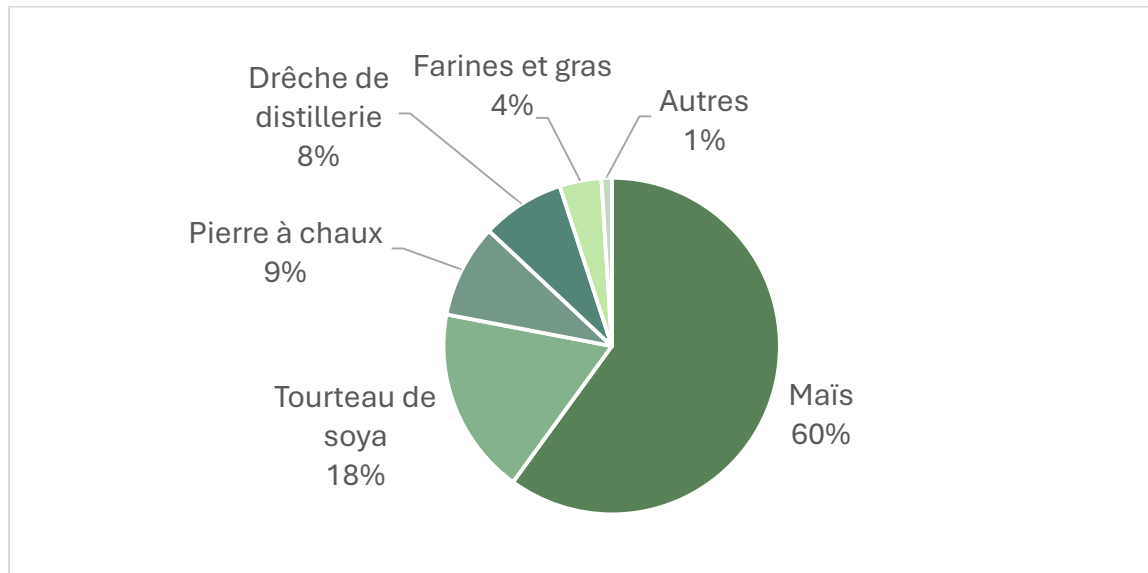
1.4 Évaluation de l'empreinte carbone des moulées

1.4.1 Définition des recettes

Lors de la phase de collecte de données, la majorité des producteurs n'ont pas été en mesure de fournir les détails de la composition des moulées qui sont servies aux poules et poulettes, le cas échéant. D'une part, la disponibilité des ingrédients dans les meuneries et les fluctuations du prix de chaque ingrédient provoquent des variations de composition et, d'autre part, les recettes de moulée commerciale ne sont pas rendues publiques par les meuniers. Dans ce contexte, cinq recettes ont été formulées (pour deux phases pour les poules pondeuses et trois phases pour les poulettes) sur la base des spécifications de Lohmann (s.d.), par quatre nutritionnistes représentant les principaux fournisseurs au Québec. En collaboration avec l'AQINAC, les recettes ont été mises au point afin de produire une recette moyenne de moulée pour les poules pondeuses par phase. Sa composition est présentée dans la figure 1 (à la page suivante). Pour les deux entreprises en agriculture biologique, le détail de la composition des moulées ainsi que les quantités consommées ont été obtenus. Ainsi, l'estimation de l'empreinte carbone de l'alimentation des poules et

poulettes a tablé sur des coefficients d'émissions spécifiques aux aliments biologiques (Arulnathan, 2023).

Figure 1 – Composition des moulées québécoises



1.4.2 Empreinte carbone des sous-produits d'origine animale

Certains sous-produits d'origine animale tels que les farines et les gras entrent dans la composition des moulées utilisées dans le secteur ovicole québécois. Selon les standards reconnus en analyse du cycle de vie (Organisation internationale de normalisation, 2006), les émissions de GES attribuables à l'élevage d'un animal sont réparties entre la viande et les sous-produits animaux à l'aide de règles d'allocation. Plusieurs règles d'allocation existent et peuvent être utilisées, et nombreux sont les débats au sein de la communauté scientifique quant à laquelle préconiser (voir l'encadré intitulé *Farines et gras, des déchets ou des sous-produits?*

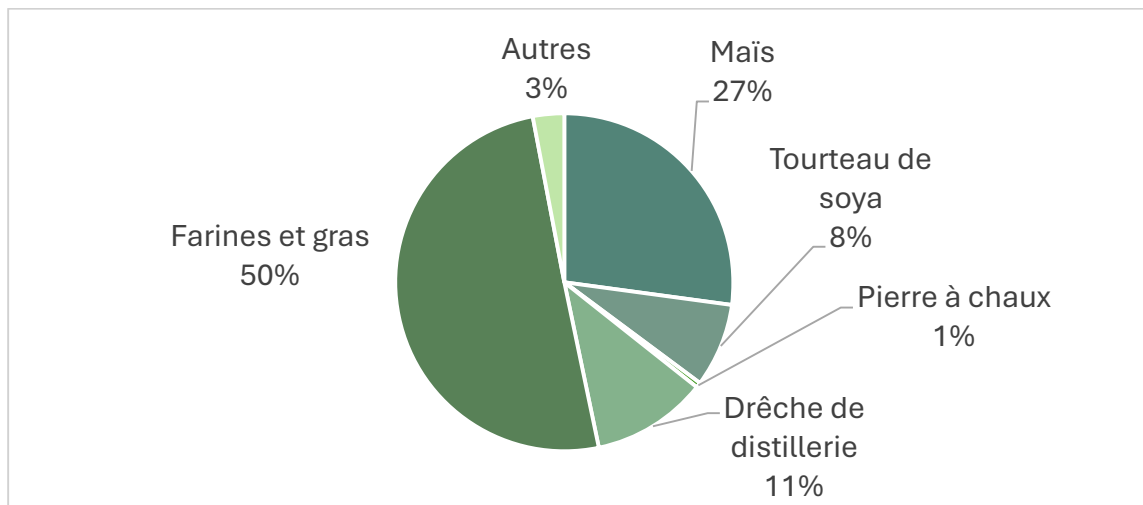
Dans le cas des graisses et farines animales servant à l'alimentation des poules, la méthode d'allocation basée sur la quantité d'énergie (calories) contenue dans le produit principal et les sous-produits (Pelletier et al., 2014) a été appliquée afin de calculer les valeurs de référence d'empreinte carbone des sous-produits (Pelletier, 2017) dans la présente étude. Notons que certains sous-produits animaux affichent une empreinte carbone plus importante, du fait des émissions de méthane émises par les productions dont ils sont issus (par exemple les productions laitière et bovine). Par conséquent, une farine animale

composée de carcasses de ruminants présentera une empreinte carbone supérieure à celle composée de sous-produits issus de l'élevage de porcs ou de volailles. Ainsi, l'élevage des animaux est l'un des principaux contributeurs à l'empreinte environnementale des différents ingrédients de la moulée. À cela s'ajoutent les émissions liées à la transformation des sous-produits en aliments pour animaux ainsi qu'à leur transport.

Grâce à la collaboration de l'AQINAC et de l'entreprise Sanimax, principal fournisseur des sous-produits animaux au Québec, il a été possible de déterminer la proportion de gras et farines en fonction des sous-produits animaux composant les moulées commercialisées pour les poules au Québec. En multipliant l'empreinte carbone de chaque sous-produit par la proportion de ceux-ci dans les gras et farines, une empreinte moyenne a été obtenue pour le Québec.

La figure 2 illustre la part (exprimée en %) de chacun des ingrédients dans l'empreinte carbone de la moulée, obtenue en tenant compte de la quantité de chaque ingrédient et de son empreinte carbone. Ainsi, bien que les moulées présentent une faible teneur en farines et en gras, ces deux ingrédients contribuent à une part importante de son empreinte carbone.

Figure 2 – Contribution des ingrédients à l'empreinte carbone des moulées



Farines et gras, des déchets ou des sous-produits?

Un déchet est un résidu d'un processus, sans valeur économique directe, donc destiné à l'élimination. À l'inverse, un sous-produit tel que les carcasses d'animaux d'élevage est réutilisé dans une autre chaîne de production et est considéré comme ayant contribué à la valorisation économique de l'animal. Selon les normes ISO (2006) qui régissent les analyses de cycles de vie, les sous-produits doivent faire l'objet d'une allocation d'unités d'émission de GES, contrairement aux déchets qui, eux, n'héritent pas d'une partie des émissions du processus de production initial (cité dans Domínguez Aldama et al., 2023).

La distinction entre sous-produits et déchets a donc une incidence importante sur l'évaluation de l'empreinte carbone. Toutefois, même au sein de la communauté scientifique, ce sujet fait l'objet de débats (Domínguez Aldama et al., 2023). Entre autres, pour certains auteurs, les sous-produits animaux devraient être liés à une faible empreinte carbone en raison de leur statut de déchets issus de la production de viande destinée à la consommation humaine. Cette vision est fondée sur le fait que ces sous-produits seraient autrement gaspillés et envoyés à l'enfouissement, une pratique qui entraîne également des répercussions environnementales (Wilkinson, 2014). D'autres auteurs remettent en question cette vision (Nicholles et Knight, 2025). Ils font valoir qu'il existe un réel marché pour ces sous-produits. D'une part, les meuniers qui souhaitent acheter ces sous-produits pour les inclure dans des moulées se trouvent en concurrence avec d'autres secteurs pour l'accès à ces ingrédients, notamment les industries de l'énergie, des pharmaceutiques, de l'alimentation pour animaux de compagnie ainsi que l'industrie agroalimentaire humaine (Swanson et al., 2103). D'autre part, pour l'industrie de l'élevage en amont, ces sous-produits représentent une valeur économique considérable. Jayathilakan et al. (2012) soulignent qu'une utilisation efficace des sous-produits animaux contribue à la rentabilité de l'industrie : aux États-Unis, 11,4 % du revenu brut provenant du bœuf et 7,5 % de celui provenant du porc sont attribuables aux sous-produits.

En résumé, bien que l'utilisation de sous-produits animaux dans l'alimentation des poules rende divers services environnementaux non négligeables en évitant leur gaspillage, ils ne peuvent être dissociés du produit principal qu'est la viande selon les standards à respecter pour réaliser une évaluation d'une empreinte carbone. Ainsi, une allocation d'une partie des émissions liées à l'élevage des animaux aux sous-produits doit être réalisée.

1.5 Estimation de l’empreinte carbone de l’élevage des poulettes

Des 31 fermes, près de la moitié élève leurs propres poulettes. Pour ces 14 fermes, l’ensemble des émissions dues à l’élevage a été comptabilisé au moyen des méthodes précédemment décrites, et ce, depuis le berceau (la production des œufs d’incubation, le transport des poussins, etc.) jusqu’à la sortie des poulettes de l’élevage vers le pondoir, en incluant les émissions liées aux aliments consommés, aux fumiers ainsi qu’à l’énergie consommée pour l’élevage. À partir de ce sous-échantillon de fermes, une moyenne (pondérée par le nombre de poulettes élevées dans chaque élevage) des émissions attribuables à l’élevage des poulettes a été calculée, après quoi utilisée pour estimer ce poste d’émission pour toutes les fermes qui achètent des poulettes.

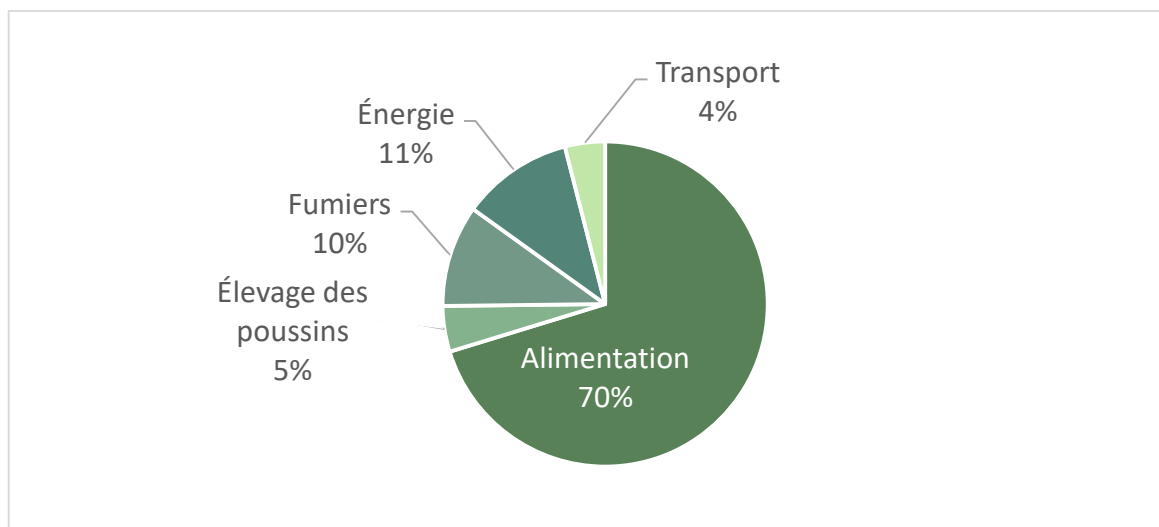
2 Résultats

2.1 Émissions liées à l'élevage des poulettes

2.1.1 Émissions moyennes

La moyenne des émissions de GES attribuables à l'élevage des poulettes s'élève à 5,4 kg équ. CO₂ par poulette. Cette moyenne a été calculée à partir du sous-échantillon de 14 fermes et pondérée pour la production totale de poulettes. L'alimentation des poulettes représente à elle seule 70 % des émissions totales de l'élevage. Les autres postes d'émissions sont, par ordre d'importance, l'énergie, la gestion des fumiers, l'élevage des poussins et le transport (figure 3). Les émissions de GES moyennes des poulettes de notre échantillon sont inférieures de 7 % à celui de la moyenne canadienne issue de la littérature, qui s'élève à 5,8 kg équ. CO₂ (Arulnathan, 2023).

Figure 3 – Part des postes dans les émissions de GES de l'élevage des poulettes

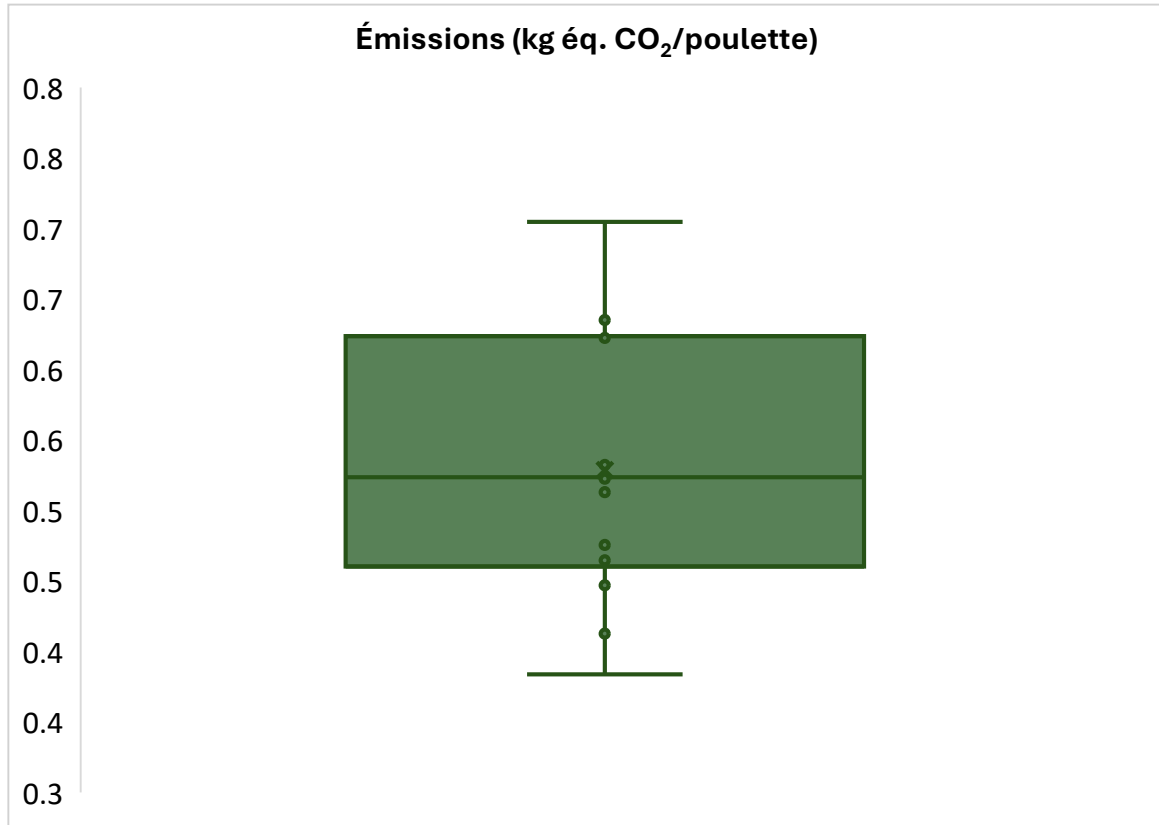


2.1.2 Analyse de la variabilité des émissions liées à l'élevage des poulettes

Comme l'illustre la figure 4 (à la page 15), les émissions attribuables à l'élevage des poulettes pour les 14 fermes présentent une variation importante. En effet, les émissions varient d'environ 4 jusqu'à près de 7 kg équ. CO₂ par poulette. Cette variation est principalement liée à l'alimentation (quantité de moulée consommée et composition). D'autres facteurs expliquent cette variabilité, comme le type d'énergie et la consommation énergétique totale reliée au chauffage des bâtiments, le cas échéant. En effet, les fermes

dont l'élevage a été réalisé en hiver et dont le chauffage du bâtiment fonctionne au propane affichent une empreinte carbone attribuable à l'énergie plus importante. À l'inverse, certains élevages réalisés en été ou en automne entraînent une très faible consommation d'énergie. Cependant, puisque la période d'élevage est fonction de la date d'entrée souhaitée des poulettes dans le pondeur, qui fait l'objet d'une régie collective, la consommation totale d'énergie est un facteur sur lequel les producteurs n'auront toujours qu'un contrôle partiel (même dans un bâtiment bien isolé, il sera nécessaire de chauffer en hiver au Québec). Compte tenu de cette réalité, la méthode qui prend en considération la moyenne des 14 fermes pour estimer les émissions liées à l'élevage des poulettes permet de tenir compte de la variabilité saisonnière et ainsi de la variabilité de la consommation d'énergie.

Figure 4 – Variabilité des émissions totales liées à l'élevage des poulettes



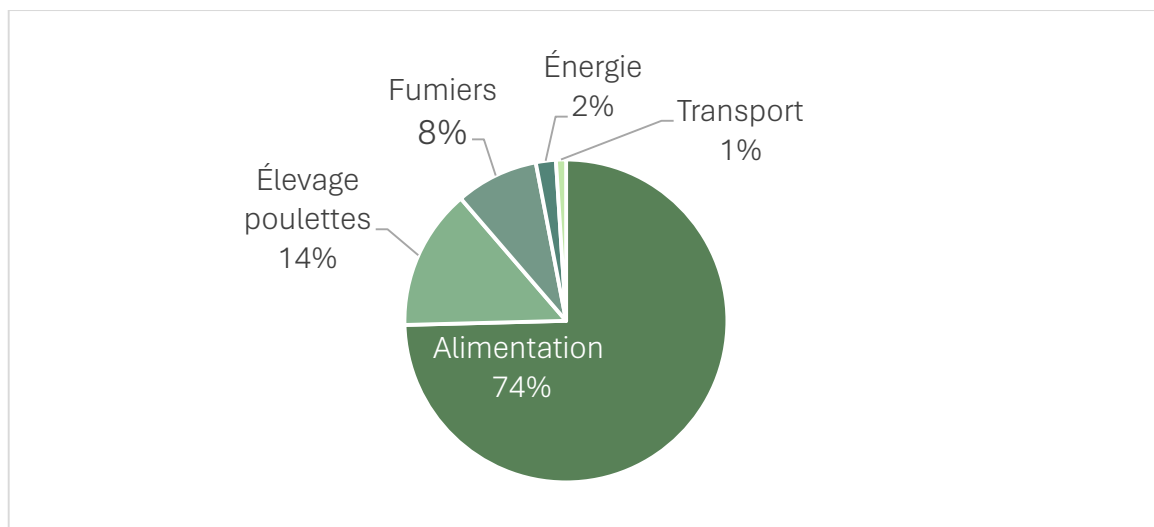
Note : Les barres horizontales aux extrémités du graphique représentent les valeurs minimale et maximale observées. Au sein du rectangle principal, la barre inférieure représente le 25^e percentile des valeurs observées et la barre supérieure le 75^e percentile. La barre horizontale centrale représente la valeur médiane. Chaque point de donnée est représenté par un cercle.

2.2 Émissions liées à la production d'œufs

2.2.1 Émissions moyennes

La moyenne des émissions totales de GES liées à la production d'œufs s'élève à 1,3 kg éq. CO₂ par douzaine d'œufs. Cette moyenne a été calculée à partir de l'échantillon de 31 fermes ovocoles et pondérée pour le nombre total d'œufs produits par chaque élevage. Comme pour l'élevage des poulettes, l'alimentation des poules représente le poste d'émission le plus important (74 %). Les autres postes d'émission sont, par ordre d'importance, l'élevage des poulettes, la gestion des fumiers, l'énergie et le transport (figure 5).

Figure 5 – Part des postes dans les émissions de GES totales de l'ovoculture

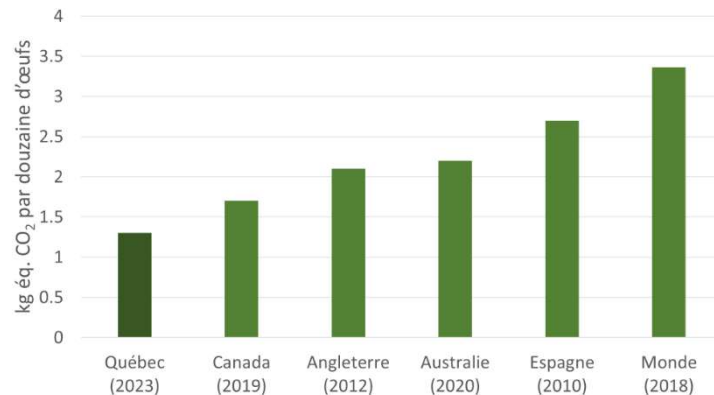


2.2.2 Comparaison de l'empreinte carbone des œufs québécois avec ceux produits ailleurs

Le secteur ovocole québécois semble se positionner avantageusement par rapport aux autres provinces et dans le monde, comme le montre la figure 6 (à la page suivante). En effet, l'empreinte estimée dans cette étude est légèrement inférieure à l'empreinte carbone moyenne canadienne, qui se chiffre à environ 1,7 kg éq. CO₂ par douzaine d'œufs (Turner et al., 2022). En Angleterre, une étude révèle que l'empreinte carbone s'établit approximativement à 2,1 kg éq. CO₂ par douzaine d'œufs en liberté (Leinonen et al., 2012). L'Australie et l'Espagne ont de façon respective une empreinte de 2,2 kg éq. CO₂ (Copley et

al., 2022) et de 2,6 kg éq. CO₂ (Abin et al., 2018) alors qu’au niveau mondial Poore et Nemecek (2018) ont estimé que l’empreinte carbone s’élève à plus de 3,4 kg éq. CO₂.

Figure 6 – Empreinte carbone d’une douzaine d’œufs au Québec, au Canada et ailleurs dans le monde



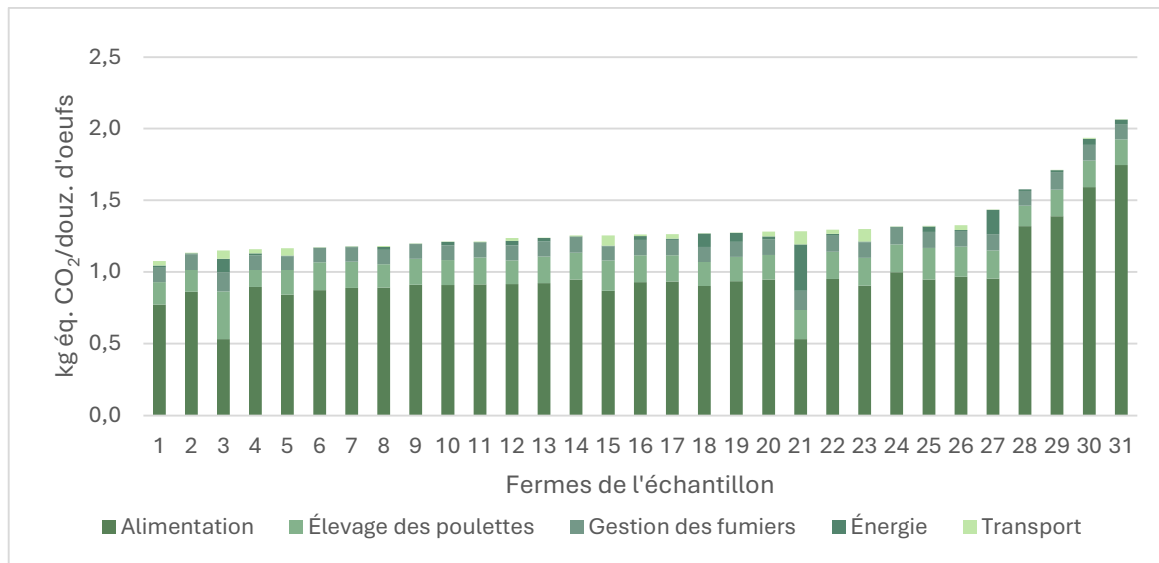
12

2.2.3 Variabilité des émissions

Comme l’illustre la Figure 7 (à la page suivante), les émissions des fermes varient entre 1,1 et 2,1 kg éq. CO₂ par douzaine d’œufs, mais la majorité des lots analysés se situe dans des valeurs proches de la moyenne. Étant donné que l’alimentation représente le principal poste d’émission, toute variation influence fortement les émissions moyennes d’une ferme, particulièrement celles des fermes biologiques ou produisant leurs propres moulées³.

³ Les moulées biologiques sont composées d’aliments biologiques dont l’empreinte est en général plus faible que ceux produits en agriculture conventionnelle. En outre, les fermes produisant leur propre moulée affichent des taux d’inclusion de différents ingrédients pouvant varier considérablement.

Figure 7 – Émissions de GES par poste des fermes ovocoles de l'échantillon



2.3 Facteurs explicatifs de la variabilité des émissions

2.3.1 Analyse par poste d'émission

Alimentation

Le premier facteur de variation des émissions liées à l'alimentation est l'empreinte carbone de la moulée, c'est-à-dire les émissions de GES attribuables à la production d'un kilogramme de moulée. Comme exposé précédemment, l'empreinte carbone de la moulée dépend de sa composition (voir la section 1.4). Dans la figure 7, les fermes qui se distinguent par leurs émissions faibles pour le poste de l'alimentation (fermes 3 et 21) consomment des moulées biologiques qui ne contiennent pas de farines animales. À l'opposé, les fermes présentant des émissions élevées pour le poste de l'alimentation (fermes 28, 29, 30 et 31) utilisent des moulées qui incluent une plus grande quantité de farines animales que la moyenne.

Le second facteur de variation est l'efficacité de la conversion alimentaire, c'est-à-dire la capacité des poules à convertir les aliments consommés en production d'œufs. Les émissions étant rapportées sur la production d'œufs, les poules qui, sur une base quotidienne, pondent un nombre élevé d'œufs et ingèrent une faible quantité de moulées entraîneront moins d'émissions pour le poste de l'alimentation.

Élevage des poulettes

Pour les fermes qui élèvent leurs propres poulettes, les émissions liées à l'élevage dépendent des cinq postes d'émissions mentionnés dans la section précédente, parmi lesquels l'alimentation et l'énergie représentent les principales sources d'émissions.

Pour les fermes qui n'élèvent pas leurs propres poulettes, les émissions liées à ce poste sont calculées à partir de la valeur moyenne estimée. Dans ce cas, les émissions peuvent varier légèrement d'une ferme à l'autre en fonction de la quantité totale d'œufs produits. En effet, plus une poule produit d'œufs, plus les émissions liées à son élevage sont amorties sur un grand nombre d'œufs, diminuant ainsi le résultat rapporté par douzaine d'œufs. Un taux de mortalité élevé peut, par exemple, contribuer à un nombre moyen d'œufs par poulette entrée dans le bâtiment plus faible et donc à des émissions plus élevées pour le poste de l'élevage des poulettes.

Gestion des fumiers

Les émissions liées à la gestion des fumiers varient très peu. Une faible efficacité de conversion alimentaire entraîne une légère augmentation des émissions des fumiers. Cette faible variabilité est liée aux modèles du GIEC (2019) utilisé pour estimer les émissions des fumiers. Ce modèle ne tient pas compte des différences entre les systèmes d'élevage (par exemple en volière ou en cages) ni de la gestion des fumiers (séchés ou non, durée de l'entreposage, etc.).

Énergie

Le principal facteur de variation des émissions de GES liées à l'énergie est la quantité d'énergies fossiles consommée. Par exemple, une faible densité d'animaux augmente la consommation d'énergie nécessaire au chauffage des bâtiments d'élevage. Dans le cas d'un chauffage au propane, cela peut entraîner des émissions de GES par douzaine d'œufs plus importantes. L'électricité produite au Québec ayant une très faible empreinte carbone, sa consommation a très peu de répercussions sur les émissions du poste de l'énergie.

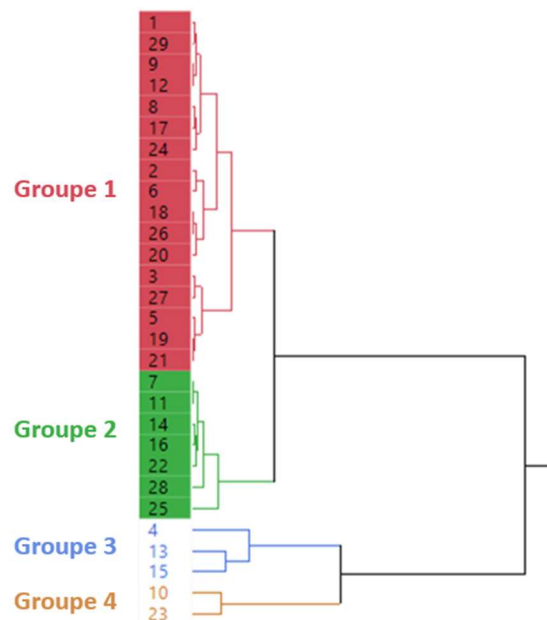
Transport

Les émissions liées au transport dépendent principalement de la distance entre la meunerie et la ferme. Le transport des poulettes entre l'élevage et le pondoir entraîne aussi une répercussion sur les émissions, mais celui-ci est moins important que le transport de la moulée, car le transport des poulettes n'est effectué qu'une fois et représente une masse beaucoup plus faible que la moulée qui est souvent livrée en quantité importante chaque semaine.

2.3.2 Analyse de classification ascendante hiérarchique

Parmi les 31 fermes de l'échantillon, les 29 fermes en régie conventionnelle ont fait l'objet d'une analyse de classification ascendante hiérarchique. Il en résulte une répartition des 29 fermes en 4 groupes statistiquement différents, au sein desquels les fermes présentent des caractéristiques semblables (figure 8).

Figure 8 – Arbre de classification des fermes en production régulière



Les groupes 1 et 2 comptent à eux seuls 24 des 29 fermes analysées et affichent plus de proximité entre eux qu'avec les groupes 3 et 4. Les cinq fermes qui composent les groupes 3 et 4 se distinguent notamment par des émissions liées au poste de l'alimentation, et par conséquent des émissions totales plus élevées (voir le tableau 1 à la page suivante).

Tableau 1 – Caractéristiques et émissions des quatre groupes de fermes

	Groupe 1		Groupe 2		Groupe 3		Groupe 4	
Nombre de fermes	17		7		3		2	
Émissions totales (kg éq. CO ₂ /douz. d'œufs)	1,27	a	1,15	b	1,58	c	2,00	b,c
Nombre d'œufs par jour par poule	0,93	a	0,94	a	0,92	a	0,94	a
Nombre total d'œufs par poule	336	a	358	b	326	a,b	338	a,b
Consommation d'aliments journalière par poule (g/jour)	107	a	101	b	107	a,b	111	a,b
Émissions moyennes de l'alimentation (kg éq. CO ₂ /douz. d'œufs)	0,92	a	0,86	b	1,10	c	1,67	b,c
Émissions moyennes de l'élevage des poulettes (kg éq. CO ₂ /douz. d'œufs)	0,19	a	0,16	b	0,18	a,b	0,19	a,b

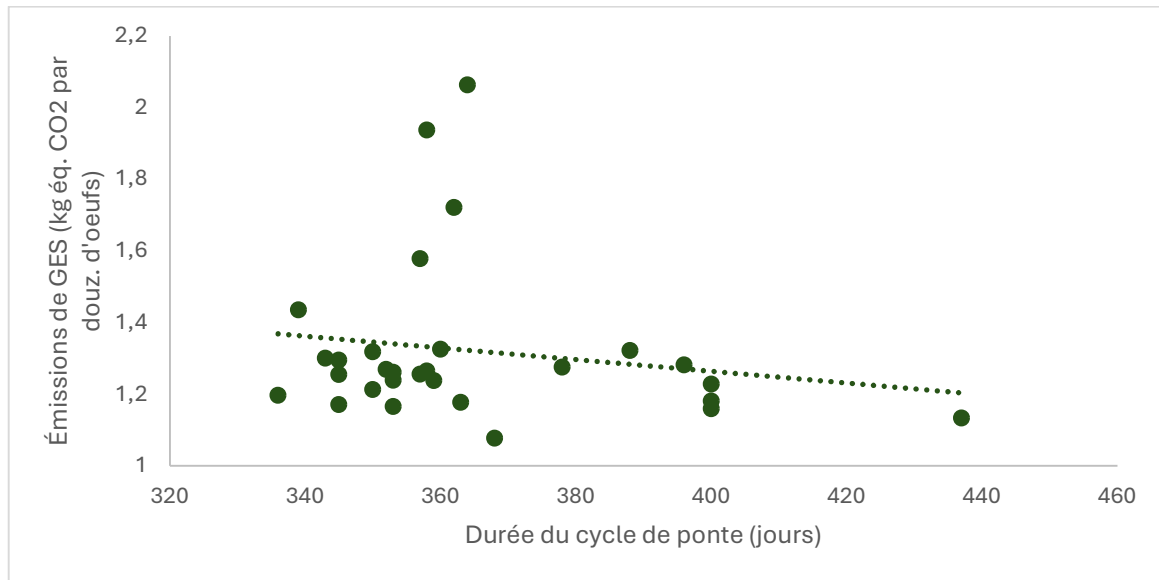
Le groupe 1 rassemble plus de la moitié des fermes. À titre comparatif, le groupe 2 comprend sept fermes dont les émissions sont plus faibles que celles du groupe 1. Les fermes du groupe 2 présentent une consommation quotidienne moyenne d'aliments par poule significativement inférieure aux fermes du groupe 1, pour une production d'œufs quotidienne similaire, ce qui explique en bonne partie les émissions inférieures pour le poste de l'alimentation. Le groupe 2 a également une production totale d'œufs par poule supérieure au groupe 1, ce qui explique les émissions inférieures au groupe 1 pour le poste de l'élevage des poulettes. Ce nombre d'œufs supérieur est lié à une durée de cycle de ponte de 381 jours en moyenne pour le groupe 2, contre 361 jours en moyenne pour le groupe 1.

2.3.3 Influence de la durée du cycle de ponte

Dans notre échantillon, les durées de cycle de ponte varient d'un peu moins de 340 jours jusqu'à un peu plus de 430 jours. Bien qu'aucune tendance statistiquement significative n'ait pu être analysée dans l'échantillon des 29 fermes, une légère tendance semble se dégager

de l’empreinte carbone plus faible pour des cycles de ponte plus longs, comme l’illustre la figure 9.

Figure 9 – Empreinte carbone d’une douzaine d’œufs en fonction de la durée du cycle de ponte



Note : La ligne en pointillé représente la régression entre les points.

2.3.4 Comparaison des émissions par système d'élevage

Les différents systèmes d'élevage produisent un effet documenté sur la conversion alimentaire des poules ainsi que sur la consommation d'énergie (Pelletier, 2017; Turner et al., 2022). Notre échantillon n'est cependant pas constitué d'un nombre suffisant d'entreprises disposant de chaque système pour établir des comparaisons tenant compte des paramètres qui contribuent aux émissions de GES (par exemple la conversion alimentaire ou le nombre d'œufs quotidien par poule).

3 Perspectives pour développer une agriculture à faible émission de GES

3.1 Composition des moulées et empreinte carbone des aliments

Le premier facteur d'émission étant l'alimentation des poules et poulettes, la composition des moulées joue un rôle crucial sur l'empreinte carbone des œufs. S'appuyant sur les données présentées, plusieurs hypothèses sur les facteurs affectant les résultats des émissions de GES sont développées ici :

- L'empreinte carbone des aliments provient des données utilisées dans l'outil OEEEF. Ces données représentent l'empreinte carbone moyenne de chaque ingrédient pour le Canada. Or, des différences de l'empreinte carbone des grains se manifestent entre les régions. Par exemple, selon la Table canadienne sur les grains durables, l'empreinte carbone du maïs varie entre 227 et 668 kg éq. CO₂ par tonne suivant les provinces, alors que la moyenne pour le Canada serait de 370 kg éq. CO₂ par tonne.
- Pour les ingrédients en agriculture biologique, l'empreinte carbone est généralement plus faible que pour les ingrédients en agriculture conventionnelle dans les données de l'OEEEF. Cependant, il y a eu beaucoup moins d'études qui ont quantifié l'empreinte carbone des grains biologiques par rapport aux grains conventionnels. Dans ces études, des hypothèses ont été formulées sur l'influence des pratiques en agriculture biologique sur le stock de carbone du sol (Madhanaroopan, 2022). Elles suggèrent entre autres que l'empreinte carbone des aliments biologiques serait moindre puisque les pratiques permettraient d'augmenter les stocks de carbone du sol. Ces hypothèses, dans le contexte du Québec, ne font pas l'unanimité. Le niveau de confiance par rapport à ces données peut donc être considéré comme plus faible que pour les données utilisées pour les moulées conventionnelles, ce qui pourrait affecter d'éventuelles comparaisons entre productions conventionnelles et biologiques.
- Finalement, les farines et gras d'origine animale représentent une part importante de l'empreinte carbone des moulées (voir la section 1.4). Leurs proportions dans les moulées varient d'une ferme à l'autre dans les recettes que nous avons pu obtenir. Elles varient également en fonction des entreprises qui fournissent les moulées, des

approvisionnementnements que peuvent obtenir les meuniers et des choix de formulation des nutritionnistes. Ainsi, la recette moyenne que nous avons utilisée, bien qu'elle ait été définie à partir de la moyenne des quatre formulations des nutritionnistes membres de l'AQINAC et qu'elle soit considérée comme représentative de ce qui est fourni aux producteurs, représente une hypothèse forte dans l'étude. Si ces formulations avaient inclus des taux différents de farines animales, les résultats auraient été très différents.

Pour approfondir ce volet de l'étude, obtenir les détails de la composition des moulées servies aux poules de plusieurs entreprises permettrait de confirmer la représentativité des moulées. Également, une analyse de sensibilité des résultats à l'empreinte carbone de chaque ingrédient pourrait être réalisée, puisque l'estimation de ces empreintes nécessite de poser beaucoup d'hypothèses. En particulier, pour les farines animales, le choix de la méthode d'allocation influence fortement l'empreinte carbone des sous-produits. Étant donné l'effet majeur de ces ingrédients sur l'empreinte carbone, des études spécifiques d'ACV de ces sous-produits au Canada pourraient être réalisées pour renforcer la fiabilité des données recueillies.

Finalement, les pratiques de formulation des moulées en vigueur répondent à des objectifs principalement d'ordre nutritionnel et économique, afin de maximiser l'efficacité alimentaire et la ponte. Il est donc logique de retrouver des variations importantes de l'empreinte carbone des moulées d'une ferme à l'autre, puisque ce facteur n'est pas un critère de formulation. Dans le futur, suivant l'évolution du contexte économique et la mise en place éventuelle d'incitatifs économiques à la réduction de l'empreinte carbone des œufs, les nutritionnistes pourraient être portés à inclure l'empreinte carbone de chaque aliment comme critère dans leur formulation, ce qui pourrait donner lieu à une certaine optimisation de l'empreinte carbone des moulées.

3.2 Consommation d'aliments, efficacité alimentaire et durée du cycle de ponte

La plupart des entreprises qui ont réalisé le bilan carbone d'un lot disposaient d'une très bonne traçabilité des informations, notamment des quantités de chaque type de moulée consommée par les poules et poulettes durant l'élevage. De même, la production d'œufs est

une donnée présentant un niveau de confiance élevé. L'accès à des données de qualité permet donc d'avoir une confiance élevée sur les calculs d'efficacité alimentaire et de productivité. L'analyse statistique (classification ascendante hiérarchique) a révélé une différence significative dans l'empreinte carbone des œufs des élevages qui présentent une meilleure efficacité alimentaire. L'approfondissement de la compréhension des facteurs qui affectent cette efficacité permettrait de formuler des recommandations de réduction de l'empreinte carbone des œufs. De même, la durée du cycle de ponte semble être un facteur négativement corrélé avec l'empreinte carbone des œufs, une tendance qui pourrait s'expliquer par le fait que les émissions liées à l'élevage des poulettes seraient amorties sur un plus grand nombre d'œufs. Cependant, plus le cycle de ponte est long, plus le risque est grand que les poules en fin de cycle de ponte deviennent moins efficaces. En effet, les poules s'alimentent davantage en vieillissant pour entretenir leurs fonctions vitales, ce qui contribue à la variabilité de la production d'œufs. Cette plus faible efficacité pourrait contrebalancer l'effet positif de l'amortissement de l'élevage des poulettes sur un plus grand nombre d'œufs. Le nombre de lots se caractérisant par un cycle de ponte rallongé est cependant trop faible dans notre échantillon pour pouvoir conclure que ce facteur exerce une influence considérable. Recueillir des données d'un nombre plus grand d'entreprises observant un cycle de ponte rallongé permettrait de tester cette hypothèse.

3.3 Systèmes d'élevage et races

Au Québec, différents systèmes d'élevage existent pour répondre aux attentes des consommateurs. Ces systèmes se distinguent notamment par la densité des animaux dans les bâtiments, leur capacité de mouvement et leur race (en particulier les poules brunes ou blanches, qui produisent des œufs de même couleur). Plusieurs études ont démontré que la liberté de mouvement des animaux de même que les races affectent le nombre d'œufs produits et l'efficacité alimentaire (Turner et al., 2022). Plus les animaux sont libres de leurs mouvements, moins ils ont une efficacité alimentaire élevée. De même, les poules pondeuses brunes produisent moins d'œufs que les blanches. Ces deux paramètres influent directement sur l'empreinte carbone des œufs, comme démontré ci-dessus. Notre échantillon ne présentant pas une distribution équilibrée de fermes entre ces différents facteurs, il n'a pas été possible d'établir des comparaisons pour vérifier si ces tendances décrites dans la littérature se confirment dans les données collectées auprès des

producteurs. Un échantillon plus large d'entreprises, mieux distribué entre les différents systèmes d'élevage, permettrait de vérifier si ces tendances s'observent au Québec.

3.4 Gestion des fumiers, séchage et entreposage

La gestion des fumiers est l'un des principaux postes d'émission pour lequel les producteurs agricoles pourraient mettre en place des mesures concrètes, comme la modification de la fréquence à laquelle les fumiers sont évacués du bâtiment ou encore des conditions dans lesquelles ils entreposent le fumier. D'une manière générale, plus un fumier est sec, plus les émissions seront faibles. La gestion des fumiers est différente d'un système d'élevage à l'autre, ce qui influence les émissions de GES. Par exemple, dans un système en cage enrichie où le fumier est évacué par des courroies ou dans un système de volière ou de parquet où les déjections s'accumulent au sol, l'humidité du fumier et la durée d'entreposage influencent la quantité d'émissions de méthane et de protoxyde d'azote ainsi que celles d'ammoniac (qui n'est pas un GES, mais représente une perte importante d'azote et entraîne des émissions indirectes) (Shepherd et al., 2015).

Dans une étude parallèle, l'IRDA et l'Université Laval ont analysé les données collectées dans le cadre de projets de mesures de GES dans des bâtiments d'élevage de différents types et produit un modèle permettant d'expliquer les différences observées. De cette étude, des valeurs moyennes d'émissions quotidiennes par poule ont été obtenues et comparées aux estimations produites avec le modèle du GIEC (2019) utilisé dans le présent rapport. Les valeurs obtenues à partir des mesures en bâtiments étaient beaucoup plus faibles que celles par le calcul réalisé avec le modèle du GIEC. Il existe donc une forte incertitude liée au calcul des émissions des fumiers. Réaliser davantage de collectes de données dans des bâtiments permettrait d'améliorer la fiabilité des données mesurées, voire de proposer des coefficients d'émissions différents de ceux proposés par le GIEC, afin qu'ils soient davantage représentatifs des émissions attribuables aux bâtiments d'élevage ovicole au Québec.

Conclusion

À notre connaissance, cette étude est la première au Québec à brosser un portrait des émissions de GES du secteur ovocole à partir d'un échantillon d'une trentaine de fermes. Plusieurs résultats probants ont été obtenus et démontrent que l'empreinte carbone de la production d'œufs au Québec semble relativement faible et peu variable d'une entreprise à l'autre (sauf dans quelques cas particuliers). Il ressort également de cela que le choix de l'alimentation des animaux a un effet important sur l'empreinte carbone des œufs et que plusieurs paramètres liés à la productivité des animaux semblent également expliquer une partie de la variabilité. Au regard de la portée de ces résultats pour le secteur, les producteurs et la FPOQ ont exprimé la volonté, lors des rencontres publiques tenues au printemps et à l'été 2025, de poursuivre l'étude pour approfondir l'analyse de l'influence de certains facteurs. La poursuite de l'étude est prometteuse pour répondre à certaines questions encore en suspens et mieux soutenir le secteur ovocole québécois dans ses efforts de réduire l'empreinte carbone.

Références

- ABÍN, Rocío, LACA, Amanda, LACA, Adriana et DÍAZ, Mario. « Environmental assesment of intensive egg production: A Spanish case study », *Journal of Cleaner Production*, [En ligne], vol. 179, avril 2018, p. 160-168. [<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.067>].
- ARULNATHAN, Vivek. « Development of the National Environmental Sustainability and Technology Tool (NESTT): A sustainability measurement and management platform for Canadian egg farmers », [Fichier PDF], 2023. [<https://open.library.ubc.ca/media/stream/pdf/24/1.0435635/4>].
- Copley, Mary-Frances, WIEDEMANN, Stephan et MCGAHAN, Eugene. « Carbon and environmental impacts of poultry production: 2020 and beyond », [Fichier PDF], juillet 2022. [<https://www.australianeggs.org.au/assets/research/documents/FINAL-REPORT-Carbon-Environmental-Impacts-of-Poultry-Production.pdf>].
- DOMINGUEZ ALDAMA, Daniela, GRASSAUER, Florian, ZHU, Ying, ARDESTANI-JAAFARI, Amir et PELLETIER, Nathan. « Allocation methods in life cycle assessments (LCAs) of agri-food co-products and food waste valorization systems: Systematic review and recommendations ». *Journal of Cleaner Production*, [En ligne], vol. 421, octobre 2023. [<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138488>].
- ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA, « Rapport national sur l'inventaire 1990-2023 : sources et puits de gaz à effet de serre au Canada », [Fichier PDF], 2025. [https://publications.gc.ca/collections/collection_2025/ecccc/En81-4-2023-2-fra.pdf].
- GREENHOUSE GAS PROTOCOL INITIATIVE. « GHG Protocol Agricultural Guidance », [Fichier PDF]. [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/2022-12/GHG%20Protocol%20Agricultural%20Guidance%20%28April%2026%29_0.pdf].
- GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'EVOLUTION DU CLIMAT. « Emissions from Livestock and Manure Management », 2019 *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* [Fichier PDF], 2019, vol. 4. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch10_Livestock.pdf].
- GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'EVOLUTION DU CLIMAT, « Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre », [Fichier PDF], 2006. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/french/pdf/0_Overview/V0_0_Cover.pdf].

GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'ÉVOLUTION DU CLIMAT, « Changements climatiques 2014 – Atténuation du changement climatique, [Fichier PDF], 2014. [https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_full.pdf].

ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. *Management environnemental — Analyse du cycle de vie — Principes et cadre*, [2^e éd.], [Genève], ISO, 2006, 23 p. (ISO : 14040:2006).

JAYATHILAKAN, Kizhekkedath, SULTANA, Khudisia, RADHAKRISHNA, K. et BAWA, A. S. « Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: A review ». *Journal of Food Science and Technology*, [En ligne], vol. 49, février 2011, p. 278-293. [<https://doi.org/10.1007/s13197-011-0290-7>].

LEINONEN, Ilkka, WILLIAMS, Adrian G., WISEMAN, Julian W., GUY, Jonathan H. et KYRIAZAKIS, Ilias. « Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: Egg production systems », *Poultry Science*, [En ligne], vol. 91, n° 1, janvier 2012, p. 26-40. [<https://doi.org/10.3382/ps.2011-01635>].

LIANG, Chang, MACDONALD, Douglas, THIAGARAJAN, Arumugan, FLEMMING, Corey, Cerkowniak, Darrel et Desjardins, Raymond. « Developing a country specific method for estimating nitrous oxide emissions from agricultural soils in Canada », *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, [En ligne], vol. 117, mars 2020, p. 145-167. [<https://doi.org/10.1007/s10705-020-10058-w>].

LOHMANN BREEDERS. « Management Guide: Cage housing - North American Edition », [Fichier PDF], mars 2019. [<https://lohmann-breeders.com/media/2020/07/ManagementGuideLSLLiteNorthAmericaCage.pdf>].

MADHANAROOPAN, Shenali, 2022. « Characterizing Net Life Cycle Greenhouse Gas Emissions and Environmental Performance of Organic Field Crops in Ontario and Quebec », [Fichier PDF], 2022. [<https://dspacemainprd01.lib.uwaterloo.ca/server/api/core/bitstreams/62bda79c-9935-410d-a9db-297c6ea97a42/content>].

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS. « Inventaire québécois des émissions de gaz à effet de serre en 2022 et leur évolution depuis 1990 », [Fichier PDF], 2024. [<https://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/2022/inventaire-ges-1990-2022.pdf>].

- NICHOLLES, Billy et KNIGHT, Andrew. « The environmental sustainability of meat-based versus vegan pet food », *Frontiers in Sustainable Food Systems*, [En ligne], vol. 9, mai 2025. [<https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1569372>].
- PELLETIER, Nathan, IBARBURU, Maro et XIN, Hongwei. « Comparison of the environmental footprint of the egg industry in the United States in 1960 and 2010 », *Poultry Science*, [En ligne], vol. 93, n° 2, février 2014, p. 241-255. [<https://doi.org/10.3382/ps.2013-03390>].
- PELLETIER, Nathan. « Life cycle assessment of Canadian egg products, with differentiation by hen housing system type », *Journal of Cleaner Production*, [En ligne], vol. 152, mai 2017, p. 167-180. [<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.050>].
- POORE, Joseph et NEMECEK, Thomas. « Reducing food's environmental impacts through producers and consumers », *Science*, [En ligne], vol. 360, juin 2018. [<https://www.science.org/doi/10.1126/science.aag0216>].
- SHEPHERD, Timothy A., ZHAO, Yang, LI, Hong, STINN, John P., HAYES, Morgan D. et XIN, Hongwei. « Environmental assessment of three egg production systems — Part II. Ammonia, greenhouse gas, and particulate matter emissions », *Poultry Science*, [En ligne], vol. 94, n° 3, mars 2015. [<https://doi.org/10.3382/ps/peu075>].
- ROTZ, Alan C., MONTES, Felipe et CHIANESE, Dawn S. « The carbon footprint of dairy production systems through partial life cycle assessment ». *Journal of Dairy Science*, [En ligne], vol. 93, n° 3. [<https://doi.org/10.3168/jds.2009-2162>].
- SWANSON, Kelly S., CARTER, Rebecca A., YOUNT, Tracy P., ARETZ, Jan et BUFF, Preston R. « Nutritional sustainability of pet foods ». *Advances in Nutrition*, [En ligne], vol. 4, n° 2. [<https://doi.org/10.3945/an.112.003335>].
- TURNER, Ian, HEIDARI, Davoud et PELLETIER, Nathan. « Life cycle assessment of contemporary Canadian egg production systems during the transition from conventional cage to alternative housing systems: Update and analysis of trends and conditions », *Resources, Conservation and Recycling*, [En ligne], vol. 176, janvier 2022. [<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105907>].