

**Mesure et évaluation des émissions de
gaz et d'odeurs issues de différentes
stratégies de gestion des déjections en
production d'œufs de consommation**

Rapport final

Rapport présenté à :
Fédération des producteurs d'œufs de
consommation du Québec



Institut de recherche
et de développement
en agroenvironnement

Projet IRDA # : 100034

Par :
Stéphane Godbout, ing., P.Eng., Ph.D., agr.
Frédéric Pelletier, ing., M.Sc.
Sébastien Fournel, ing. jr et agr., étudiant
gradué

31 mai 2011

L'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) est une corporation de recherche à but non lucratif, constituée en mars 1998 par quatre membres fondateurs soit le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), l'Union des producteurs agricoles (UPA), le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) et le ministère du Développement économique, de l'Innovation et de l'Exportation (MDEIE).



Notre mission

L'IRDA a pour mission de réaliser des activités d'acquisition de connaissances, de recherche, de développement et de transfert visant à favoriser le développement durable de l'agriculture.

Pour en savoir plus

www.irda.qc.ca

Le rapport peut être cité comme suit :

Godbout S., F. Pelletier et S. Fournel. 2011. Mesure et évaluation des émissions de gaz et d'odeurs issues de différentes stratégies de gestion des déjections en production d'œufs de consommation. Rapport final. IRDA. 88 pages.

**Mesure et évaluation des émissions de gaz et
d'odeurs issues de différentes stratégies de
gestion des déjections en production d'œufs de
consommation**

Rapport final

Présenté à :

Fédération des producteurs d'œufs de consommation du Québec
555, boulevard Roland-Therrien, bureau 320
Longueuil (Québec) J4H 4E7

Préparé par :

Stéphane Godbout, ing., P.Eng., Ph.D. et agr.
IRDA

Frédéric Pelletier, ing., M.Sc.
IRDA

Sébastien Fournel, ing. jr et agr., étudiant
gradué
Université Laval / IRDA

31 mai 2011

Équipe de réalisation du projet :

Répondant et responsable scientifique : Stéphane Godbout, ing., P.Eng, Ph.D., et agr., IRDA
Frédéric Pelletier, ing., M.Sc., IRDA

Chargés de projet : Sébastien Fournel, ing. jr et agr., étudiant gradué, Université Laval et IRDA

Collaborateurs : Jean-Pierre Larouche, chimiste, IRDA
John Feddes, P.Eng., Ph.D., IRDA
Robert Lagacé, ing., Ph.D., et agr., Université Laval
Stéphane P. Lemay, ing. P.Eng., Ph.D., IRDA
Martin Belzile, ing., M.Sc., IRDA
Lorie Hamelin, M.Sc., doctorante, University of Southern Denmark
Michèle Grenier, statisticienne, IRDA
Lise Potvin, technicienne, IRDA
Michel Côté, technicien, IRDA
Martin Gagnon, technicien, IRDA
Jacques Labonté, technicien, IRDA
Christian Gauthier, ouvrier, IRDA

Les lecteurs qui souhaitent commenter ce rapport peuvent s'adresser à :

Stéphane Godbout
Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA)
2700, rue Einstein
Québec (Québec) G1P 3W8

Téléphone : 418 646-1075
Télécopie : 418 644-6855
Courriel : stephane.godbout@irda.qc.ca

Remerciements :

Les auteurs remercient la Fédération des producteurs d'œufs de consommation du Québec (FPOCQ), le Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec (CDAQ) et le ministère de l'Agriculture, des Pêches et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) pour leur contribution financière à ce projet de recherche. Des remerciements sont également adressés au ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), au Centre de recherche en sciences animales de Deschambault (CRSAD), à l'Université Laval et à l'IRDA pour avoir fourni les ressources humaines nécessaires à la réalisation de l'étude. Finalement, un merci spécial aux producteurs Sylvain Lapierre et Gislain Houle pour leurs conseils et pour le don d'équipements nécessaires à la réalisation du projet.

Résumé

Au cours de la dernière décennie, la production d'œufs de consommation a connu une transition de son principal mode de gestion des déjections. En effet, en 1998-99, la gestion liquide représentait 92 % des quotas de poules pondeuses et environ 36 % en 2006. Les gestions solide et sèche représentaient alors environ 8 % des quotas. Aujourd'hui, l'ensemble des gestions solide et sèche atteint 63 % des quotas.

Afin de s'assurer que ce virage avait les effets positifs attendus sur l'environnement, la Fédération des producteurs d'œufs de consommation du Québec (FPOCQ) a mandaté l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) pour réaliser une étude permettant de quantifier les émissions de gaz et d'odeurs issues de différents modes de gestion des déjections en production d'œufs de consommation pour l'ensemble des activités reliées à ce type d'élevage (bâtiment, entreposage, épandage et opérations culturales). L'objectif général du projet est de doter les intervenants en production d'œufs de consommation d'une source d'information fiable leur permettant de connaître l'impact sur les gaz (ammoniac (NH_3) et gaz à effet de serre (GES)) et les odeurs de différents systèmes de gestion des déjections.

L'expérimentation a eu lieu au laboratoire sur le Bilan agroenvironnemental des bâtiments d'élevage (BABE) de l'IRDA à Deschambault. Dans chacune des douze chambres, lors de deux élevages de huit semaines, l'un des trois systèmes de gestion des déjections fut installé : liquide (fientes tombant sous les cages au fond de la salle dans un caniveau dans lequel l'addition d'eau permet la gestion des déjections sous forme de lisier), solide (fientes tombant sous chaque rangée de cages sur une courroie mobile qui permet l'évacuation des déjections à intervalle régulier) et sèche (fientes tombant sous chaque rangée de cages sur une courroie mobile qui permet l'évacuation des déjections à intervalle régulier et où elles sont séchées à air forcé). Les fumiers produits lors de ces élevages ont ensuite été stockés dans des réservoirs afin de mesurer les émissions à l'entreposage pendant près d'un an. Quant aux émissions relatives à l'épandage et aux opérations culturales, elles ont été obtenues à l'aide de divers modèles et facteurs d'émissions.

Les résultats ont démontré que la gestion des déjections sous forme solide ou séchée a entraîné une réduction des émissions au bâtiment pour la majorité des paramètres mesurés (gaz, odeurs et particules).

Les émissions de NH_3 produites en gestion liquide étaient de $389 \text{ g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$ comparativement à $32,0 \text{ g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$ en gestion solide et $24,2 \text{ g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$ en gestion sèche. Les émissions de méthane (CH_4) des gestions liquide, solide et sèche furent respectivement de 31,6, 25,3 et 27,7 $\text{g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$. Ainsi, les gestions sèche et solide réduisent respectivement de 12 et 20 % l'émission de CH_4 par rapport à la gestion liquide conventionnelle. Les émissions de protoxyde d'azote (N_2O) mesurées pour les gestions liquide, solide et sèche furent de 2,78, 2,60 et 2,48 $\text{g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$, correspondant à des réductions de 7 et 11 % de la part des gestions solide et sèche.

Les odeurs émises par les gestions liquide, solide et sèche furent respectivement de 0,2825, 0,1635 et 0,1775 $\text{UO s}^{-1} \text{ poule}^{-1}$. Ainsi, les gestions sèche et solide réduisent significativement de 37 et 42 % l'émission d'odeurs provenant de la gestion liquide conventionnelle.

Les émissions lors de l'entreposage des fumiers ont été influencées par les caractéristiques des fumiers produits au bâtiment. Le dégagement de NH_3 provenant des bacs stockant les fientes des

gestions liquide, solide et sèche était respectivement de 19,7, 46,2 et 39,6 g an⁻¹ poule⁻¹. Les conditions anaérobies dans les réservoirs de lisier ont engendré une diminution de moitié des émissions de NH₃ par rapport aux gestions solide et sèche. Les gestions liquide, solide et sèche ont émis respectivement à l'entreposage 214, 345 et 347 g an⁻¹ poule⁻¹ de gaz carbonique (CO₂) ainsi que 4,71, 0,21, 0,06 g an⁻¹ poule⁻¹ de CH₄. Encore une fois, les conditions anaérobies qui prévalent en gestion liquide ont incité un plus grand dégagement du carbone sous forme de CH₄.

Le dernier objectif du projet consistait à évaluer théoriquement les émissions gazeuses lors de l'épandage des fumiers et à comparer les émissions totales pour l'ensemble des activités de la ferme. Une première version d'un outil informatique a été mise au point afin d'évaluer les émissions de gaz en fonction du mode de gestion des déjections implanté sur une ferme de production d'œufs de consommation donnée.

Le total des émissions de GES produites sur et à l'extérieur de la ferme est de 712 tonnes CO₂e an⁻¹ lorsque le fumier est géré de façon liquide, de 691 tonnes CO₂e an⁻¹ lorsque le fumier est géré de façon solide, de 690 tonnes CO₂e an⁻¹ lorsque le fumier est séché. La légère différence entre la gestion liquide et les deux autres modes de gestion provient de la production et du transport des engrais minéraux. Les pertes d'azote au bâtiment, sous forme d'émissions de NH₃, plus importantes en gestion liquide qu'en gestion solide ou sèche, font qu'il faut augmenter les doses d'engrais minéral azoté pour répondre au besoin des cultures.

Le total des émissions de NH₃ produites sur la ferme est de 36 783 kg NH₃ an⁻¹ lorsque le fumier est géré de façon liquide, de 21 856 kg NH₃ an⁻¹ lorsque le fumier est géré de façon solide et de 21 230 kg NH₃ an⁻¹ lorsque le fumier est séché. La différence majeure entre les trois modes de gestion se situe au bâtiment. Sous gestion liquide, le bâtiment émet 16 709 kg NH₃ an⁻¹ alors qu'il émet respectivement 1 371 et 1 037 kg NH₃ an⁻¹ sous gestion solide et sèche.

L'analyse démontre que sur l'ensemble des chaînes, les émissions de GES sont presque similaires et que le bilan global est très sensible aux émissions issues des activités culturelles. Par conséquent, il semble qu'il soit difficile de conserver les acquis au bâtiment. Les émissions au champ sont en lien avec les quantités d'azote et de phosphore épandues qui sont pratiquement identiques pour les trois modes de gestion des fumiers.

Selon l'ensemble des résultats de la présente étude, il apparaît évident que la transition de la gestion liquide à la gestion solide ou sèche permet un gain sur la qualité de l'air favorisant entre autres le bien-être des travailleurs et des animaux.

Quoique complète, l'analyse globale des émissions de GES dans ce projet ne permet pas de mettre pleinement en valeur l'ensemble des gains environnementaux majeurs telles l'eutrophisation et l'acidification.

Enfin, afin de faire valoir publiquement le bienfait de la saine gestion environnementale des déjections, il est fortement recommandé de compléter l'analyse globale afin d'incorporer les autres catégories d'impacts dans le bilan. Cette dernière étude devrait permettre de démontrer clairement que la production d'œufs de consommation est parmi l'une des productions les plus durables et de développer une image de marque spécifique pour faire reconnaître ce bilan positif.

Table des matières

Résumé.....	v
Table des matières.....	vii
Liste des tableaux.....	ix
Liste des figures.....	x
1 Introduction.....	11
2 Objectifs.....	12
3 Revue de littérature.....	13
3.1 Origine de la formation des gaz et des odeurs.....	13
3.2 Gaz et odeurs émis par la production avicole et cohabitation.....	14
3.3 Les émissions de gaz et d'odeurs issues de la production avicole.....	17
3.3.1 Bâtiment.....	17
3.3.2 Entreposage.....	19
3.3.3 Épandage.....	20
4 Sélection des stratégies de gestion des déjections.....	21
5 Essai préliminaire.....	22
5.1 Mise en contexte et objectif.....	22
5.2 Matériel et méthodes.....	22
5.2.1 Dispositif expérimental.....	22
5.2.2 Échantillonnage et analyse des gaz.....	24
5.3 Résultats et discussion.....	25
5.4 Constats.....	27
6 Mesure des émissions au bâtiment.....	28
6.1 Matériel et méthodes.....	28
6.1.1 Chambres expérimentales.....	28
6.1.2 Traitements expérimentaux.....	29
6.1.3 Animaux, luminosité et alimentation.....	31
6.1.4 Dispositif expérimental.....	32
6.1.5 Instrumentation, mesures et calculs.....	32
6.1.6 Analyse statistique.....	37
6.2 Résultats et discussions sur les émissions au bâtiment.....	38
6.2.1 Performances zootechniques.....	38
6.2.2 Consommation de moulée et d'eau : quantité et caractéristiques.....	38
6.2.3 Oeufs produits : quantité et caractéristiques.....	39
6.2.4 Fientes produites : quantité et caractéristiques.....	41
6.2.5 Conditions environnementales.....	42
6.2.6 Particules en suspension.....	44

6.2.7	Émissions d'ammoniac (NH ₃)	45
6.2.8	Émissions de gaz carbonique (CO ₂)	47
6.2.9	Émissions de méthane (CH ₄)	48
6.2.10	Émissions de protoxyde d'azote (N ₂ O).....	49
6.2.11	Émissions d'odeurs	50
6.2.12	Caractère hédonique.....	51
7	Mesure des émissions à l'entreposage	52
7.1	Matériel et méthodes.....	52
7.1.1	Bacs d'entreposage	52
7.1.2	Montage expérimental	52
7.1.3	Concentrations et émissions de gaz	53
7.2	Résultats et discussion	55
8	Évaluation et comparaison des émissions pour l'ensemble des activités de la ferme en fonction du mode de gestion des fumiers	58
8.1	Introduction.....	58
8.2	Méthodologie	58
8.2.1	Frontières du système	58
8.2.2	Ferme type	58
8.2.3	Données d'émissions	58
8.3	Résultats et discussion	60
9	Conclusions et recommandations	62
10	Références.....	64
	Annexe A Résultats de la revue de littérature.....	74
	Annexe B Résultats de la simulation avec le calculateur d'émissions de gaz à effet de serre et d'ammoniac en production d'œufs de consommation	80

Liste des tableaux

Tableau 1.	Potentiel de réchauffement climatique des principaux gaz à effet de serre retrouvés en agriculture	16
Tableau 2.	Émissions de gaz et d'odeurs des bâtiments d'élevage de poules pondeuses.....	17
Tableau 3.	Émissions de gaz et d'odeurs des structures d'entreposage des déjections de poules pondeuses	19
Tableau 4.	Émissions de gaz et d'odeurs lors de l'épandage des déjections de poules pondeuses.....	20
Tableau 5.	Erreurs instrumentales sur la mesure des concentrations de gaz	24
Tableau 6.	Dates importantes des élevages effectués en 2010	32
Tableau 7.	Attribution aléatoire des traitements aux douze chambres expérimentales	32
Tableau 8.	Valeurs des constantes de l'équation 4	35
Tableau 9.	Date d'échantillonnage des odeurs durant le projet.....	36
Tableau 10.	Performances zootechniques.....	38
Tableau 11.	Consommation de moulée et d'eau.....	39
Tableau 12.	Caractéristiques de la moulée	39
Tableau 13.	Oeufs produits	40
Tableau 14.	Composition des œufs et des coquilles	40
Tableau 15.	Quantité et caractéristiques des fientes produites	41
Tableau 16.	Particules en suspension dans les mini-poulaillers	44
Tableau 17.	Émissions à l'entreposage.....	57
Tableau 18.	Résultats des émissions de GES des trois modes de gestion du fumier d'une ferme de production d'œufs de consommation.....	60
Tableau 19.	Résultats des émissions de NH ₃ des trois modes de gestion du fumier d'une ferme de production d'œufs de consommation.....	61

Liste des figures

Figure 1.	Panorama des pratiques de gestion des déjections pour la production d'œufs de consommation du Québec.....	21
Figure 2.	Dispositif expérimental de l'élevage préliminaire.....	23
Figure 3.	Le poumon artificiel (gauche) et les sacs de 60 L en Nalophan [®] (droite) utilisés.....	24
Figure 4.	Émissions d'ammoniac (NH ₃) lors de l'essai préliminaire.....	25
Figure 5.	Émissions de méthane (CH ₄) lors de l'essai préliminaire.....	26
Figure 6.	Émissions de gaz carbonique (CO ₂) lors de l'essai préliminaire.....	26
Figure 7.	Les douze chambres expérimentales.....	28
Figure 8.	Vue intérieure d'une chambre expérimentale.....	29
Figure 9.	Les systèmes de gestion liquide (gauche), solide (centre) et sèche (droite).....	30
Figure 10.	Schématisation du système de séchage.....	30
Figure 11.	Le caniveau sous les cages en gestion liquide.....	31
Figure 12.	Localisation des instruments d'échantillonnage.....	35
Figure 13.	Températures moyennes des douze chambres lors des deux élevages.....	43
Figure 14.	Débits moyens des douze chambres lors des deux élevages.....	44
Figure 15.	Émissions moyennes d'ammoniac pour les trois types de gestion en fonction de la semaine.....	46
Figure 16.	Émissions moyennes de gaz carbonique pour chaque type de gestion.....	48
Figure 17.	Émissions moyennes de méthane pour chaque type de gestion.....	49
Figure 18.	Émissions moyennes de protoxyde d'azote pour chaque type de gestion.....	49
Figure 19.	Moyennes géométriques des émissions d'odeurs pour chaque type de gestion.....	51
Figure 20.	Caractère hédonique moyen pour chaque type de gestion au-delà des semaines.....	51
Figure 21.	Bacs d'entreposage.....	52
Figure 22.	Montage expérimental pour l'échantillonnage des bacs d'entreposage.....	53
Figure 23.	Captage de l'ammoniac par barbotage.....	54
Figure 24.	Émissions gazeuses à l'entreposage en fonction de la température extérieure.....	55
Figure 25.	Températures quotidiennes pour la région de Québec en 2010.....	56
Figure 26.	Schéma simplifié du cycle de vie de la production d'œufs de consommation.....	59

1 Introduction

La production d'œufs de consommation a connu au cours de la dernière décennie une transition de son principal mode de gestion des déjections. En effet, en 1998-99, la gestion liquide représentait 92 % des quotas de poules pondeuses et environ 36 % en 2006. Les gestions solide et sèche représentaient alors environ 8 % des quotas. Aujourd'hui, l'ensemble des gestions solide et sèche atteint 63 % des quotas.

Le passage d'une régie des fumiers sous forme de lisier à des déjections gérées sous forme solide a d'abord été incité par la Fédération des producteurs d'œufs de consommation du Québec (FPOCQ) qui, par son plan d'action en agroenvironnement, désirait réduire les émissions odorantes à l'entreposage et à l'épandage (FPOCQ, 2001). Pour ce faire, elle a encouragé ses producteurs à utiliser des équipements permettant la production de fumier sec (FPOCQ, 2001). Par ailleurs, le développement de la technologie de déshydratation des fientes grâce à un système d'air forcé qui utilise l'air à l'intérieur du bâtiment a favorisé l'introduction de la gestion sèche dans les fermes.

Afin de s'assurer que cette transition engendrait les effets positifs escomptés sur l'environnement, la FPOCQ a conséquemment financé une étude préliminaire afin de connaître les données disponibles sur les impacts environnementaux de différents modes de gestion en production d'œufs de consommation. Malgré l'importance de ce type de production, l'étude réalisée par Hamelin et al. (2007) rapportait que des données sur les émissions de gaz (ammoniac (NH_3), de gaz à effet de serre (GES)) et d'odeurs associées aux différentes stratégies de gestion des déjections pratiquées sur les fermes, tant au Québec que sur la scène internationale, sont quasi inexistantes.

La FPOCQ a donc donné à l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA) le mandat de réaliser une étude permettant de quantifier les émissions de gaz et d'odeurs issues de différents modes de gestion des déjections en production d'œufs de consommation pour l'ensemble des activités reliées à ce type d'élevage (bâtiment, entreposage, épandage et opérations culturales). Le laboratoire sur le Bilan agroenvironnemental des bâtiments d'élevage (BABE) a été l'hôte d'essais permettant de simuler l'élevage de poules pondeuses à l'échelle laboratoire. Les fumiers produits lors de ces élevages ont ensuite été stockés dans des réservoirs à partir desquels, un montage expérimental a permis de mesurer les émissions à l'entreposage pendant près d'un an. Quant aux émissions à l'épandage et relatives aux opérations culturales, elles ont été obtenues à l'aide de divers modèles et facteurs d'émissions.

Le présent rapport est divisé en six principales sections. La première compte une revue de littérature servant à cibler l'origine des gaz étudiés et une révision des données disponibles sur les émissions de gaz et d'odeurs. La seconde traite de l'identification des scénarios ayant été ciblée pour faire l'objet de la présente étude. La troisième partie expose l'élaboration de l'élevage préliminaire ayant servi à déterminer la durée de la période expérimentale. La quatrième présente les résultats des émissions gazeuses, odorantes et particulaires au bâtiment, tandis que la cinquième aborde seulement les émissions de gaz à l'entreposage. La sixième section compare finalement les émissions entre les différentes filières de gestion pour l'ensemble des activités (bâtiment, entreposage, épandage et opérations culturales).

2 Objectifs

L'objectif général du projet est de doter les intervenants en production d'œufs de consommation d'une source d'information critique leur permettant de connaître l'impact sur les gaz (NH₃ et GES) et les odeurs d'un certain système de gestion des déjections. Par le fait même, cela permettra de quantifier les gains du passage d'un mode de gestion à un autre afin de rehausser leur capacité à répondre aux enjeux actuels.

Les quatre objectifs spécifiques sont les suivants :

1. En concertation avec les principaux intervenants du milieu agricole québécois, établir les scénarios typiques de gestion des déjections rencontrés en production d'œufs de consommation au Québec;
2. Mesurer et quantifier les émissions de gaz et d'odeurs au bâtiment en fonction des particularités des différents scénarios;
3. Évaluer théoriquement (à l'aide de facteurs d'émissions, de modèles, de corrélations propres à l'installation et de bilan de matière) les émissions de gaz à l'entreposage et à l'épandage (incluant les émissions au champ);
4. Comparer, pour l'ensemble des activités agricoles (bâtiment, entreposage, épandage et opérations culturales), les émissions de gaz et d'odeurs produites par les différents scénarios.

3 Revue de littérature

3.1 Origine de la formation des gaz et des odeurs

L'élevage animal, y compris la production des œufs de consommation, est une source importante de gaz et d'odeurs. Toutefois, les composés émis sont formés à partir de divers procédés chimiques.

Les émissions de NH_3 résultent spécifiquement de la décomposition de l'acide urique (70 %) et des protéines non digérées (30 %) dans les fèces animales (Groot Koerkamp, 1994; Groot Koerkamp et al., 1998). Ces réactions produisent d'abord l'ion ammonium (NH_4^+), lequel passe ensuite sous la forme de NH_3 pour être volatilisé vers l'atmosphère.

La principale source agricole de gaz carbonique (CO_2) contribuant à l'effet de serre provient de la combustion des carburants fossiles, qui est surtout liée au transport et au chauffage. À l'intérieur des bâtiments d'élevage, la majeure partie du CO_2 est dégagée lors de la respiration des animaux (Marquis, 2002; Steinfield et al., 2006). Le reste provient alors de la décomposition microbienne de la matière organique des déjections (Marquis, 2002; Laguë, 2003; Steinfield et al., 2006).

Le méthane (CH_4) est généré lors de la décomposition bactérienne de composés organiques présents dans l'alimentation ou dans les déjections, notamment par la fermentation entérique, un processus par lequel les hydrates de carbone sont détruits par des microorganismes actifs dans l'appareil digestif des animaux (généralement dans celui des ruminants), et par la dégradation microbienne de la matière organique en milieu anaérobie (Chadwick et al., 1998; Laguë, 2003; Steinfield et al., 2006; Fabbri et al., 2007). Il semblerait que la première voie représenterait environ les deux tiers des rejets de CH_4 dus aux activités d'élevage (Moss et al., 2000). Cependant, dans le cas des poules pondeuses, les émissions de CH_4 provenant de la fermentation entérique seraient négligeables comparativement à celles issues de l'entreposage des déjections souvent liées à un manque d'oxygène (Fabbri et al., 2007).

Le protoxyde d'azote (N_2O) est émis à partir du fumier comme un produit intermédiaire du processus de nitrification et de dénitrification sous des conditions en faibles concentrations d'oxygène et lors de la dégradation de la matière organique (Chadwick et al., 1999; Laguë, 2003; Casey et al., 2006; IPCC, 2006; Fabbri et al., 2007).

Les odeurs sont causées par un mélange complexe de plusieurs composés chimiques. En fait, en raison de ses caractéristiques, de son alimentation et de ses déchets, l'animal génère des gaz et des poussières qui sont à l'origine des odeurs. Elles sont en majorité produites lors de la décomposition des fumiers (Douglas Kreis, 1978; Godbout et al., 2008). Une étude menée par O'Neill et Phillips (1992) conclut que les odeurs associées aux déjections animales sont le fruit de plus de 168 composés générateurs d'odeurs. Toombs (2003) et Earth Tech (2001) soulignent que parmi les composés énumérés par O'Neill et Phillips (1992), le NH_3 et le sulfure d'hydrogène (H_2S) sont ceux qui sont le plus souvent en cause. Schiffman et al. (2001) ont mis au point une autre liste de composés générateurs d'odeurs, identifiant cette fois 331 substances volatiles, laquelle a été obtenue suite à des échantillonnages dans des installations porcines de la Caroline du Nord.

Pour le moment, il existe seulement quelques données relatives aux émissions d'odeurs dans l'environnement en raison justement de cette variabilité des composés odorants, mais aussi de la variabilité qui existe entre les perceptions des nez humains (Sucker et al., 2001). Toombs (2003) expliquait que trois paramètres pouvaient être utilisés pour caractériser les odeurs, soit leurs caractéristiques, leur occurrence et leur force. Les caractéristiques des odeurs sont exprimées par comparaison avec une odeur connue (Toombs, 2003). L'occurrence d'une odeur est la fréquence et la durée pendant laquelle l'odeur persiste (Toombs, 2003; Nimmermark, 2011). La force est évaluée comme la quantité d'air frais nécessaire pour diluer un échantillon d'air odorant jusqu'à le rendre imperceptible par un comité d'évaluateurs (Janzen et al., 1998; Toombs, 2003; Gay et al., 2003; Jacobson et al., 2003; Rappert et Müller, 2005; Casey et al., 2006).

En raison d'un manque d'unités de base, la comparaison des émissions d'odeurs s'effectue généralement d'après ce troisième paramètre (Gay et al., 2003). Présentement, le seuil perceptible de l'odeur est défini sans unité et rapporté en unités d'odeurs (UO). Néanmoins, les chercheurs utilisent plutôt une convention sous laquelle les odeurs sont exprimées par mètre cube (UO m⁻³). Par conséquent, les émissions d'odeurs vont ensuite être rapportées en UO s⁻¹ lorsque le seuil atteint est multiplié par le débit de ventilation (m³ s⁻¹). La méthode employée par la majorité des chercheurs pour identifier la concentration de l'odeur demeure l'olfactométrie.

3.2 Gaz et odeurs émis par la production avicole et cohabitation

À l'instar des autres productions animales, la production québécoise des œufs de consommation est l'hôte de fortes pressions sociales compte tenu du fait que ce type d'entreprise agricole se concentre dans des régions spécifiques plus propices à l'élevage animal (CSE, 2000). Près de 84 % des œufs de consommation sont produits dans le sud du Québec dans les régions de Saint-Hyacinthe/Saint-Jean-Valleyfield (38 %), de Québec/Beauce (25 %) et de Nicolet/Sherbrooke (20 %) (FPOCQ, 2010).

La préoccupation de la population à l'égard de ce phénomène d'agglomération découle de toutes les activités ayant trait à la gestion des déjections animales souvent susceptibles d'être à la source des conflits de cohabitation et des crises sociales touchant le monde agricole (CSE, 2000). Les exploitations en production d'œufs de consommation sont d'ailleurs susceptibles de confronter ce type de conséquences étant donné la nature persistante des odeurs associées aux fientes de poules pondeuses. En effet, certaines études démontrent que les odeurs associées à cette production sont classées ex æquo au rang des plus désagréables, à égalité avec les porcheries d'engraissement (Nimmermark, 2004).

Par ailleurs, AAC (1990) et Nimmermark (2004 et 2011) rapportent que les plaintes contre la plupart des exploitations avicoles sont motivées par l'intolérance des résidents non agriculteurs des zones agricoles à l'égard des odeurs rapportées comme désagréables aux abords de la ferme. La majorité de ces plaintes concernent l'épandage des déjections de volailles sur des terres cultivées. En effet, de façon générale, environ la moitié des plaintes associées aux odeurs relatives au domaine agricole sont dues à l'épandage, alors que les 50 % restants sont partagés entre les activités au bâtiment (30 %) et à l'entreposage (20 %) (Hardwick, 1985). Plus récemment, AAC (1998) affirmait plutôt que 70 % des plaintes concerneraient l'épandage contre 20 % pour l'entreposage et

seulement 10 % pour les bâtiments. Néanmoins, Nimmermark (2004) fait remarquer que les émissions issues de l'épandage des déjections sont moins considérables que celles provenant des bâtiments puisque les premières sont émises durant une courte période seulement.

Enfin, que les odeurs proviennent des bâtiments, des aires d'entreposage ou des activités de reprise du fumier, leur quantité dépend de la surface de contact entre les déjections animales et l'air, et ce, malgré la race de l'animal, le type de bâtiment ou le mode de gestion des déjections (Toombs, 2003; Pelletier et al., 2004). Toutefois, il semblerait que la transition du mode de gestion des déjections d'origine animale de la forme solide à la forme liquide ait engendré une hausse des émissions odorantes provenant des fermes en production animale (CSE, 2000).

Les composés odorants provenant des fermes agricoles ne sont toutefois pas toxiques aux concentrations auxquelles ils sont émis. En effet, il semble que la limite de toxicité inférieure de ces composés soit en général 500 fois supérieure au seuil de détection par le nez humain (Rappert et Müller, 2005). Selon ces auteurs, il est ainsi possible de constater que ces composés odorants sont détectés bien avant qu'ils ne représentent un risque majeur pour la santé humaine.

Les odeurs engendrent bon nombre d'inconvénients sur la qualité de vie. En plus d'avoir un impact négatif sur la valeur des propriétés (Rappert et Müller, 2005), les odeurs peuvent entraîner des nausées, des vomissements, des pertes d'appétit et du stress mental chez les résidents vivant à proximité des exploitations agricoles émettrices d'odeurs (Douglas Kreis, 1978). De son côté, Miner (1980) a démontré que les odeurs nauséabondes peuvent déclencher des réactions réflexes nocives pour l'organisme, modifier les fonctions olfactives et engendrer diverses réactions physiologiques et psychologiques. D'autres auteurs ont établi que les gens exposés aux odeurs issues d'une ferme porcine souffrent davantage d'anxiété et de dépression, ressentent plus de colère et de fatigue, manifestent plus de confusion, démontrent moins de vigueur et présentent des troubles de l'humeur plus fortement que l'ensemble de la population (Rotton, 1983; Shusterman, 1992; Schiffman et al., 1995). À l'inverse, Thu et al. (1997) n'ont décelé aucune corrélation entre le fait d'éprouver des problèmes de santé de nature psychologique, telles que l'anxiété ou la dépression, et le fait d'habiter près de grandes porcheries comportant plus de 4 000 truies. Cependant, les gens ayant participé à l'étude et vivant à proximité des bâtiments d'élevage ont rapporté avoir souffert plus souvent qu'à l'ordinaire de maux de tête, de problèmes respiratoires, d'irritations des yeux ou de nausées comparativement aux personnes non exposées.

En plus des odeurs, l'élevage animal émet aussi des quantités de composés gazeux et volatils pouvant perturber l'équilibre environnemental. Pain (1998) rapporte que les principaux gaz émis par les activités d'élevage animal sont le NH_3 , le N_2O et les autres oxydes d'azote (NO_x) ainsi que le CH_4 . De son côté, Copeland (2009) mentionne que, parmi les substances émises par les activités d'élevage animal, les plus préoccupantes au niveau de la santé et de l'écologie seraient le NH_3 , le H_2S , les matières particulaires (MP), le CH_4 et les NO_x .

Le NH_3 est reconnu comme étant le principal polluant présent sur les fermes avicoles (Nicholson et al., 2004; Liang et al., 2003 et 2005; Li, 2006; Fabbri et al., 2007). En plus d'être impliqué dans la génération des odeurs, le NH_3 est l'un des gaz d'origine agricole ayant le plus d'effets sur l'agrosystème (Schiffman et al., 2001). En fait, le NH_3 est responsable de l'acidification des sols et des cours d'eau, de l'eutrophisation des cours d'eau, en plus de générer une diminution de la biodiversité et d'avoir un effet indirect sur les changements climatiques lorsque transformé en N_2O (IPCC, 2006). De plus, une fois rendu à l'atmosphère, le NH_3 peut réagir avec le dioxyde de soufre (SO_2) ou avec l'ozone (O_3) pour produire des aérosols (Schiffman et al., 2001). Dans un contexte d'élevage animal, les principales sources d'émissions de NH_3 sont le bâtiment d'élevage et l'épandage des déjections (Pain, 1998). À l'échelle mondiale, les émissions de NH_3 provenant des activités humaines en 1990 variaient entre 43 et 52 millions de tonnes, dont 94 % pouvaient être attribuables au secteur agricole (Galloway et al., 2004). De ce pourcentage, 52 % proviendraient directement des déjections animales. Steinfield et al. (2006) rapportent également que 64 % des émissions mondiales de NH_3 seraient le résultat de l'élevage animal.

Parmi les autres gaz rapportés préoccupants par Pain (1998) et Copeland (2009), le CO_2 , le CH_4 et le N_2O sont des gaz émis par les activités agricoles qui contribuent à l'augmentation de l'effet de serre. Même si certains de ces gaz sont parfois émis en faibles quantités, il est important de tous les considérer puisque leur potentiel sur les changements climatiques est nettement différent (tableau 1).

Tableau 1. Potentiel de réchauffement climatique des principaux gaz à effet de serre retrouvés en agriculture

Gaz	Potentiel de réchauffement climatique sur 100 ans ^[1] (kg $\text{CO}_2\text{e kg}^{-1}$)
CO_2	1
CH_4	21
N_2O	310

^[1] Données tirées de Guinée et al. (2001)

Si les odeurs se révèlent plutôt comme une problématique locale de cohabitation, la hausse des émissions de GES dans l'atmosphère se révèle plutôt comme un enjeu environnemental global. En effet, le contexte environnemental mondial est dominé par la problématique des changements climatiques, notamment causée par l'augmentation des émissions de CO_2 , de CH_4 et de N_2O ainsi que par le dépassement de la capacité de la terre à absorber ces gaz (PNUD, 2007). Les émissions directes de GES provenant de l'agriculture (fermentation entérique, gestion des fumiers, utilisation des sols) représentent entre 10 et 12 % des émissions totales mondiales. Par contre, en ajoutant les émissions indirectes, comprenant la production et la distribution de fertilisants, les opérations culturales et la conversion des terres, la contribution de l'agriculture atteint entre 17 et 32 % du total mondial d'émissions de GES (Bellarby et al., 2008). Le secteur des productions animales est responsable à lui seul de 9 % de ces émissions (directes et indirectes) (Steinfield et al., 2006).

3.3 Les émissions de gaz et d'odeurs issues de la production avicole

3.3.1 Bâtiment

La littérature rapporte différentes expériences où les émissions en provenance d'un bâtiment logeant des poules pondeuses ont été mesurées. Le tableau 2 présente ces émissions (gaz et odeurs) pour différents systèmes de gestion des déjections en production d'œufs de consommation. Les valeurs originales ont été converties en g d'extrait an⁻¹ poule⁻¹ dans le cas des gaz, alors que les émissions d'odeurs sont exprimées en UO s⁻¹ poule⁻¹. Pour une description plus exhaustive, l'annexe A présente les données retrouvées pour chaque référence ayant servi à l'élaboration du tableau 2. Une partie de l'écart entre les valeurs pour un même type de système de gestion peut être expliquée par divers paramètres telles la diversité des lieux d'expérimentation, la fréquence d'évacuation des déjections, la saison, l'alimentation et les caractéristiques des oiseaux.

Tableau 2. Émissions de gaz et d'odeurs des bâtiments d'élevage de poules pondeuses

Système de gestion des déjections	Émissions ^[1]				Odeurs UO s ⁻¹ poule ⁻¹
	NH ₃	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
	g an ⁻¹ poule ⁻¹				
Cages à batterie mais système de gestion inconnu		12614 \dot{R} 37843	4 \dot{R} 60	1 \dot{R} 30	0,50 \dot{R} 0,56
Fientes entreposées sous les cages	83 \dot{R} 111				0,10 \dot{R} 0,69
Fientes évacuées sur une courroie mobile sans séchage	18 \dot{R} 345				0,43 \dot{R} 0,47
Séchage des fientes dans un tunnel d'aération	10				
Séchage des fientes par un système d'hélices au-dessus d'une courroie	11				
Séchage conventionnel des fientes par air forcé sur courroie	10 \dot{R} 63		30 \dot{R} 64		0,05 \dot{R} 0,35
Fientes reposant dans des caniveaux et évacuées par pompage ou grattes	66 \dot{R} 382				0,18
Cave profonde ouverte	54 \dot{R} 163				
Cave profonde	271 \dot{R} 440		29 \dot{R} 33	16	
Facteur d'émissions provenant d'organismes nationaux :					
- Environnement Canada (2010)			500		
- IPCC (2006)			30 \dot{R} 1 400		
- EPA (2001)	149			1	
- Autres	211		300		

^[1] Il s'agit d'émissions originales converties par les auteurs sur une base commune. Lorsque le poids par animal, la quantité de déjections fraîches ou la surface par animal sont inconnus, les valeurs considérées étaient respectivement estimées à 1,8 kg poule⁻¹, 0,12 kg j⁻¹ poule⁻¹ et 465 cm² poule⁻¹. Ces évaluations correspondent aux moyennes établies par Hamelin et al. (2007), dans les deux premiers cas, et à la recommandation de Lohmann Tierzucht GmbH (2003), pour le dernier cas. Quelques références expriment le NH₃ en tant que N-NH₃. Alors, la conversion utilisée est basée sur les masses molaires des composés (NH₃ = N-NH₃ x 17/14).

Parmi les types de gestion répertoriés, certains utilisent des équipements de séchage des déjections. Le mode de séchage le plus fréquemment rencontré dans la littérature est le séchage sur courroie par air forcé. Au Québec, selon un rapport de caractérisation sur les déjections des poules pondeuses, mené par Seydoux et al. (2006), il semble que ce mode de séchage soit également le plus utilisé. D'autres systèmes fréquemment rencontrés utilisent la même technique sur courroie mobile, mais sans séchage.

La littérature rapporte également deux autres modes de gestion principalement utilisés pour les déjections liquides. Le premier concerne des bâtiments où les déjections s'accumulent dans un caniveau duquel elles sont régulièrement évacuées par pompage. Le second touche des bâtiments où les déjections liquides sont entreposées dans une cave à lisier située sous le bâtiment. Ces caves sont en général vidées une fois par an. Il est toutefois à préciser qu'au Québec, la grande majorité des producteurs d'œufs de consommation entreposent les déjections liquides dans une fosse extérieure (Thériault, 2006).

Au total, 36 références en provenance de l'Allemagne, du Canada, du Danemark, des États-Unis, de l'Irlande, de l'Italie, du Japon, de la Lituanie, des Pays-Bas, de la République tchèque et du Royaume-Uni ont été répertoriées. Certaines d'entre elles (Lockyer et al., 1989; Wathes et al., 1997; Hörnig et al., 2001; Nicholson et al., 2004; Fabbri et al., 2007) ont effectué des études plus étoffées (plusieurs gaz étudiés ou plusieurs systèmes de gestion comparés) comparables au type de projet mis en place dans le présent rapport.

D'abord, Lockyer et al. (1989) ont comparé les émissions d'azote ammoniacal (N-NH_3) au bâtiment et à l'épandage pour des fientes soit gérées sous forme de lisier à l'intérieur de caniveaux, soit évacuées sur une courroie mobile avec ou sans séchage. Chacun des systèmes logeait 760 poules à l'intérieur d'un poulailler expérimental. Les résultats obtenus démontraient que les déjections reposant strictement sur courroie mobile ($39,94 \text{ g NH}_3 \text{ an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$) réduisaient légèrement les émissions par rapport à l'utilisation d'un système de séchage ($47,93 \text{ g NH}_3 \text{ an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$), mais de beaucoup comparativement à une gestion liquide des fientes ($111,8 \text{ g NH}_3 \text{ an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$).

De leur côté, Wathes et al. (1997) ont expérimenté un système en cave profonde lors des saisons d'hiver et d'été pour quatre bâtiments d'élevage d'environ 27 000 oiseaux en mesurant les émissions de gaz (NH_3 , CH_4 et N_2O) et de poussières. Les émissions gazeuses calculées étaient supérieures en été avec des valeurs atteignant $439,8$, $32,56$ et $16,28 \text{ g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$ respectivement pour le NH_3 , le CH_4 et le N_2O , comparativement aux $293,2$ et $28,94 \text{ g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$ obtenus en hiver pour le NH_3 et le CH_4 .

Hörnig et al. (2001) ont plutôt étudié les rejets atmosphériques (NH_3 et CH_4) provenant d'un système de séchage des déjections sur courroie mobile les évacuant en continu à l'extérieur d'un bâtiment d'élevage de près de 45 000 poules. Les résultats obtenus sont de l'ordre de $16,6$ à $18,3 \text{ g NH}_3 \text{ an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$ et de $46,8$ à $64,3 \text{ g CH}_4 \text{ an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$. Le même système, mais avec une évacuation aux 3 ou 4 jours des fumiers, a engendré des émissions bien plus élevées dans le cas du NH_3 ($62 \text{ g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$) et du CH_4 ($80 \text{ g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$) (Fabbri et al., 2007). Ces derniers ont également expérimenté un élevage en cave profonde qui atteignait des émissions de $163 \text{ g NH}_3 \text{ an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$ et de $30 \text{ g CH}_4 \text{ an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$. Dans les deux cas, les émissions de N_2O furent déclarées non significatives et égales à

zéro. Chaque système de l'étude de Fabbri et al. (2007) était installé à l'intérieur de poulaillers de 60 000 poules.

Finally, Nicholson et al. (2004) ont effectué une étude très complète des émissions de NH_3 du bâtiment à l'épandage pour des essais en élevage commercial et en laboratoire pour divers systèmes de gestion. Les principales conclusions de l'étude au bâtiment révélaient qu'une évacuation journalière des déjections ($49,78 \text{ g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$) pour un système de séchage sur courroie réduisait de 60 % les émissions de NH_3 par rapport à une évacuation hebdomadaire ($126,4 \text{ g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$). Quant aux autres systèmes évalués, le retrait des murs bordant une cave profonde ($53,61 \text{ g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$) a généré des émissions six fois moins élevées que le système conventionnel ($314,0 \text{ g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$).

3.3.2 Entreposage

La littérature rapporte quelques expériences où les émissions en provenance d'une structure d'entreposage de déjections de poules pondeuses ont été mesurées. Le tableau 3 présente ces émissions (NH_3 et N_2O) pour différents systèmes de gestion des déjections en production d'œufs de consommation. Les valeurs originales ont été converties en $\text{g d'extrant an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$. Pour une description plus exhaustive, l'annexe A présente les données retrouvées pour chaque référence ayant servi à l'élaboration du tableau 3.

Tableau 3. Émissions de gaz et d'odeurs des structures d'entreposage des déjections de poules pondeuses

Système de gestion des déjections	Émissions ^[1] ($\text{g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$)	
	NH_3	N_2O
Cages à batterie mais système de gestion inconnu	2-14	
Fientes évacuées sur une courroie mobile sans séchage	13-40	
Séchage conventionnel des fientes par air forcé sur courroie	100-200	
Facteur d'émissions provenant d'organismes nationaux :		
- AAC (2003)	6-30	
- EPA (2001)	145	1

^[1] Il s'agit d'émissions originales converties par les auteurs sur une base commune. Lorsque le poids par animal ou la quantité de déjections fraîches sont inconnus, les valeurs considérées étaient respectivement estimées à $1,8 \text{ kg poule}^{-1}$ et $0,12 \text{ kg j}^{-1} \text{ poule}^{-1}$. Ces évaluations correspondent aux moyennes établies par Hamelin et al. (2007). Quelques références expriment le NH_3 en tant que N-NH_3 . Alors, la conversion utilisée est basée sur les masses molaires des composés ($\text{NH}_3 = \text{N-NH}_3 \times 17/14$).

Au Québec, les fientes séchées sont généralement entreposées dans des réservoirs étanches (Côté, 2005). Selon l'étude de caractérisation menée par Seydoux et al. (2006), il semble que les structures d'entreposage à fientes les plus utilisées au Québec soient des plates-formes rectangulaires pourvues d'un toit, sans purot. Tel que rapporté par les auteurs, l'aire de ces plates-formes varie entre 80 à 725 m^2 . Thériault (2006) mentionne que ces plates-formes sont en béton, avec des murs et des toits de tôle, et que les fientes sont souvent amenées dans cet entrepôt à l'aide d'un convoyeur à la hauteur du plafond.

L'entreposage des déjections liquides de poules pondeuses se fait à l'aide d'une fosse en béton aménagée à l'extérieur du bâtiment d'élevage (Thériault, 2006). Les déjections y sont acheminées directement par pompage. Le rapport de caractérisation réalisé par Seydoux et al. (2006) rapporte principalement des structures d'entreposage circulaires

pour le lisier des poudeuses. Les diamètres rapportés par ces auteurs pour ce type de fosse varient entre 13,8 à 33,6 m et la hauteur atteint entre 3,05 et 4,51 m.

Au total, seulement 6 références en provenance du Canada, des États-Unis, des Pays-Bas et du Royaume-Uni ont été répertoriées. Parmi elles, l'étude de Pratt et al. (2002) a évalué les émissions NH_3 à différentes températures dans des chambres fermées (ce critère est reconnu pour influencer la quantité émise). Comme la présente étude prévoit la mesure des émissions à l'entreposage à long terme (variation importante des températures extérieures), les émissions de 1,57, 3,11, 3,38 et 3,91 g an^{-1} poule⁻¹ pour des températures respectives de 12,3, 15,3, 19,5 et 24,4 °C trouvées par Pratt et al. (2002) serviront de base de comparaison.

À l'instar du bâtiment, la différence entre les émissions d'un même type de système de gestion pour un même gaz dépend de divers paramètres reliés à la régie d'élevage.

3.3.3 Épandage

La littérature rapporte de rares expériences où les émissions de déjections de poules poudeuses ont été mesurées lors de l'épandage. Le tableau 4 présente seulement des émissions de NH_3 pour différents systèmes de gestion des déjections en production d'œufs de consommation. Les valeurs originales ont été converties en g an^{-1} poule⁻¹. Pour une description plus exhaustive, l'annexe A présente les données retrouvées pour chaque référence ayant servi à l'élaboration du tableau 4. Au total, seules 4 références en provenance du Canada, des États-Unis et du Royaume-Uni ont pu être répertoriées.

Tableau 4. Émissions de gaz et d'odeurs lors de l'épandage des déjections de poules poudeuses

Système de gestion des déjections	Émissions de NH_3 ^[1] (g an^{-1} poule ⁻¹)
Fientes évacuées sur une courroie mobile sans séchage	280
Séchage conventionnel des fientes par air forcé sur courroie	48
Fientes reposant dans des caniveaux évacuées par pompage ou grattes	320
Facteur d'émissions provenant d'organismes nationaux :	
- AAC (2003)	60-120
- EPA (2001)	109

^[1] Il s'agit d'émissions originales converties par les auteurs sur une base commune. Lorsque le poids par animal était inconnu, la valeur considérée était estimée à 1,8 kg poule^{-1} , correspondant à la moyenne établie par Hamelin et al. (2007). Quelques références expriment le NH_3 en tant que N- NH_3 . Alors, la conversion utilisée est basée sur les masses molaires des composés ($\text{NH}_3 = \text{N-NH}_3 \times 17/14$).

4 Sélection des stratégies de gestion des déjections

La sélection des scénarios typiques de gestion des déjections rencontrés sur les fermes avicoles du Québec s'est effectuée sur la base des travaux réalisés par Hamelin et al. (2007) en réunissant une table de concertation composée d'acteurs issus de la production d'œufs de consommation, de la recherche de même que du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ) et du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). Cette table de concertation avait pour mandat d'identifier, de détailler et finalement d'établir les scénarios qui feront l'objet d'une évaluation des gaz (NH₃ et GES) et des odeurs. Ces scénarios devaient être représentatifs de la situation actuelle des fermes québécoises en production d'œufs de consommation, de même que des grandes tendances anticipées par l'industrie. Les scénarios devaient aussi clairement spécifier tous les détails de la gestion des déjections pour les étapes de la production au bâtiment jusqu'à l'épandage (figure 1).

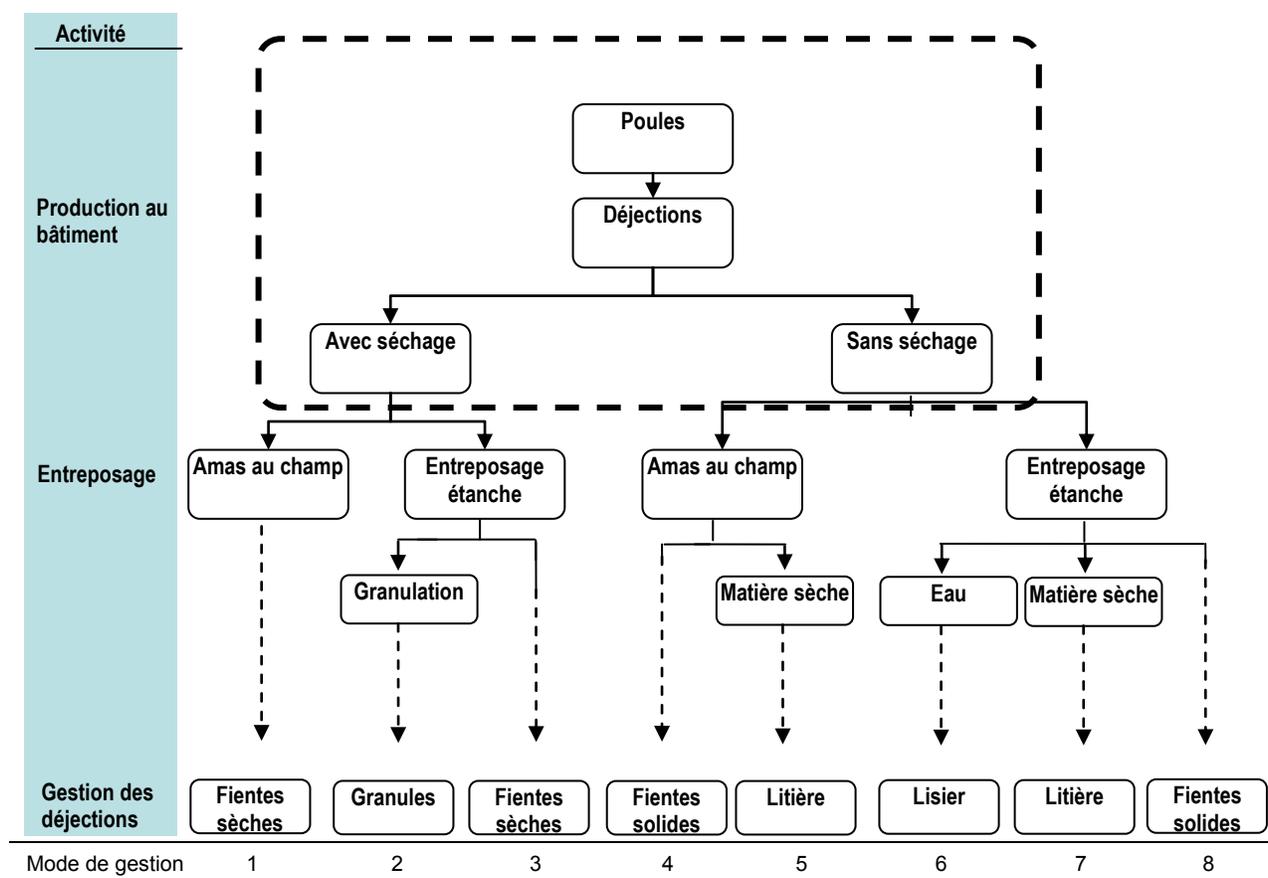


Figure 1. Panorama des pratiques de gestion des déjections pour la production d'œufs de consommation du Québec

L'analyse des principaux intervenants du milieu a ciblé trois principales chaînes de gestion en production d'œufs de consommation au Québec parmi la vaste gamme de systèmes rencontrés (figure 1). Ainsi, les trois principaux types de déjections considérés lors de la réalisation du présent projet sont le lisier (#6), les fientes solides (#8) et les fientes séchées (#3), correspondant respectivement aux gestions liquide, solide et sèche.

5 Essai préliminaire

5.1 Mise en contexte et objectif

À la lumière de la revue de littérature, il existe une grande variabilité entre les émissions des différents gaz et des odeurs. Plusieurs facteurs liés à la régie d'élevage peuvent entraîner cette variabilité. Il est aussi possible que les émissions soient influencées par l'âge des poules étant donné l'ampleur du cycle de ponte qui s'étend généralement de la 19^e à la 71^e semaine d'âge (remplacement causé par une baisse de productivité). Il existe à ce jour très peu d'informations concernant la relation qui pourrait exister entre l'âge et les rejets atmosphériques. En ce sens, il devient pratiquement impensable d'établir une période d'essai qui serait représentative des émissions d'un élevage complet. Par ailleurs, il semble que la mise sur pied de deux élevages soit nécessaire pour obtenir un nombre de répétitions suffisamment grand afin que les données recueillies soient statistiquement valables. Dans l'idéal, la réalisation de deux élevages complets de 52 semaines aurait été souhaitable, mais des contraintes de coût et de disponibilité du laboratoire limitaient le nombre de semaines d'expérimentation.

L'essai préliminaire planifié avait donc pour objectif de vérifier si les émissions de gaz varient en fonction de l'âge des poules.

5.2 Matériel et méthodes

5.2.1 Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental utilisé pour l'élevage préliminaire était situé dans le bâtiment DC-102 de l'IRDA situé au Centre de recherche en sciences animales de Deschambault (CRSAD). Le bâtiment comprend deux salles expérimentales complètement indépendantes de mêmes dimensions, soit 3,7 m de largeur par 5,5 m de longueur. Ces salles sont hermétiques afin de prévenir l'échange d'air entre les différentes pièces. Le revêtement intérieur des chambres est fait de tôle d'acier. La biosécurité du bâtiment est assurée par une entrée de type danois. Ce type d'entrée permet une séparation entre l'extérieur et le local expérimental afin d'éviter une contamination pouvant provenir d'un autre essai.

Dans l'une d'elles, le dispositif expérimental a été assemblé de façon à loger 150 poules dans 30 cages réparties sur trois étages (figure 2). Les cages à batterie Multi-Deck de la compagnie *Farmer Automatic* (Farmer Automatic, 2010) de 486 mm de largeur, par 507 mm de profondeur et par 540 mm de hauteur, provenaient d'un producteur qui venait récemment de rénover ses installations. Les déjections fraîches tombaient directement sur des tapis situés sous chaque rangée de cages et celles-ci étaient vidangées une fois par semaine (jeudi). Cette méthodologie correspond à une gestion solide des déjections.



Figure 2. Dispositif expérimental de l'élevage préliminaire

L'air frais entre dans le bâtiment par un conduit central qui l'achemine jusqu'à un corridor de préchauffage. Un radiateur à eau chaude de 10 kW et une unité de climatisation conditionnent l'air avant son entrée dans les salles. Par la suite, l'air est distribué uniformément dans des conduits de ventilation. Un ventilateur de 0,3 m de diamètre à vitesse variable (modèle VEN812448, Ziehl Fan Serie Z, Les Industries et Équipements Laliberté Ltée, Québec, Canada) a été installé dans chaque salle pour assurer une ventilation adéquate. Un contrôleur électronique (modèle RM-2V2S r-matic, Les Industries et Équipements Laliberté Ltée, Québec, Canada) maintient les conditions de température et de débit minimal recherchées. Lors de l'expérimentation, ces deux équipements étaient régulés par des contrôleurs en marche/arrêt pour maintenir une température d'environ 23 °C dans le corridor de préchauffage et dans les salles.

L'humidité relative a été maintenue entre 60 et 65 %. L'intensité lumineuse fut fixée à environ 7 lux poule⁻¹, alors que la période de lumière journalière commença à 12 h j⁻¹ et fut augmentée de 30 minutes toutes les deux semaines pour atteindre son maximum à 14,5 h j⁻¹.

Cet élevage s'est déroulé du 20 novembre 2009 au 15 février 2010, avec une période d'acclimatation du 2 au 19 novembre 2009.

5.2.2 Échantillonnage et analyse des gaz

Des échantillons d'air ont été prélevés de façon ponctuelle deux fois par semaine (lundi et vendredi) à l'aide d'un poumon artificiel permettant de créer une dépression à l'intérieur faisant en sorte d'admettre l'air dans des sacs de 60 L en [®]Nalophan (figure 3). Deux sacs ont été prélevés chaque fois à proximité du ventilateur de sortie de l'air.



Figure 3. Le poumon artificiel (gauche) et les sacs de 60 L en Nalophan[®] (droite) utilisés

L'analyse des gaz a été effectuée à l'aide du laboratoire mobile MESANGES^{MC}. Les gaz mesurés étaient le NH₃, le CO₂, le CH₄ et le N₂O. Le NH₃ a été analysé par spectroscopie non dispersive dans l'infrarouge (NDIR, Seimens, modèle Ultramat 6E, Munich, Allemagne, précision 1 %). Le CO₂, le CH₄ et le N₂O ont été analysés avec un chromatographe en phase gazeuse (Varian, modèle 3600, Walnut Creek). La stratégie retenue pour l'analyse chromatographique a été la séparation des trois gaz sur des colonnes remplies de Porapak Q (Waters Corporation, USA). Le CH₄ a été quantifié avec un détecteur à ionisation de flamme (FID). Le CO₂ et le N₂O ont, quant à eux, été mesurés avec un détecteur à capture d'électrons (ECD).

Les erreurs instrumentales reliées à la mesure de la concentration de chacun des gaz sont présentées au tableau 5.

Tableau 5. Erreurs instrumentales sur la mesure des concentrations de gaz

Gaz	NH ₃	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Erreur (ppm _v)	± 1,5	± 30	± 0,5	± 0,1

5.3 Résultats et discussion

À leur arrivée au début du mois de novembre, les poules pondeuses étaient âgées d'environ 16 semaines. Pour la plupart d'entre elles, la ponte a débuté vers la mi-novembre. Le taux de ponte a ensuite grimpé durant les trois semaines suivantes jusqu'à ce que l'ensemble des poules pondent régulièrement (début décembre).

Cette période coïncide avec l'atteinte d'un plateau d'émissions de NH_3 dont la période s'est étalée du 5 au 20 décembre environ (figure 4). Par la suite, les émissions de NH_3 n'ont cessé de diminuer même si la production a atteint son maximum vers la mi-janvier. Il est à noter que la succession de valeurs élevées suivies de valeurs plus faibles est le résultat d'un échantillonnage fait le lundi, soit quatre jours après la vidange du jeudi matin et un échantillonnage fait le vendredi, soit une seule journée après la vidange. Ainsi, le moment du grattage du fumier a une influence sur la quantité d'émissions produites. Les dates sur le graphique correspondent également au jour où survient la vidange des déjections. **Émissions de l'ammoniac (NH_3) lors de l'essai préliminaire**

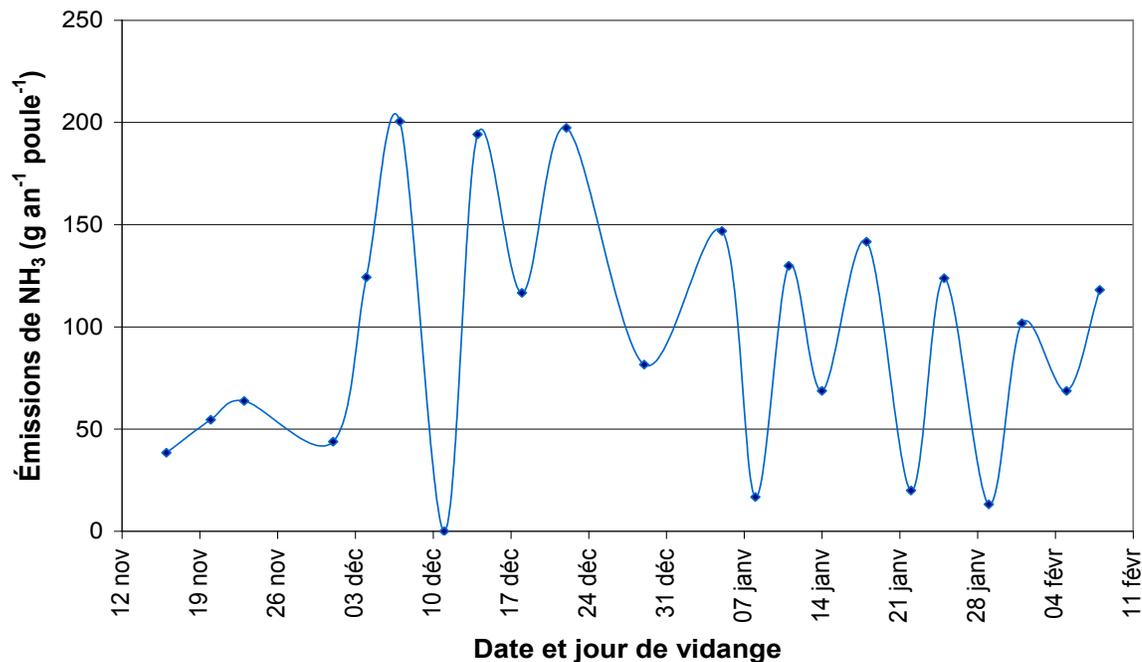
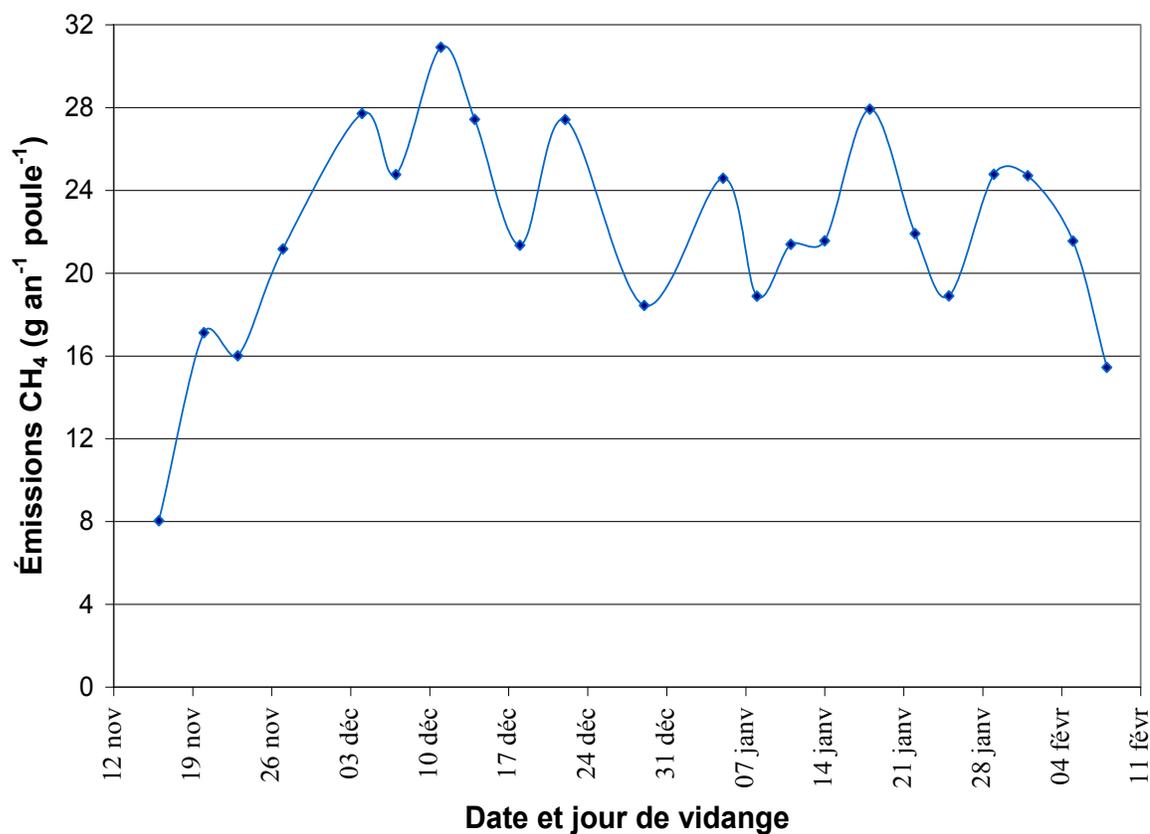
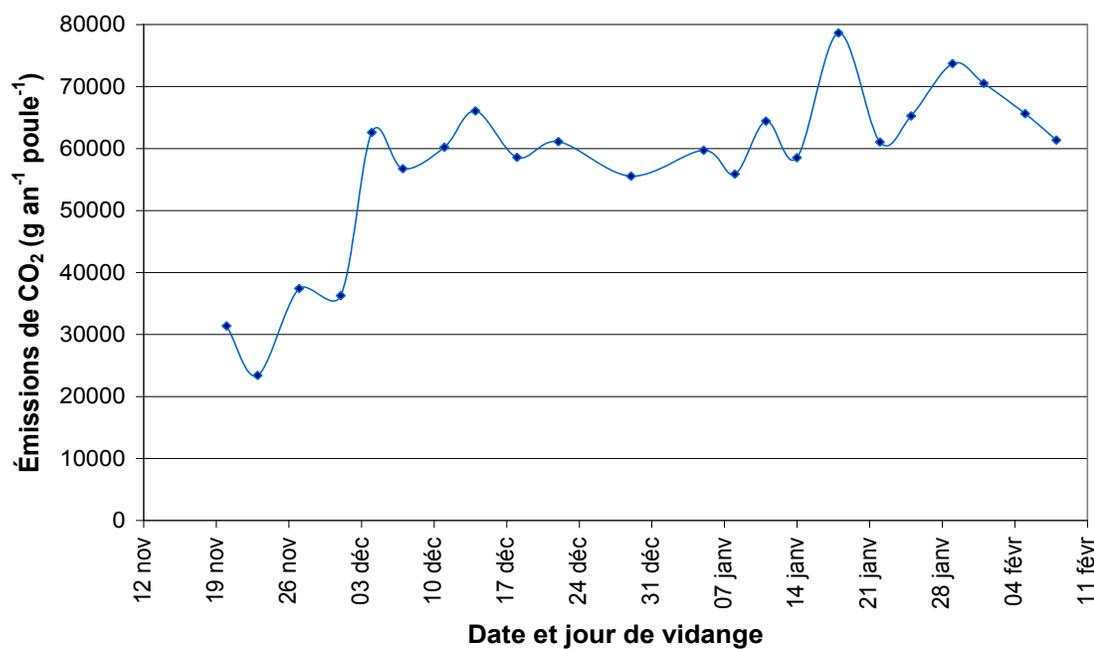


Figure 4. Émissions d'ammoniac (NH_3) lors de l'essai préliminaire

Les courbes des émissions de CH_4 (figure 5) et de CO_2 (figure 6) illustrent la même tendance que le NH_3 , mais de façon moins prononcée. Dans le premier cas, un certain pic semble être atteint lors des deux premières semaines de ponte régulière, avant que les émissions ne diminuent quelque peu pour atteindre des valeurs relativement constantes par la suite. Quant au CO_2 , un certain plateau est aussi obtenu à partir du début du mois de décembre, mais celui-ci demeure à peu près stable jusqu'à la fin de l'expérimentation. En raison des très faibles concentrations détectées, les émissions de N_2O ont été considérées comme nulles.

Émissions du méthane (CH₄) lors de l'essai préliminaireFigure 5. Émissions de méthane (CH₄) lors de l'essai préliminaireFigure 6. Émissions de gaz carbonique (CO₂) lors de l'essai préliminaire

D'après ces résultats, il semble que la période en début de ponte soit différente au niveau des gaz. Ce phénomène peut s'expliquer par le changement de métabolisme qui survient à l'intérieur de l'animal à ce moment. Plusieurs variations de la consommation journalière surviennent au début de la séquence d'ovulation et d'oviposition chez la poule. Celles-ci sont entre autres occasionnées par des besoins nutritionnels variables (Morris et Taylor, 1967; Wood-Gush et Horne, 1970; Mongin et Sauveur, 1974). En fait, la production d'œufs nécessite chez la poule une augmentation de sa consommation journalière afin de répondre à ses nouveaux besoins énergétiques (Scanes et al., 1987), alors qu'elle diminue généralement lors des jours où la ponte ne se produit pas (Morris et Taylor, 1967; Wood-Gush et Horne, 1970; Mongin et Sauveur, 1974). Avec une efficacité allant de 10 à 55 % lors des trois premières semaines de ponte (Lohmann Tierzucht GmbH, 2003), les résultats de l'élevage préliminaire démontrent que l'acclimatation de la poule à ces changements physiologiques engendre une utilisation inefficace des nutriments, résultant en des rejets gazeux plus importants du côté des déjections. Des émissions plus importantes de NH_3 et de CH_4 en début de ponte ont aussi été notées par Wu-Haan et al. (2007) alors que les pondeuses âgées de 21 semaines en émettaient plus que celles de 38 ou 59 semaines.

5.4 Constats

À la lumière des résultats obtenus lors de l'élevage préliminaire, plusieurs tendances se dessinent. Il semble en effet que les émissions varient selon deux principaux paramètres, soit la date à laquelle s'effectue la vidange des déjections et l'âge des poules. Dans le premier cas, les émissions (NH_3 et CH_4) fluctuent de jour en jour alors que les émissions calculées à partir d'un échantillon d'air pris quatre jours après l'évacuation sont beaucoup plus élevées que celles mesurées dès le lendemain. Dans le second cas, les émissions varient de semaine en semaine alors que trois phases distinctes peuvent être décelées à partir des résultats obtenus. D'abord, les émissions (NH_3 , CH_4 et CO_2) sont relativement faibles lors des semaines précédant la ponte (semaines 17 à 19). Elles augmentent ensuite lors des premières semaines de ponte (semaines 19 à 21) en raison des changements physiologiques survenant à ce moment chez la poule. Finalement, les émissions se stabilisent lors des semaines subséquentes (semaines 21 et suivantes).

Ainsi, les huit premières semaines de ponte (semaines 19 à 27) semblent être les semaines critiques en ce qui a trait aux émissions gazeuses en production d'œufs de consommation. La décision fut prise de considérer cette période à titre de durée expérimentale pour la mesure des émissions au bâtiment.

6 Mesure des émissions au bâtiment

6.1 Matériel et méthodes

6.1.1 Chambres expérimentales

L'expérimentation s'est déroulée dans le laboratoire BABE appartenant à l'IRDA. Ce laboratoire est situé dans le bâtiment DC-137 du CRSAD. Il est composé de douze chambres expérimentales complètement identiques et indépendantes (1,2 m de large x 2,4 m de long x 2,4 m de haut) arrangées côte à côte, tel que démontré à la figure 7.



Figure 7. Les douze chambres expérimentales

La charpente des chambres et les murs extérieurs sont faits de bois et de contreplaqué peint. Les joints sont tous scellés et les portes sont étanches pour prévenir tout échange d'air avec l'extérieur. Une feuille de polyéthylène recouvre la moitié inférieure des murs pour les protéger du contact avec les déjections animales. Le plancher des chambres est composé de lattes commerciales de béton 100 % ajouré. La figure 8 représente la vue d'une des chambres expérimentales avant le début des élevages.

La biosécurité est assurée par une entrée de type danois. De plus, tout le matériel nécessaire pour le nettoyage, l'alimentation et les soins des animaux fut introduit dans le laboratoire avant le commencement des expérimentations. Finalement, le laboratoire possède une salle d'équipement contenant un système d'acquisition de données et un placard de rangement.

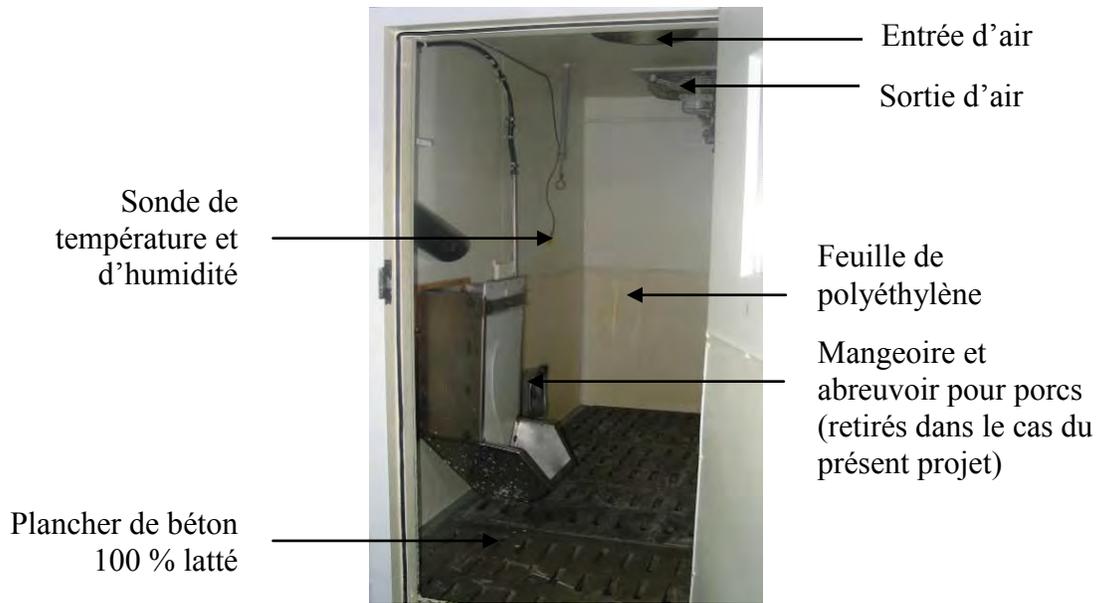


Figure 8. Vue intérieure d'une chambre expérimentale

Le système de ventilation est contrôlé individuellement pour les 12 chambres. Chaque chambre est équipée d'un ventilateur à vitesse variable. L'air à l'entrée provenant de l'extérieur est le même pour toutes les chambres et arrive à partir d'un conduit principal où il est conditionné. En effet, un air conditionné situé au début du conduit est utilisé si nécessaire pour refroidir l'air avant son entrée dans les chambres. Durant l'hiver, l'air est plutôt réchauffé grâce à système de chauffage situé après l'air conditionné. Une seconde unité de chauffage, fixée au conduit de ventilation de chaque chambre, permet un ajustement optimal de la température pour chaque chambre.

6.1.2 Traitements expérimentaux

L'un des trois systèmes de gestion des déjections fut installé dans chaque chambre (figure 9). Les trois traitements expérimentaux correspondent ainsi aux différentes gestions :

- Liquide : fientes tombant sous les cages au fond de la salle dans un caniveau dans lequel l'addition d'eau permet la gestion des déjections sous forme de lisier;
- Solide : fientes tombant sous chaque rangée de cages sur une courroie mobile qui permet l'évacuation des déjections à intervalle régulier;
- Sèche : fientes tombant sous chaque rangée de cages sur une courroie mobile qui permet l'évacuation des déjections à intervalle régulier et où elles sont séchées à air forcé.

Les poules pondeuses des gestions sèche et solide furent logées dans des cages à batterie de type Multi-Deck de la compagnie *Farmer Automatic* (486 mm de large x 507 mm de profond x 540 mm de haut; Farmer Automatic, 2010), mises 2 par 2 sur trois étages pour un total de six cages. Chaque cage comptait cinq poules ($493 \text{ cm}^2 \text{ poule}^{-1}$). Les déjections tombant sous les cages sur la courroie étaient vidangées manuellement deux fois par semaine.



Figure 9. Les systèmes de gestion liquide (gauche), solide (centre) et sèche (droite)

La superficie allouée était légèrement supérieure à celle normalement accordée en élevage conventionnel à la ferme ($465 \text{ cm}^2 \text{ poule}^{-1}$; Lohmann Tierzucht GmbH, 2003) en raison du Règlement sur les conditions de production et de conservation à la ferme des œufs de consommation (Loi sur la mise en marché des produits agricoles, alimentaires et de la pêche, L.R.Q., c. M-35.1, a. 92).

La particularité du système en gestion sèche, comparativement à celui en gestion solide, était le dispositif de séchage des fientes installé sous chaque étage de cages. Un conduit perforé de 750 mm (3 po) soufflait l'air provenant d'une turbine (modèle VTX-400; Atmosphère, 2010) de 100 mm (4 po) de diamètre fixée sous l'entrée d'air (figure 10). Des perforations de 5 mm furent effectuées à tous les 160 mm avec un angle de 45 degrés basées sur les caractéristiques des équipements de séchage commerciaux (Godbout, 2010). Puis, en se basant sur un débit de $1,27 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ($0,75 \text{ cfm poule}^{-1}$; FPOCQ, 2009b), la turbine était ajustée pour œuvrer à une vitesse de $3,05 \text{ m s}^{-1}$ (600 pi min^{-1}).

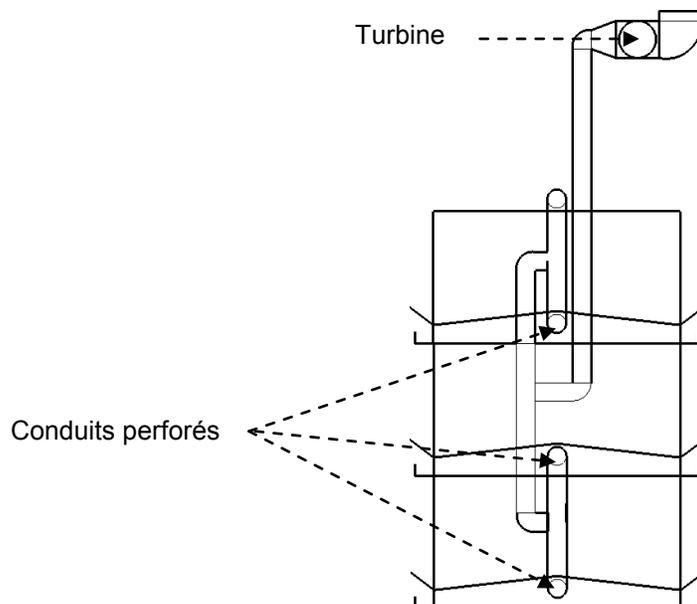


Figure 10. Schématisation du système de séchage

Les poules pondeuses en gestion liquide étaient élevées dans des cages commerciales (Ranch Cunicole G.L.R. inc., Saint-Hyacinthe, Québec, Canada) mesurant 1 524 mm de long, 457 mm de profond et 457 mm de haut. Le montage comprenait deux étages de cinq sections de 305 mm qui comptaient trois poules chacune. Les cages de la compagnie *Farmer Automatic* n'ont pu être utilisées en gestion liquide par manque d'espace. Par ailleurs, un panneau fut installé à 45 degrés sous le premier étage pour que les déjections puissent glisser le long du mur et se retrouver dans le caniveau au fond de la chambre (figure 11). Les déjections étaient évacuées à la toute fin des élevages.



Figure 11. Le caniveau sous les cages en gestion liquide

6.1.3 Animaux, luminosité et alimentation

Les poules pondeuses étaient de race Lohmann LSL-Lite (Lohmann Tierzucht GmbH, 2003), une des races les plus répandues au Québec (73 %; FPOCQ, 2010).

La période lumineuse était d'environ 13 h j⁻¹. Elle fut augmentée de 30 minutes toutes les deux semaines pour atteindre 14 h j⁻¹. Le système lumineux fut ajusté pour fournir une intensité de 40 lux par chambre (Light Meter, Lux/FC, 840020C, Sper Scientific Ltd.). Des panneaux de carton ont été fixés sur les fenêtres des portes pour empêcher la lumière de la salle de travail d'entrer dans les chambres (figure 7).

L'eau était fournie par un système fabriqué sur place incluant une valve solénoïde connectée à un système d'acquisition de données qui enregistrerait le débit d'eau passant par les abreuvoirs à tétine installés dans les cages. Une portion de 100 g de moulée

commerciale par poule pondeuse (2005-000, Aliments Breton, Saint-Bernard-de-Beauce, Québec, Canada) était servie chaque jour. À tous les deux jours, la moulée était égalisée dans les trémies pour s'assurer que les poules mangeaient toutes les particules, particulièrement les plus lourdes, comme les minéraux, qui se retrouvent souvent au fond (phosphore, calcium, etc.).

6.1.4 Dispositif expérimental

L'expérimentation comptait deux essais d'une durée de neuf semaines et demie comprenant onze jours d'acclimatation et huit semaines de mesure. Les dates importantes pour chaque essai sont présentées au tableau 6.

Tableau 6. Dates importantes des élevages effectués en 2010

Élevage	Début	Prise des mesures	Fin
1	25 mars	6 avril	28 mai
2	10 juin	21 juin	13 août

Quatre répétitions étaient prévues pour chaque traitement par élevage. Les traitements furent assignés aléatoirement aux douze chambres, tel que présenté au tableau 7. Les traitements furent positionnés de la même façon lors des deux élevages en raison de la complexité des systèmes de cages une fois assemblés.

Tableau 7. Attribution aléatoire des traitements aux douze chambres expérimentales

Chambre	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Système de gestion	S	L	D	S	D	L	L	S	D	L	S	D

L = liquide, S = solide, D = sèche

6.1.5 Instrumentation, mesures et calculs

Température

La température et l'humidité relative de l'air furent mesurées pour chacune des chambres à l'aide d'une sonde (modèle CS500, précision $\pm 0,5$ °C à 20 °C et ± 3 % HR, Campbell Scientific Canada corp.). Un système d'acquisition connecté à un ordinateur permet d'entrer les données provenant de la sonde toutes les 10 secondes et d'enregistrer la moyenne chaque 15 minutes. La consigne de température fut fixée à 23 °C (FPOCQ, 2009b).

Ventilation

Les débits de ventilation furent calculés grâce à un « iris damper » (diamètre de 204 mm ajustable, précision $\pm 5\%$, Continental Fan Manufacturing Inc.) installé dans le conduit à la sortie de l'air de chaque chambre pour mesurer les différences de pression. Le débit est mesuré en continu. Le même système d'acquisition mémorise la valeur de pression à toutes les 10 secondes et effectue une moyenne toutes les 15 minutes. Cette valeur sert ensuite au calcul du débit à l'aide de l'équation 1 :

$$Q = k\sqrt{\Delta\text{pression}} \times 0,0283 \quad (1)$$

où Q est le débit de ventilation pour une chambre ($\text{m}^3 \text{min}^{-1}$), k est une constante qui dépend du montage de l'instrument (donné par le fabricant), $\Delta\text{pression}$ est la différence en pression statique (pouces d'eau) et $0,0283$ est le facteur de conversion pour obtenir les unités SI ($0,0283 \text{ m}^3 = 1 \text{ pi}^3$).

Poids, œufs et moulée

Les poules pondeuses furent pesées avant et après l'expérimentation. Les œufs étaient ramassés chaque jour et pesés une fois par semaine. Ils étaient ensuite apportés au laboratoire d'analyse agroenvironnementale de l'IRDA où leur composition en matière sèche (MS), en protéines, en azote total (N_T) et en minéraux (P, K, Ca, Mg, Al, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, Na, Ni, Cd, Cr, Co, Pb, S, Ba et Sr) fut analysée. Le poids de la moulée donnée aux poules était noté chaque jour. Une analyse au laboratoire d'analyse agroenvironnementale de l'IRDA a également été entreprise afin d'évaluer la teneur en MS, en protéines, en N_T , en gras et en minéraux (P, K, Ca, Mg, Al, B, Cu, Fe, Mn, Zn et Na).

Composition des déjections

L'échantillonnage des déjections était réalisé chaque semaine. Une quantité fixe de fientes était prise au hasard chaque semaine dans chacune des chambres. Pour les systèmes en gestion solide et sèche, les échantillons étaient récupérés sur la courroie, alors que ceux pour la gestion liquide étaient ramassés dans le caniveau sous le plancher. Les échantillons étaient ensuite acheminés au laboratoire d'analyse agroenvironnementale de l'IRDA pour déterminer le pH, la teneur en MS et en N_T , l'azote ammoniacal ($N\text{-NH}_4^+$), les cendres, le contenu en matière organique, la densité et les minéraux (P, K, Ca, Mg, Al, B, Cu, Fe, Mn, Zn et Na).

Particules en suspension

Les particules ont été échantillonnées dans chacune des douze chambres du laboratoire pour des périodes de 7 jours pour les semaines commençant les 19 et 26 avril ainsi que les 3 et 10 mai 2010.

Les échantillons de gaz chargés en particules ont été prélevés avec le montage déjà installé dans le laboratoire. Le montage comprend 12 tubes de Tygon® (R-3606, 6,4 mm DI) installés dans chacune des chambres et reliés au collecteur de prélèvement par un débitmètre à bille en acrylique Cole-Parmer (0,45 LPM, échelle 100 mm) pour mesurer le débit et une valve micrométrique Swagelok (Series M, Cv 0,03) pour contrôler le débit.

Le collecteur de prélèvement est maintenu sous dépression avec une pompe GAST modèle 0523 contrôlée par une valve à bille.

Les particules étaient piégées sur un filtre en membrane mixte d'acétate et de nitrate de cellulose MF-Millipore™ (type AAWP, 37 mm, 0,8 µm) déposé sur un support en cellulose installé dans une cassette en polystyrène semblable à celle utilisée dans les méthodes NIOSH pour échantillonner l'air en milieu industriel.

Les filtres vierges étaient placés au dessiccateur durant une semaine avant la pesée et l'installation dans la cassette d'échantillonnage. Les filtres exposés étaient placés au dessiccateur immédiatement après la récupération dans les chambres puis ils étaient pesés à deux reprises après 48 et 72 heures de dessiccation. Les filtres, incluant un filtre blanc, étaient pesés dans des plateaux d'aluminium identifiés sur une balance calibrée au 0,1 mg du laboratoire d'analyse agroenvironnementale de l'IRDA.

Concentrations et émissions de gaz

L'air des chambres expérimentales est pompé à l'intérieur d'un système de tubes en Teflon™ vers un laboratoire mobile. Dans ce laboratoire, la concentration en NH₃ est mesurée par spectroscopie non dispersive dans l'infrarouge (NDIR, Seimens, modèle Ultramat 6E, Munich, Allemagne, précision 1 %), alors que celle des GES (CO₂, CH₄ et N₂O) est analysée à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse (GC; Varian, modèle 3600, Walnut Creek). La stratégie retenue pour l'analyse chromatographique a été la séparation des trois gaz sur des colonnes remplies de Porapak Q (Waters Corporation, USA). Le CH₄ a été quantifié avec un détecteur à ionisation de flamme (FID). Le CO₂ et le N₂O ont été mesurés avec un détecteur à capture d'électrons (ECD). Les erreurs instrumentales sur la mesure des concentrations de gaz sont présentées au tableau 5.

Après chaque période de 15 minutes, les concentrations des quatre gaz sont mesurées. La concentration en NH₃ est obtenue par la moyenne des concentrations de ce gaz circulant dans l'appareil NDIR durant la dernière minute de la période de 15 minutes. Les concentrations des trois GES sont analysées instantanément dans le GC à la fin de la période de 15 minutes. Quant au système d'acquisition de données, il récupère les informations à toutes les dix secondes, effectue une moyenne toutes les minutes et une autre tous les quarts d'heure. Deux fois par heure, l'ordinateur relié au système d'acquisition enregistre les données stockées sur ce dernier.

La mesure des concentrations est prise continuellement toutes les 15 minutes durant l'expérimentation entière de façon à ce que le tout soit synchronisé avec les débits de ventilation. Aux trois jours, entre 12 h et 13 h, la concentration de trois gaz étalons est analysée pour vérifier les mesures prises par le GC.

Des filtres à poussière furent installés avant chaque essai à l'entrée des lignes de tubes pour prévenir la contamination et tout dommage aux analyseurs de gaz (figure 12). La température du système d'analyse des gaz (analyseurs, valves solénoïdes, tubes en Teflon™) fut maintenue à 35 °C pour éviter que l'apparition de condensation à l'intérieur. Tous les tubes possédaient la même longueur et un diamètre extérieur de 6,35 mm pour assurer une mesure uniforme d'un même volume d'air pour chaque gaz et chaque chambre.



Figure 12. Localisation des instruments d'échantillonnage

Calcul des émissions

Le calcul des émissions de gaz est ensuite effectué pour chaque période d'échantillonnage utilisant l'équation 2 :

$$E_{gaz} = (C_{out} - C_{in}) \times \frac{Q}{N} \times \frac{P_{atm} - P_v}{287 \times T} \times \frac{M_{gaz}}{M_{air}} \times 525,6 \quad (2)$$

où E_{gaz} représente l'émission du gaz correspondant dans une chambre au moment d'échantillonnage ($\text{g an}^{-1} \text{ tête}^{-1}$), C_{in} est la concentration à l'entrée de la chambre du gaz concerné (ppm_v), C_{out} désigne la concentration à la sortie de la chambre du gaz concerné (ppm_v), Q représente le débit moyen de ventilation durant une période d'échantillonnage obtenu par l'équation 1 ($\text{m}^3_{\text{air}} \text{ min}^{-1}$), N indique le nombre de poules pondeuses par chambre, P_{atm} et P_v sont respectivement la pression atmosphérique au niveau de la mer (101 325 Pa) et la pression de vapeur (Pa; équations 3 et 4), T correspond à la température dans la chambre (K), M_{gaz} et M_{air} caractérisent les masses molaires du gaz concerné et de l'air (g mol^{-1}) et 525,6 (g an^{-1}) est un facteur de conversion.

P_v est calculé comme suit, d'après l'équation 3 :

$$P_v = HR \times P_{sat}, \quad (3)$$

où HR est l'humidité relative et P_{sat} est la pression de saturation (Pa). Cette pression est obtenue à partir de l'équation 4 (ASAE, 1995) :

$$\ln(P_{sat}/R) = \frac{A + B \times T + C \times T^2 + D \times T^3 + E \times T^4}{F \times T - G \times T^2} \quad (4)$$

où T signifie la température ($273,16 \leq T \leq 533,16 \text{ K}$) et R, A, B, C, D, E, F et G sont des constantes dont les valeurs sont inscrites au tableau 8.

Tableau 8. Valeurs des constantes de l'équation 4

R = 22105649,3	B = 97,5413	D = 0,00012558	F = 4,34903
A = -27405,526	C = -0,146244	E = -4,8502E-08	G = 0,0039381

Concentrations et émissions d'odeurs

La technique utilisée pour mesurer les concentrations d'odeurs au cours des élevages fut l'olfactométrie dynamique. Un poumon artificiel permettait de créer un vide interne afin de remplir des sacs de 60 L en [®]Nalophan (figure 3) d'air provenant des chambres lorsque fixés sur un tube d'échantillonnage installé juste après la sortie d'air. Les échantillons d'air dans les sacs étaient ensuite analysés dans les 24 heures dans un olfactomètre mobile (Odile olfactometer, Odotech inc., Montréal, Québec, Canada) selon les normes européennes de normalisation (CEN, 2003).

Quelques jours avant l'échantillonnage, les sacs sont conditionnés à température ambiante. Chaque sac est ensuite rempli d'air grâce à une pompe munie d'un filtre au charbon. Le lendemain, les sacs sont inspectés afin de vérifier leur étanchéité. Après cette étape, les sacs sont lavés avec de l'air filtré, puis vidés. Cette opération est effectuée à deux reprises. À la fin, les sacs sont dégonflés et conservés jusqu'au moment de l'échantillonnage.

Quatre échantillonnages des sacs servant pour la détermination des concentrations des odeurs ont été effectués pour chacun des élevages, toujours le lundi matin entre 9 h 30 et 12 h lors des semaines 3 à 6 (tableau 9). Pour prévenir tout échange d'air avec l'extérieur, l'ouverture des chambres ne fut pas permise les matins avant l'échantillonnage. Le remplissage des auges a été fait durant l'après-midi. Chaque jour d'échantillonnage, ce sont treize sacs qui furent remplis; un pour chacune des chambres et un autre pour l'entrée d'air. Après la prise d'échantillons, les sacs furent ramenés à l'olfactomètre où un panel allait déterminer la concentration des odeurs.

Tableau 9. Date d'échantillonnage des odeurs durant le projet

Élevage	Semaine	Date
1	3	19 avril 2010
	4	26 avril 2010
	5	3 mai 2010
	6	10 mai 2010
2	3	5 juillet 2010
	4	12 juillet 2010
	5	19 juillet 2010
	6	26 juillet 2010

Les émissions d'odeurs pour une chambre étaient calculées selon l'équation 5 :

$$E_{odeurs} = \frac{C_{odeurs} \times Q}{N \times 60} \quad (5)$$

où E_{odeurs} représente l'émission d'odeurs dans une chambre au moment de l'échantillonnage ($\text{UO s}^{-1} \text{ tête}^{-1}$), C_{odeurs} indique la concentration à la sortie de la chambre telle que déterminée par le comité d'évaluateurs (UO m^{-3}), Q représente le débit moyen de ventilation durant une période d'échantillonnage calculé grâce à l'équation 1 ($\text{m}^3_{\text{air}} \text{ min}^{-1}$), N indique le nombre de poules pondeuses par chambre et 60 (s min^{-1}) est un facteur de conversion.

Caractère hédonique

Les mêmes échantillons d'air utilisés pour la détermination des concentrations des odeurs sont employés pour déterminer le caractère hédonique de l'air. Les panélistes à l'intérieur de l'olfactomètre devaient juger la senteur de l'air de chaque sac selon une distribution normale. L'échelle de pointage pour cette étude allait de -5 à 5. Zéro (0) étant une odeur neutre, les évaluateurs attribuaient une note selon le degré de plaisance (1 à 5) ou de dégoût (-1 à -5) de l'air respiré.

6.1.6 Analyse statistique

L'expérience a été réalisée dans un plan complètement aléatoire à trois traitements et quatre répétitions, répétée deux fois. Les mesures effectuées pendant les 8 semaines dans une même chambre d'un même élevage sont considérées comme corrélées. L'analyse de variance des données d'un tel dispositif exige l'emploi d'un modèle mixte, car en plus des effets fixes du traitement, de la semaine et de l'interaction semaine \times traitement, plusieurs effets aléatoires sont présents, dont l'effet de l'élevage, l'effet de la chambre de chaque élevage et l'erreur expérimentale. La procédure MIXED de SAS (Version 8, 1999, SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, United States) a été utilisée pour l'ajustement de ce modèle (Littell et al., 2006). Les erreurs aléatoires du modèle obéissent à une loi normale avec un vecteur de moyenne nulle et une matrice de variance-covariance ayant possiblement une structure de corrélations et des variances hétérogènes. Pour l'analyse de chaque gaz, plusieurs structures de corrélations ont été envisagées afin de tenir compte des mesures répétées au cours des 8 semaines.

6.2 Résultats et discussions sur les émissions au bâtiment

6.2.1 Performances zootechniques

À l'intérieur d'un même élevage, les poids en début et en fin d'expérience sont similaires entre les traitements. Le poids initial moyen des poules lors des élevages 1 et 2 était respectivement de 1,33 et 1,41 kg. À leur sortie, elles pesaient en moyenne 1,66 et 1,62 kg respectivement. Le gain de poids fut donc de 0,3 kg pour l'élevage 1 et de 0,21 kg pour l'élevage 2.

Le tableau 10 résume les poids initial et final ainsi que les gains de poids pour les différents systèmes de gestion au cours des deux élevages.

Les poules étaient plus lourdes au début de l'élevage 2 comparativement à l'élevage 1. Toutefois, un gain de poids moins important durant la période estivale a engendré un poids final inférieur à celui trouvé pour l'élevage 1. Les températures extérieures plus chaudes durant le deuxième élevage peuvent être à l'origine de cette diminution de la prise de poids chez les poules. Dans le cas de la gestion solide, le gain de poids a même été réduit de moitié durant le second élevage.

Tableau 10. Performances zootechniques

Élevage	Système de gestion des déjections	Poids initial (kg poule ⁻¹)	Poids final (kg poule ⁻¹)	Gain de poids (kg poule ⁻¹)
1	Liquide	1,34	1,66	0,32
	Solide	1,34	1,69	0,35
	Sèche	1,30	1,63	0,33
2	Liquide	1,39	1,64	0,25
	Solide	1,42	1,59	0,17
	Sèche	1,41	1,63	0,22

6.2.2 Consommation de moulée et d'eau : quantité et caractéristiques

Les poules en gestion liquide ont consommé en moyenne 107,72 g j⁻¹ de moulée et 0,177 L j⁻¹ d'eau lors du premier élevage et 102,44 g j⁻¹ de moulée et 0,170 L j⁻¹ d'eau lors du second. De leur côté, les poules en gestion solide et sèche ont ingéré environ 92 et 94 g j⁻¹ de moulée et environ 0,165 et 0,159 L j⁻¹ d'eau respectivement au cours des élevages 1 et 2. Il semble donc que les poules en gestion liquide ont bu et mangé davantage que celles en gestion solide ou sèche. Ceci suggère que la gestion solide ou sèche pourrait entraîner des gains environnementaux et permettre une réduction significative des coûts de production. Ces observations sont à valider puisqu'elles n'ont pas été répertoriées ailleurs.

Le tableau 11 reprend les valeurs relatives à la consommation en eau et en moulée des poules associées aux différents systèmes de gestion lors des deux essais.

Tableau 11. Consommation de moulée et d'eau

Élevage	Système de gestion des déjections	Moulée ingérée (g j ⁻¹ poule ⁻¹)	Eau consommée (L j ⁻¹ poule ⁻¹)
1	Liquide	107,7	0,177
	Solide	92,53	0,165
	Sèche	91,30	0,164
2	Liquide	102,4	0,170
	Solide	93,75	0,156
	Sèche	94,14	0,161

Une analyse de la moulée donnée aux poules a révélé un taux de matière sèche de 90,4 % contenant 22,09 % de protéines, 6,55 % de gras, 15,20 % de NDF (neutral detergent fiber) et 4,88 % de ADF (acid detergent fiber). Par ailleurs, la moulée contient respectivement 6 497, 8 348, 24 810, 1 937, 354,5, 30,85 et 326,5 mg kg_{moulée}⁻¹ de P, K, Ca, Mg, Al, Cu et Fe. Le tableau 12 présente ces éléments.

Tableau 12. Caractéristiques de la moulée

Élément	Symbole	Unité	Valeur
Matière sèche	MS	g kg ⁻¹	904
Azote total	NT	g kg ⁻¹	35,4
Protéines	-	%	22,09
Protéines NDF	-	%	15,20
Protéines ADF	-	%	4,88
Gras	-	%	6,55
Phosphore	P	mg kg ⁻¹	6497
Potassium	K	mg kg ⁻¹	8348
Calcium	Ca	mg kg ⁻¹	24810
Magnésium	Mg	mg kg ⁻¹	1937
Aluminium	Al	mg kg ⁻¹	354,5
Cuivre	Cu	mg kg ⁻¹	30,85
Fer	Fe	mg kg ⁻¹	326,5

6.2.3 Oeufs produits : quantité et caractéristiques

Lors de l'élevage 1, les rendements d'œufs ont atteint 93, 94 et 92 % respectivement pour les gestions liquide, solide et sèche, alors qu'ils ont été de 95, 96 et 94 % au cours de l'élevage 2. Les œufs pondus pesaient en moyenne 55 et 54 g pendant les élevages 1 et 2. Les taux de conversion des chambres en gestion liquide étaient supérieurs à la moyenne de 1,18 obtenue par les gestions solide et sèche pour la totalité de l'expérience avec des taux de 1,38 et 1,27 lors des élevages 1 et 2.

Ainsi, malgré des gains de poids moins importants lors de l'élevage 2, la production d'œufs a été légèrement supérieure par rapport au premier élevage. Toutefois, les œufs produits durant le second essai pesaient en moyenne 1 g de moins. Puis, même si les

poules élevées sous gestion liquide se sont alimentées davantage, elles n'ont pas obtenu de meilleures efficacités de production. Au contraire, leur taux de conversion surpasse celui des gestions solide et sèche de 7 à 14,5 %. Néanmoins, l'efficacité globale des élevages a été supérieure à ce que le CRAAQ (2007) propose comme critère technique en termes de taux de conversion ($1,49 \text{ kg}_{\text{moulée}} \text{ dz}_{\text{œufs}}^{-1}$).

L'ensemble des données sur la production d'œufs est exposé au tableau 13.

Tableau 13. Œufs produits

Élevage	Système de gestion des déjections	Rendement (œufs j^{-1} poule $^{-1}$)	Masse des œufs produits (g œuf $^{-1}$)	Taux de conversion ($\text{kg}_{\text{moulée}} \text{ dz}_{\text{œufs}}^{-1}$)
1	Liquide	0,9343	55,35	1,38
	Solide	0,9433	54,96	1,18
	Sèche	0,9274	54,60	1,18
2	Liquide	0,9527	54,13	1,27
	Solide	0,9566	53,60	1,15
	Sèche	0,9371	54,12	1,18

Les principales composantes des œufs (intérieur) et des coquilles révélées par l'analyse chimique sont décrites au tableau 14. En moyenne, le taux de matière sèche des œufs était de 22,7 %, alors qu'il était de 72,5 % pour les coquilles. Les œufs contenaient près de 20 g kg^{-1} d'azote, $1,7 \text{ g kg}^{-1}$ de phosphore, $1,3 \text{ g kg}^{-1}$ de potassium et 12,6 % de protéines. Les coquilles sont, quant à elles, principalement formées de calcium avec une concentration de 348 g kg^{-1} .

Tableau 14. Composition des œufs et des coquilles

			MS	N _T	Protéines	P	K	Ca	Mg	Fe
			%	mg kg^{-1}	%	mg kg^{-1}				
Élevage 1	Œufs	L	22,4	20 148	12,7	1 676	1 302	496	118	18,0
		S	22,8	20 429	12,9	1 723	1 321	517	119	18,6
		D	22,9	20 436	12,9	1 686	1 267	498	114	17,8
	Coquilles	L	71,7	n.d.	n.d.	890	971	346 307	2 957	87,9
		S	71,8	n.d.	n.d.	885	975	347 055	2 955	102
		D	71,1	n.d.	n.d.	899	979	346 402	2 924	84,1
Élevage 2	Œufs	L	22,7	19 930	12,4	1 749	1 285	505	115	17,9
		S	22,6	19 982	12,4	1 738	1 290	510	117	17,1
		D	22,8	19 940	12,3	1 755	1 292	513	116	17,3
	Coquilles	L	73,0	n.d.	n.d.	963	927	348 970	2 901	36,1
		S	73,7	n.d.	n.d.	941	926	350 004	2 986	34,4
		D	73,8	n.d.	n.d.	940	910	348 714	2 947	39,5

MS = taux de matière sèche, N_T = azote total, P = phosphore, K = potassium, Ca = calcium

Mg = magnésium, Al = aluminium, Cu = cuivre, Fe = fer

L = liquide, S = solide, D = sèche

n.d. = non défini

6.2.4 Fientes produites : quantité et caractéristiques

Les gestions liquide, solide et sèche ont produit respectivement en moyenne 140,16, 70,88 et 60,78 g j⁻¹ poule⁻¹ de fientes fraîches ayant des densités de 1,09, 1,06 et 1,05 g cm⁻³. Ces fientes avaient par ailleurs des pH de 7,67, 6,64 et 6,76 et des teneurs en matière sèche de 25, 37 et 44 %. Le contenu en azote total atteignait 1,06, 1,68 et 1,65 g j⁻¹ poule⁻¹, alors que celui du phosphore correspondait à 0,50, 0,60 et 0,59 g j⁻¹ poule⁻¹. L'azote ammoniacal atteignait 0,57, 0,26 et 0,20 g j⁻¹ poule⁻¹. Les quantités de potassium étaient de 1,53, 1,82 et 1,80 g j⁻¹ poule⁻¹. Quant au calcium et au magnésium, les niveaux retrouvés étaient similaires entre les systèmes de gestion à environ 0,14 et 0,02 g j⁻¹ poule⁻¹ respectivement.

Le tableau 15 résume les quantités et les caractéristiques des fientes produites par les trois systèmes de gestion au cours des deux élevages ainsi que la moyenne.

Tableau 15. Quantité et caractéristiques des fientes produites

		Quantité g j ⁻¹ poule ⁻¹	pH	MS %	N _T g j ⁻¹ poule ⁻¹	N-NH ₄ g j ⁻¹ poule ⁻¹	P g j ⁻¹ poule ⁻¹	K g j ⁻¹ poule ⁻¹	Ca g j ⁻¹ poule ⁻¹	Mg g j ⁻¹ poule ⁻¹
Élev. 1	L	139,79	7,70	27,18	1,20	0,68	0,52	1,58	0,12	0,01
	S	64,04	6,71	38,87	1,62	0,23	0,58	1,63	0,13	0,01
	D	54,66	6,78	46,63	1,52	0,17	0,56	1,64	0,13	0,01
Élev. 2	L	140,53	7,64	23,67	0,93	0,45	0,48	1,49	0,11	0,01
	S	77,72	6,58	35,80	1,75	0,29	0,62	2,01	0,15	0,02
	D	66,90	6,74	40,99	1,78	0,22	0,63	1,95	0,15	0,02
Moy	L	140,16	7,67	25,42	1,06	0,57	0,50	1,53	0,12	0,01
	S	70,88	6,64	37,33	1,68	0,26	0,60	1,82	0,14	0,02
	D	60,78	6,76	43,81	1,65	0,20	0,59	1,80	0,14	0,02

MS = taux de matière sèche, N_T = azote total, N-NH₄ = azote ammoniacal, P = phosphore

K = potassium, Ca = calcium, Mg = magnésium

L = liquide, S = solide, D = sèche

La masse des fientes en gestion liquide est évidemment supérieure aux deux autres types de gestion étant donné l'ajout d'eau en début et en fin d'élevage afin d'évacuer les déjections sous forme de lisier. Cet ajout d'eau a également engendré un taux de matière sèche plus bas et un pH plus élevé en comparaison aux gestions solide et sèche. Quant aux différences entre les gestions solide et sèche, elles sont causées par le système de séchage à air forcé qui permet d'évaporer une certaine quantité d'eau des déjections produites dans les chambres en gestion sèche, résultant en une réduction au niveau de la masse de fientes et du contenu en matière sèche.

Les fientes générées à l'intérieur des salles en gestion liquide contiennent moins de N_T mais davantage de N-NH₄⁺. Un dégagement important d'azote sous forme d'émissions de NH₃ (section 6.2.7) peut expliquer une concentration moins importante dans le lisier, tandis que le taux d'humidité plus élevé favorise les bactéries qui produisent l'ion ammonium à partir de l'azote des déjections et de l'hydrogène de l'eau.

Une étude sur la caractérisation des effluents de poules (volume et éléments fertilisants) effectuée par Seydoux et al. (2006) sur 24 bâtiments d'élevage rapporte une masse volumique de 1,07 g cm⁻³, ce qui est comparable aux densités trouvées dans ce

projet. Ces mêmes auteurs notent également une teneur en matière sèche de 55 % dans le cas des fientes (gestions solide et sèche) et de 12 % dans le cas du lisier (gestion liquide). Or, ces valeurs diffèrent de celles présentées dans la présente étude.

Même si Fabbri et al. (2007) ont obtenu des taux de matière sèche (28 à 42 %) similaires à 44 % pour un système avec séchage à air forcé, ils considéraient ce résultat en deçà de ce qui était généralement obtenu avec cette méthode. En effet, le contenu en solides totaux des déjections produites sous gestion sèche devrait osciller entre 50 à 70 % (Groot Koerkamp, 1994), à l'instar de Lockyer et al. (1989), qui avaient enregistré une teneur de 61 % en matière sèche, ou même de Seydoux et al. (2006). À vrai dire, de tels niveaux auraient certainement pu être atteints. Effectivement, plusieurs pannes de courant survenues au cours des essais expérimentaux ont empêché les turbines de fonctionner normalement durant certaines périodes de moins de 24 heures. Ces périodes d'arrêt des systèmes de séchage ont certainement eu un effet sur les teneurs en matière sèche.

Des taux de matière sèche du lisier de 10 % avaient été obtenus en début d'élevage à la suite de l'addition d'eau aux déjections. Cependant, ils ont augmenté jusqu'à environ 30 % lors des semaines subséquentes, probablement en raison de fuites soupçonnées dans les préfosse sous les chambres. Ainsi, l'impossibilité de retenir l'eau a engendré un taux moyen de 25 %.

Ces divergences par rapport à la teneur en matière sèche peuvent aussi jouer sur la teneur en éléments fertilisants. En effet, le degré de dilution (gestion liquide) ou d'assèchement (gestions solide et sèche) influence grandement les teneurs des éléments, notamment ceux fortement liés à la matière sèche, tels le phosphore, le magnésium et, dans une moindre mesure, l'azote total. Cette interprétation peut certainement expliquer en partie les différences avec l'étude de Seydoux et al. (2006) qui ont obtenu des taux d'azote (1,11 à 1,5 g j⁻¹ poule⁻¹), de phosphore (0,42 à 0,48 g j⁻¹ poule⁻¹), de potassium (0,52 à 0,64 g j⁻¹ poule⁻¹) et de magnésium (0,13 à 0,134 g j⁻¹ poule⁻¹) inférieurs à ceux trouvés au cours de cette étude. En effet, l'échantillonnage de ces auteurs s'est effectué à partir des fosses d'entreposage où il est possible que la dilution ait influencé les mesures. Par ailleurs, les concentrations élevées en calcium (1,4 à 1,63 g j⁻¹ poule⁻¹) recensées par Seydoux et al. (2006) peuvent provenir des œufs déclassés pouvant être rejetés à la fosse.

6.2.5 Conditions environnementales

Les températures extérieures (12,4 °C pour l'essai 1 versus 22,3 °C pour l'essai 2) entre les deux élevages furent naturellement différentes en raison du changement de saison (mars à mai pour l'essai 1 versus juin à août pour l'essai 2). Cependant, les températures à l'intérieur des chambres furent essentiellement similaires, malgré une moyenne légèrement plus élevée pour l'essai 2 (22,1 °C pour l'essai 1 versus 22,4 °C pour l'essai 2; figure 13), indiquant un bon fonctionnement des unités de chauffage et de climatisation. L'humidité relative pour l'élevage 2 (47 %) fut clairement au-delà de celle de l'élevage 1 (34 %). Des températures plus chaudes et plus sèches lors du second élevage en sont la cause. Néanmoins, elles furent toutes deux sous les 60 % d'humidité recommandée par Lohmann Tierzucht GmbH (2003) et maintenue dans les bâtiments québécois de poules pondeuses (FPOCQ, 2009b). Malgré tout, cela ne devrait pas avoir affecté les résultats.

Les débits de ventilation mesurés étaient semblables entre les chambres d'un même élevage. Par contre, le débit moyen de l'élevage 2 a surpassé celui de l'élevage 1 (1,029 L s⁻¹ poule⁻¹ pour l'essai 1 versus 1,192 L s⁻¹ poule⁻¹ pour l'essai 2; figure 14) en raison des températures extérieures. Les écarts entre les débits minimum et maximum des élevages 1 et 2 étaient respectivement de 0,13 à 1,98 L s⁻¹ poule⁻¹ et de 0,54 à 3,00 L s⁻¹ poule⁻¹. Cela correspond globalement aux débits recommandés par la FPOCQ (2009b) de 0,23 L s⁻¹ poule⁻¹ (0,5 cfm poule⁻¹) en hiver et de 3,3 L s⁻¹ poule⁻¹ (7 cfm poule⁻¹).

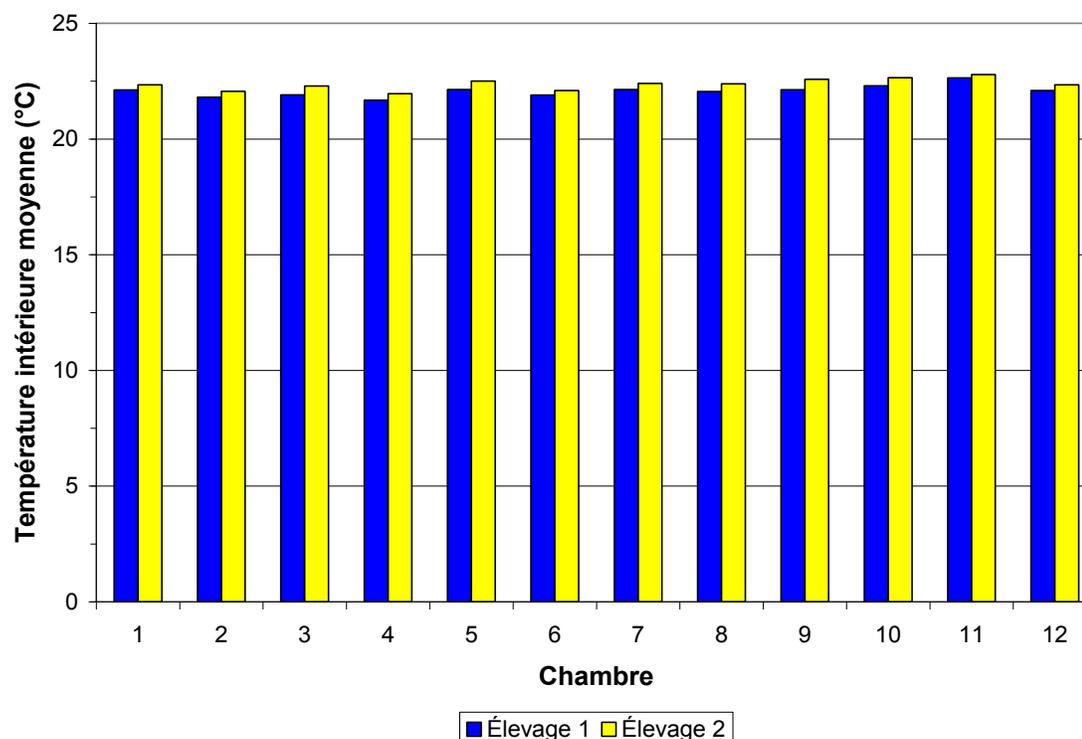


Figure 13. Températures moyennes des douze chambres lors des deux élevages

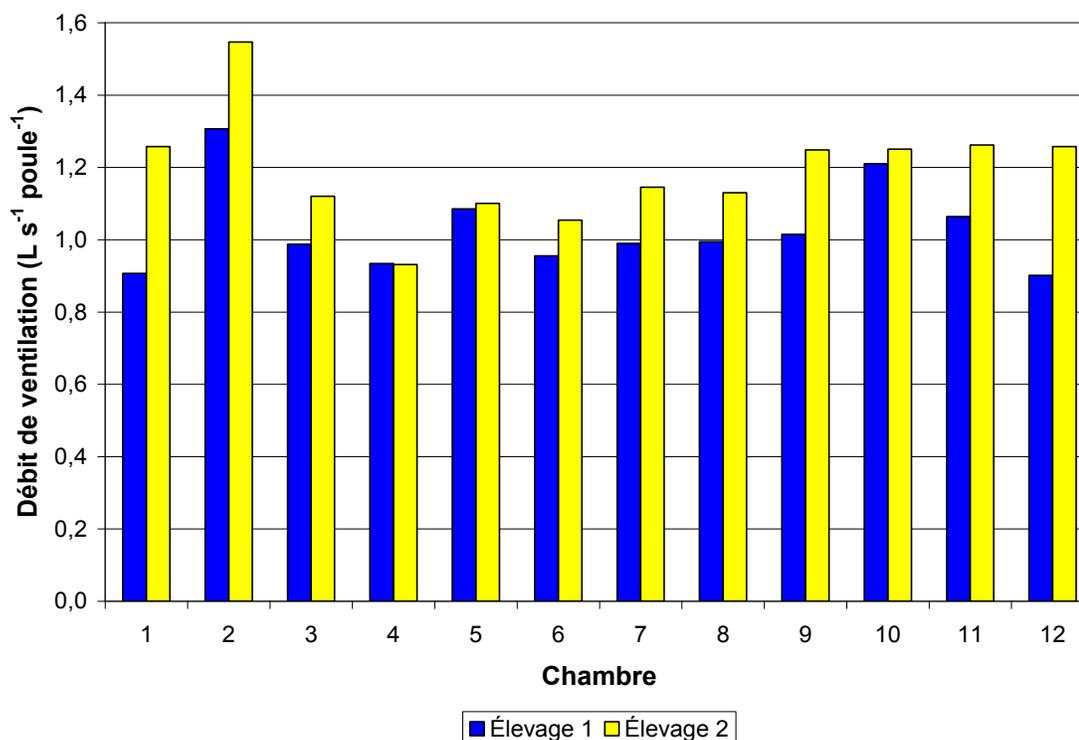


Figure 14. Débits moyens des douze chambres lors des deux élevages

6.2.6 Particules en suspension

Les concentrations de particules en suspension mesurées dans les mini-poulaillers étaient très faibles. Elles étaient toutes inférieures à $0,5 \text{ mg m}^{-3}$, largement sous la limite méthodologique de 10 mg m^{-3} .

Il n'est donc pas possible d'affirmer que la gestion des déjections sous une forme ou une autre entraîne une réduction des particules en suspension, même si au cours des deux élevages, la concentration des particules en suspension était supérieure dans les mini-poulaillers sous gestion liquide (tableau 16).

Tableau 16. Particules en suspension dans les mini-poulaillers

Mode de gestion des déjections	Particules en suspension (mg m^{-3}) ^[1]	
	Élevage #1	Élevage #2
Liquide	0,38 (0,05)	0,44 (0,08)
Solide	0,26 (0,03)	0,33 (0,07)
Séché	0,19 (0,02)	0,28 (0,04)

^[1] Écart-type entre parenthèses

6.2.7 Émissions d'ammoniac (NH₃)

Malgré des valeurs se situant entre 100 et 550 g an⁻¹ poule⁻¹ selon les semaines (moyenne de 389,30 g an⁻¹ poule⁻¹), les émissions de NH₃ provenant des salles en gestion liquide correspondent approximativement à l'ordre de grandeur fourni au tableau 2 pour des fientes stockées sous les cages, incluant les caves profondes. La présente étude a également obtenu de bons résultats en regard de la littérature en ce qui concerne les émissions de NH₃ provenant des gestions solide (moyenne de 31,95 g an⁻¹ poule⁻¹) et sèche (moyenne de 24,15 g an⁻¹ poule⁻¹). Dans les deux cas, ces taux d'émissions sont en dessous des valeurs moyennes trouvées dans la littérature pour des systèmes de cages à batterie sous lesquels se trouve une courroie mobile avec ou sans séchage à air forcé.

Cette réduction des émissions de NH₃ de l'ordre de 92 à 94 % des gestions solide et sèche provient du fait que les déjections n'étaient évacuées qu'à la toute fin des élevages, dans le cas de la gestion liquide. Ainsi, l'énorme différence entre les types de gestion est probablement le résultat de l'effet d'accumulation des fientes survenant sous gestion liquide. Cet effet d'accumulation est reconnu comme étant un paramètre important pouvant influencer l'émission de NH₃ (Groot Koerkamp et al., 1998), ce qui n'est pas le cas pour les gestions solide et sèche alors que la vidange s'effectuait deux fois par semaine. Quant à ces dernières, la réduction approximative de 24 % de la gestion sèche sur la gestion solide fut occasionnée par les équipements de séchage des fientes qui ont permis d'atteindre une teneur en matière sèche plus élevée, moins favorable au développement des microorganismes dégradant l'urée responsable du dégagement de NH₃.

L'analyse statistique a révélé une interaction traitement × semaine très significative ($P < 0,0001$), notamment en raison de l'effet d'accumulation en gestion liquide (figure 15). Le problème avec ce type de système, qui inclut entre autres les caves profondes, c'est qu'il garde justement les déjections pour de longues périodes au bâtiment et qu'elles demeurent humides (Nicholson et al., 2004). Or, plusieurs études (Groot Koerkamp, 1994; Liang et al., 2003 et 2004; Fabbri et al., 2007) affirment qu'un plus haut taux d'humidité augmente les émissions de NH₃. Correspondant à la disponibilité de l'eau pour les microorganismes des déjections, le taux d'humidité serait optimal pour la croissance microbienne entre 40 et 60 % (Groot Koerkamp, 1994).

Ce phénomène d'accumulation est d'autant plus visible lors des trois premières semaines alors que l'augmentation suit une trajectoire linéaire. Par contre, l'accroissement des émissions ralentit lors des semaines subséquentes pour suivre plutôt une courbe quadratique. Le même type de résultat a été noté par Liang et al. (2004) pour un système « high rise » avec stockage en cave profonde. En effet, les 25 premiers jours ont démontré que les émissions de NH₃ augmentaient linéairement dans le temps avec l'accumulation continue des déjections fraîches, après quoi le matériel enfoui plus profondément au centre du tas entrainé sous des conditions anaérobies, responsables du ralentissement des émissions de NH₃. Similairement, Groot Koerkamp (1994) a rapporté des émissions de NH₃ plusieurs fois supérieures de la part de systèmes alternatifs sur litière comparativement aux systèmes conventionnels en cages avec courroie mobile, en raison de la longue présence des déjections à l'intérieur des bâtiments. De façon générale,

Fabbri et al. (2007) affirment que les émissions de NH_3 augmentent de 30 à 40 % par jour tant et aussi longtemps que les déjections demeurent au bâtiment.

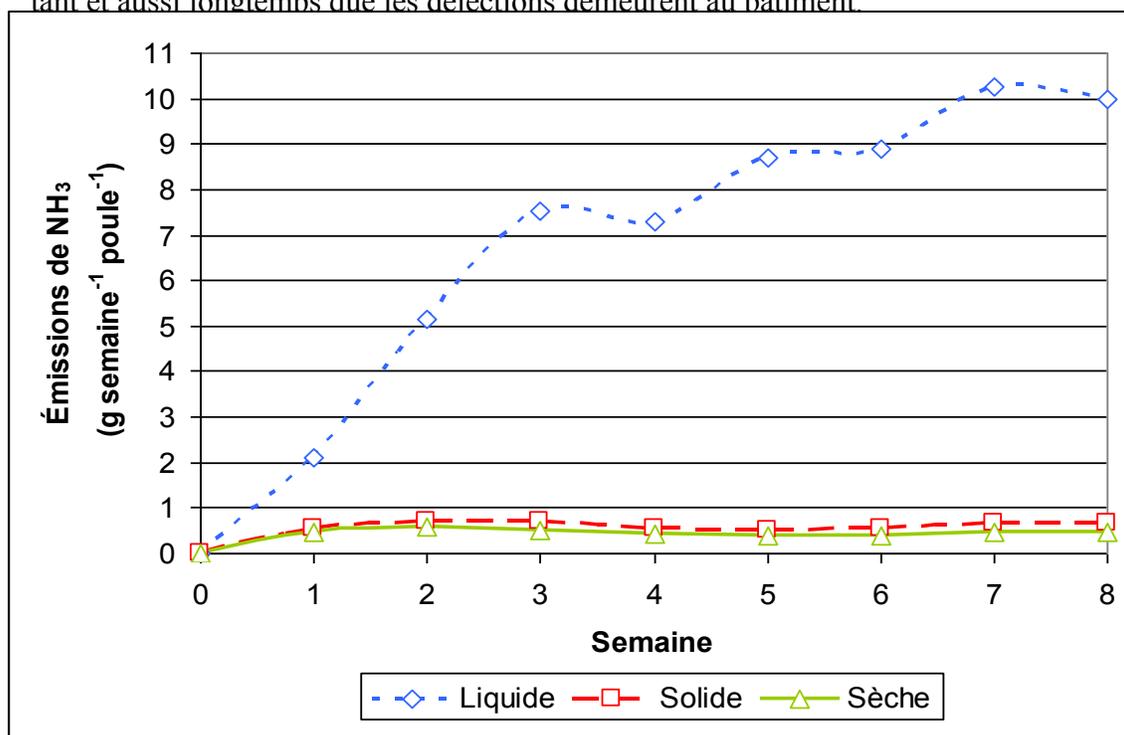


Figure 15. Émissions moyennes d'ammoniac pour les trois types de gestion en fonction de la semaine

Les réductions 73 à 95 % selon les semaines (figure 15) sont quelque peu supérieures à celles de Fabbri et al. (2007) et de da Borso et Chiumenti (1998). Les premiers ont obtenu une réduction de 61 % de l'ammoniac émis à l'atmosphère pour la gestion sèche (0,062 kg an⁻¹ poule⁻¹) par rapport à la gestion liquide en cave profonde (0,163 kg an⁻¹ poule⁻¹), tandis que le séchage a engendré un abattement de plus de 80 % pour les seconds par rapport à un système de cages en escalier permettant la tombée des fientes dans un caniveau d'où les déjections sont évacuées par pompage.

La figure 15 illustre aussi que les émissions de la gestion sèche demeurent toujours en deçà de celles de la gestion solide (entre 16 et 33 % de réduction selon les semaines), mais de façon significative ($P < 0,05$) seulement lors des semaines 3, 7 et 8. Plusieurs études (Kroodsma et al., 1988a; Lockyer et al., 1989; Groot Koerkamp, 1994; Groot Koerkamp et al., 1998; da Borso et Chiumento, 1998; Müller et al., 2003; Hayes et al., 2006; Fabbri et al., 2007; Roumeliotis et Van Heyst, 2008) ont statué que le séchage permettait d'obtenir des diminutions en ce qui a trait aux émissions de NH_3 . D'ailleurs, la moyenne des émissions ayant constitué le tableau 2 pour des fientes séchées à air forcé est pratiquement la moitié (34,29 g an⁻¹ tête⁻¹) de celle pour des fientes évacuées sur courroie sans séchage (66,99 g an⁻¹ tête⁻¹).

L'une des seules études comparatives a été celle de Kroodsma et al. (1988a). Ces auteurs ont trouvé une légère différence de 3 g an⁻¹ poule⁻¹ entre la gestion sèche (31 g an⁻¹ poule⁻¹) et la gestion solide (34 g an⁻¹ poule⁻¹). Cependant, les déjections étaient curées deux fois par semaine dans le cas de la gestion solide comparativement à une vidange

hebdomadaire pour la gestion sèche. Ainsi, une plus grande réduction aurait pu être atteinte pour une même fréquence de vidange puisqu'il y aurait une différence de 43 % entre un curage quotidien ($0,05 \text{ g j}^{-1} \text{ poule}^{-1}$) et bihebdomadaire ($0,088 \text{ g j}^{-1} \text{ poule}^{-1}$) pour un système de cages à batterie avec une vidange effectuée à l'aide d'une courroie mobile (Liang et al., 2004).

Quant aux valeurs allant de 54 à $440 \text{ g an}^{-1} \text{ tête}^{-1}$ pour des fientes stockées sous les cages incluant les caves profondes (Kroodsma et al., 1988b; Lockyer et al., 1989; Anonyme, 1991; Wathes et al., 1997; Groot Koerkamp et al., 1998; Nicholson et al., 2004; Fabbri et al., 2007; tableau 2), elles concordent avec celles obtenues lors de la présente étude. Seules les données ($53,61$ et $83 \text{ g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$, respectivement) tirées des expérimentations de Kroodsma et al. (1988b) et Nicholson et al. (2004) sont en dessous des taux d'émissions trouvés. Néanmoins, ces travaux ont expérimenté des systèmes légèrement différents des caves profondes conventionnelles. Dans le cas de Nicholson et al. (2004), les murs de la cave avaient été retirés pour permettre une circulation d'air, ce qui a engendré un certain séchage des déjections. Dans l'expérimentation de Kroodsma et al. (1988b), les fientes étaient simplement entreposées sous les cages.

6.2.8 Émissions de gaz carbonique (CO₂)

Les gestions liquide, solide et sèche ont émis respectivement $36\,033$, $28\,167$ et $28\,723 \text{ g CO}_2 \text{ an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$ (figure 16). Ainsi, la gestion liquide a généré 20 et 22 % plus de CO₂ que les gestions sèche et solide, bien que 96 % du CO₂ soit produit lors de la respiration des animaux (Marquis, 2002). Par conséquent, les différences significatives ($P = 0,0004$) entre les émissions de CO₂ des trois types de gestion peuvent être dues au 4 % restants attribuables à la décomposition des fumiers. Effectivement, l'ensemble des observations portent à croire que le stockage des fientes à l'intérieur des chambres en gestion liquide pour la durée totale de l'expérience a engendré une plus grande dégradation des fumiers sous forme d'émissions de CO₂. Ce résultat n'a pu être validé au travers de la littérature étant donné le peu de données à l'égard des émissions de CO₂ (tableau 2). Par contre, les quelques données disponibles indiquent que, peu importe le traitement, les émissions de CO₂ calculées sont similaires aux valeurs obtenues par Neser et al. (1997) et Wu-Haan et al. (2007) allant de $12\,614$ à $37,843 \text{ g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$.

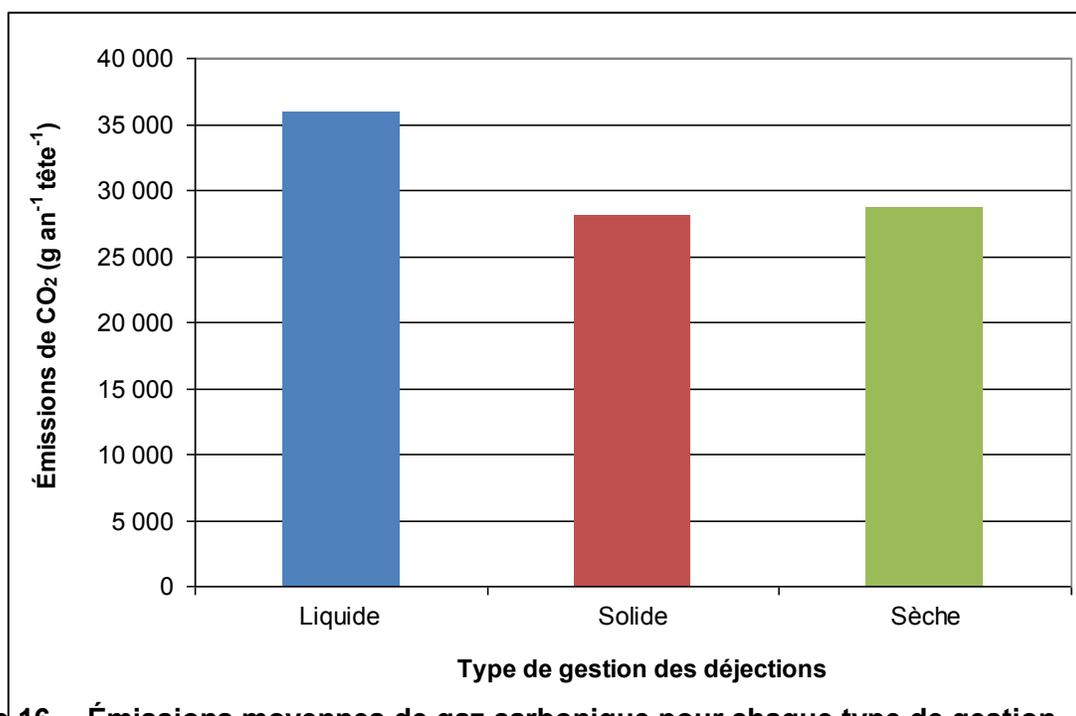


Figure 16. Émissions moyennes de gaz carbonique pour chaque type de gestion

6.2.9 Émissions de méthane (CH₄)

Les émissions de CH₄ des gestions liquide, solide et sèche furent de 31,64, 25,31 et 27,73 g an⁻¹ poule⁻¹ respectivement (figure 17). Ainsi, les gestions sèche et solide réduisent respectivement de 12 et 20 % l'émission de CH₄ par rapport à la gestion liquide conventionnelle. Comme le CH₄ est un produit de la digestion anaérobie des composés organiques compris dans les déjections (Chadwick et al., 1998; Laguë, 2003; Fabbri et al., 2007), la différence significative ($P= 0,0075$) entre les traitements révélée par l'analyse statistique provient de la présence accrue de conditions anaérobies en gestion liquide. D'abord, la gestion sous forme de lisier avec une basse teneur en matière sèche due à l'ajout d'eau favorise ce type de conditions. Puis, l'accumulation des fientes pendant la durée totale de l'expérimentation entraîne le développement de ces conditions à l'intérieur du tas créé par l'accumulation des déjections.

Les valeurs mesurées sont en accord avec celles de Wathes et al. (1997), Fabbri et al. (2007) et Wu-Haan et al. (2007) qui ont obtenu des émissions de CH₄ entre 28,94 et 32,56 g an⁻¹ poule⁻¹ pour des systèmes similaires en gestion sèche et liquide (tableau 2). Par contre, des taux d'émissions de près du double (56 g an⁻¹ poule⁻¹; tableau 2) furent observés par Groot Koerkamp et Uenk (1997), Hörnig et al. (2001) et Monteny et al. (2001). En ce qui concerne Hörnig et al. (2001), l'expérimentation faite à l'échelle de la ferme (plus de 20 000 poudeuses) a engendré de grandes variations à l'intérieur même du bâtiment d'élevage. De plus, de forts débits de ventilation durant l'expérience peuvent avoir influencé à la hausse les émissions, notamment en été alors que les émissions ont atteint jusqu'à 320 g an⁻¹ poule⁻¹. Par ailleurs, les facteurs d'émissions (tableau 2) définis par Environnement Canada (2010), IPCC (2006) et Safley et Casada (1992) devraient être révisés comme ils surpassent de beaucoup les valeurs obtenues dans la littérature.

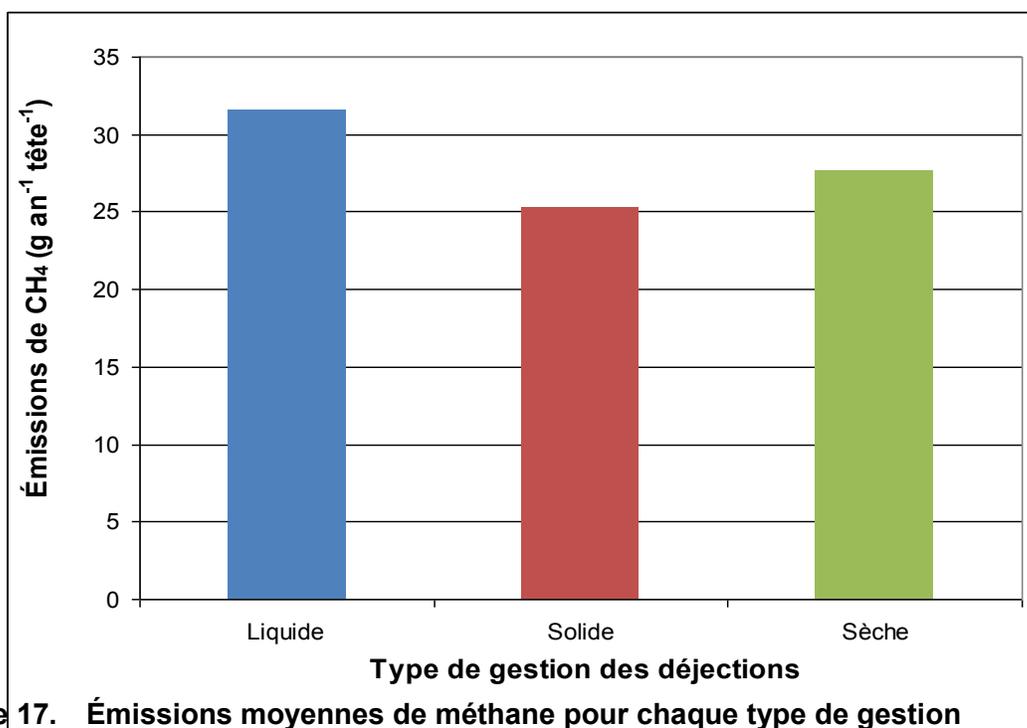


Figure 17. Émissions moyennes de méthane pour chaque type de gestion

6.2.10 Émissions de protoxyde d'azote (N₂O)

Les émissions de N₂O mesurées pour les gestions liquide, solide et sèche furent de 2,78, 2,60 et 2,48 g an⁻¹ poule⁻¹ (figure 18). Cela correspond à des réductions de 7 et 11 % de la part des gestions solide et sèche. Par contre, ces réductions ne sont que numériques alors que les émissions n'ont pas été jugées significativement différentes ($P = 0,3273$). La légère augmentation des émissions de la part de la gestion liquide pourrait s'expliquer par le temps de stockage des déjections plus long favorisant la dégradation du fumier en N₂O, tel que rapporté par Fabbri et al. (2007).

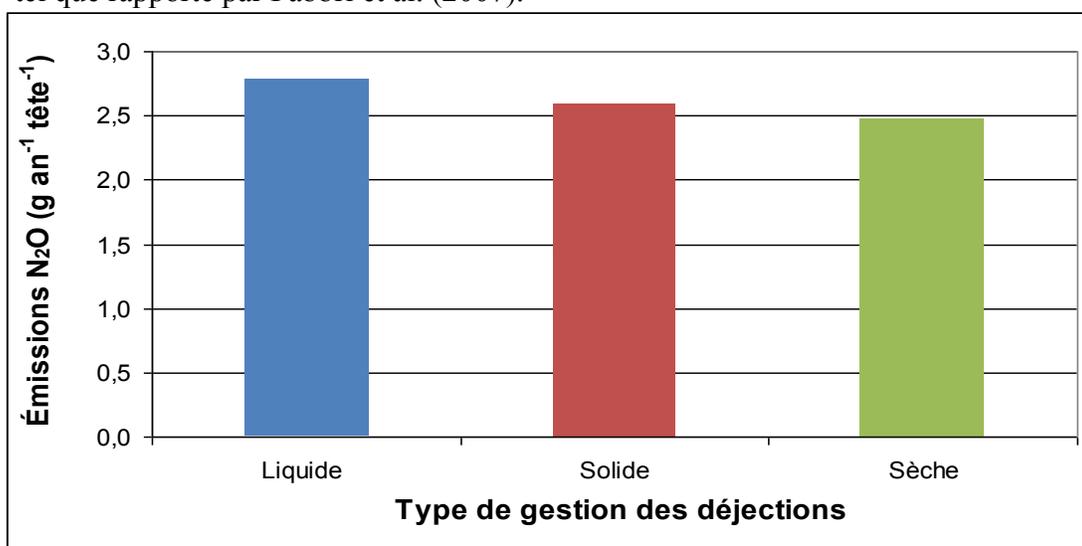


Figure 18. Émissions moyennes de protoxyde d'azote pour chaque type de gestion

Les valeurs obtenues sont près de la limite inférieure des émissions de N_2O (1 à 30 $g\ an^{-1}$ poule⁻¹; tableau 2) trouvées dans littérature (Sneath et al., 1996; Naser et al., 1997; Wathes et al., 1997; EPA, 2001). Ce résultat provient du fait que les concentrations en N_2O mesurées dans les chambres étaient la plupart du temps que légèrement au-dessus des concentrations dans l'air ambiant. Les mêmes observations furent établies par quelques auteurs (Wathes et al., 1997; Jungbluth et al., 2001; Fabbri et al., 2007) signifiant que les rejets de N_2O émis des bâtiments d'œufs de consommation doivent être jugés de façon critique puisqu'ils varient considérablement étant donné les faibles concentrations à partir desquelles les émissions sont mesurées. Même que dans certains cas, aucune émission significative n'a pu être enregistrée pour le N_2O puisque les valeurs sont trop près de zéro, autant pour des systèmes de gestion en cave profonde qu'avec séchage à air forcé (Fabbri et al., 2007). Cependant, en raison de leur potentiel sur le réchauffement climatique, même les plus infimes émissions de N_2O doivent être prises en compte.

6.2.11 Émissions d'odeurs

Les odeurs émises par les gestions liquide, solide et sèche furent respectivement de 0,2825, 0,1635 et 0,1775 $UO\ s^{-1}\ poule^{-1}$ (figure 19). Ainsi, les gestions sèche et solide réduisent significativement ($P < 0,001$) de 37 et 42 % l'émission d'odeurs provenant de la gestion liquide conventionnelle. Ces résultats concordent avec les conclusions de Müller et al. (2003), Navaratsanamy et Feddes (2004) et Hayes et al. (2006) qui expliquent qu'un plus grand taux d'humidité accroît les émissions d'odeurs, comme dans le cas de la gestion liquide. D'ailleurs, la moyenne d'émissions d'odeurs des systèmes à air forcé oscille à 0,2 $UO\ s^{-1}\ poule^{-1}$ (Ogink et Groot Koerkamp, 2001; Müller et al., 2003; tableau 2) comparativement à 0,5 $UO\ s^{-1}\ poule^{-1}$ pour tout autre type de gestion (Martinec et al., 1998; Ogink et Groot Koerkamp, 2001; Gay et al., 2003; Müller et al., 2003; Hayes et al., 2003 et 2006; Navaratsanamy et Feddes, 2004; tableau 2).

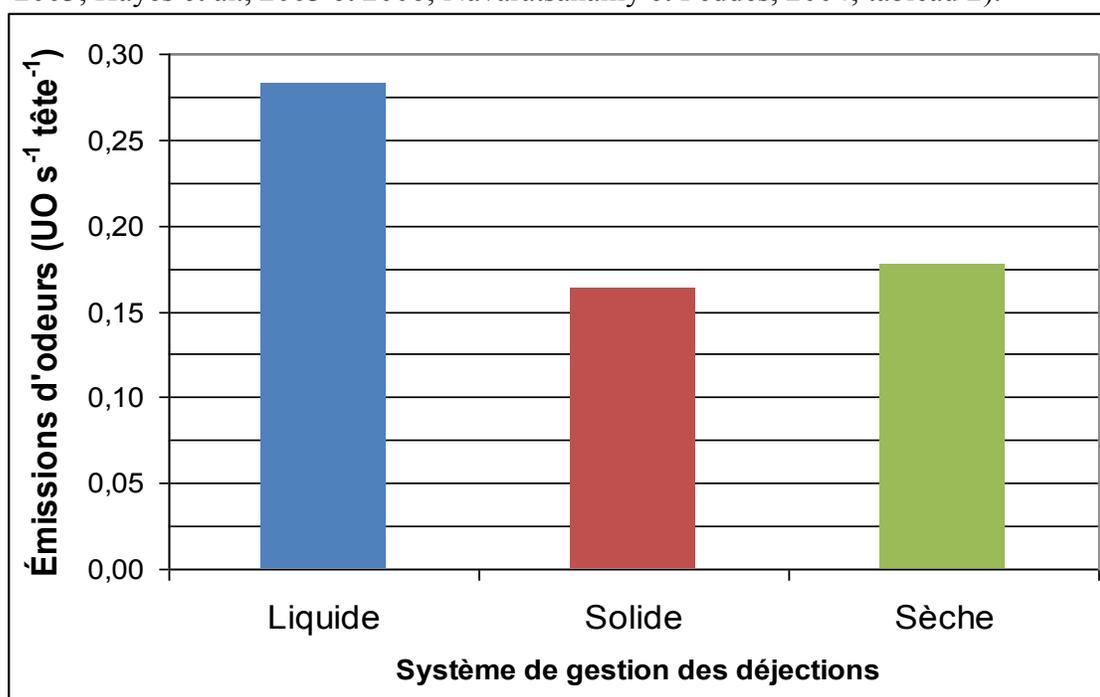


Figure 19. Moyennes géométriques des émissions d'odeurs pour chaque type de gestion

Une autre explication pour des émissions plus élevées du côté de la gestion liquide est donnée par Ogink et Groot Koerkamp (2001), Hayes et al. (2003) et Nimmermark et Gustafsson (2004) qui indiquent qu'une vidange régulière réduirait les émanations odorantes, voire jusqu'à 50 %, ce qui est pratiquement le cas des gestions solide et sèche avec une fréquence d'évacuation bihebdomadaire. Par ailleurs, quelques études (Ogink et Groot Koerkamp, 2001; Müller et al., 2003; Hayes et al., 2006; Nimmermark, 2011) avancent que les systèmes de séchage utilisés en gestion sèche permettent de diminuer les odeurs même si la présente expérience n'a révélé aucune différence significative ($P = 0,5896$) avec ou sans séchage.

6.2.12 Caractère hédonique

Les caractères hédoniques établis par le panel furent en moyenne de -2,07, -1,19 et -1,17 respectivement pour les gestions liquide, solide et sèche. Ces résultats équivalent à des réductions de 42 et 43 % des gestions solide et sèche comparativement à la gestion liquide. Comme l'interaction (traitement \times semaine) fut déclarée significative ($P < 0,0001$) par l'analyse statistique, la figure 20 illustre le caractère hédonique en fonction des semaines. Cette figure démontre que le caractère hédonique apparaît plus bas pour la gestion liquide, sauf pour la sixième semaine. Aucune explication logique ne permet d'expliquer le résultat obtenu. Aucune différence significative ($P = 0,9236$) ne fut trouvée entre les gestions sèche et solide.

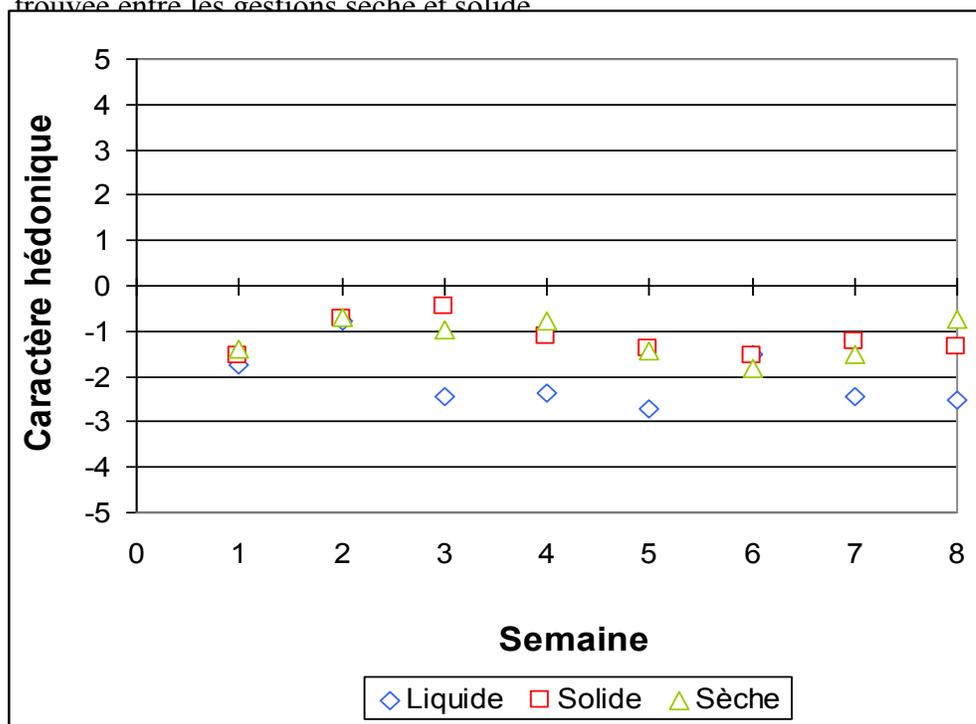


Figure 20. Caractère hédonique moyen pour chaque type de gestion au-delà des semaines

7 Mesure des émissions à l'entreposage

7.1 Matériel et méthodes

7.1.1 Bacs d'entreposage

Les déjections générées par les poules lors des élevages ont été entreposées après leur vidange dans des réservoirs en plastique de 1000 L (figure 21) disposés à l'extérieur, près du laboratoire BABE. Au total, six bacs ont été utilisés pour stocker les fientes pour chaque traitement et chaque élevage.



Figure 21. Bacs d'entreposage

7.1.2 Montage expérimental

Ces bacs ont ensuite été modifiés afin de permettre la prise des échantillons d'air qui serviront à déterminer les émissions. Pour ce faire, un système de ventilation a été mis au point afin de pouvoir établir un débit d'air dans lequel un échantillon pourra être prélevé. Les réservoirs ont donc été percés de trous de 15 cm (6 po) à leurs deux extrémités. Un réducteur fut ensuite fixé sur l'un des côtés de chaque bac afin d'y rattacher un ventilateur de 10 cm (4 po) de diamètre. Ce ventilateur faisait partie d'un montage mobile pouvant être déplacé d'un cube à l'autre. En fait, le ventilateur était rattaché à un conduit de 7,5 cm (3 po) sur lequel avait été installé un passe-paroi pour la prise d'échantillons à l'aide du poumon artificiel et d'un rotamètre afin de mesurer la vitesse de passage de

l'air. Ce dernier devait être situé dans les conduits à une distance de dix diamètres du ventilateur et à au moins cinq fois le diamètre avant la sortie de l'air. Lors des essais, une sonde était insérée dans le conduit afin de mesurer la température et l'humidité relative de l'air échantillonné. Le montage expérimental entier est présenté à la figure 22.

Au total, sept échantillons (6 bacs et air ambiant) furent prélevés par jour d'échantillonnage. La prise d'échantillons s'est déroulée entre juin 2010, moment de la fin de l'élevage 1, et avril 2011.

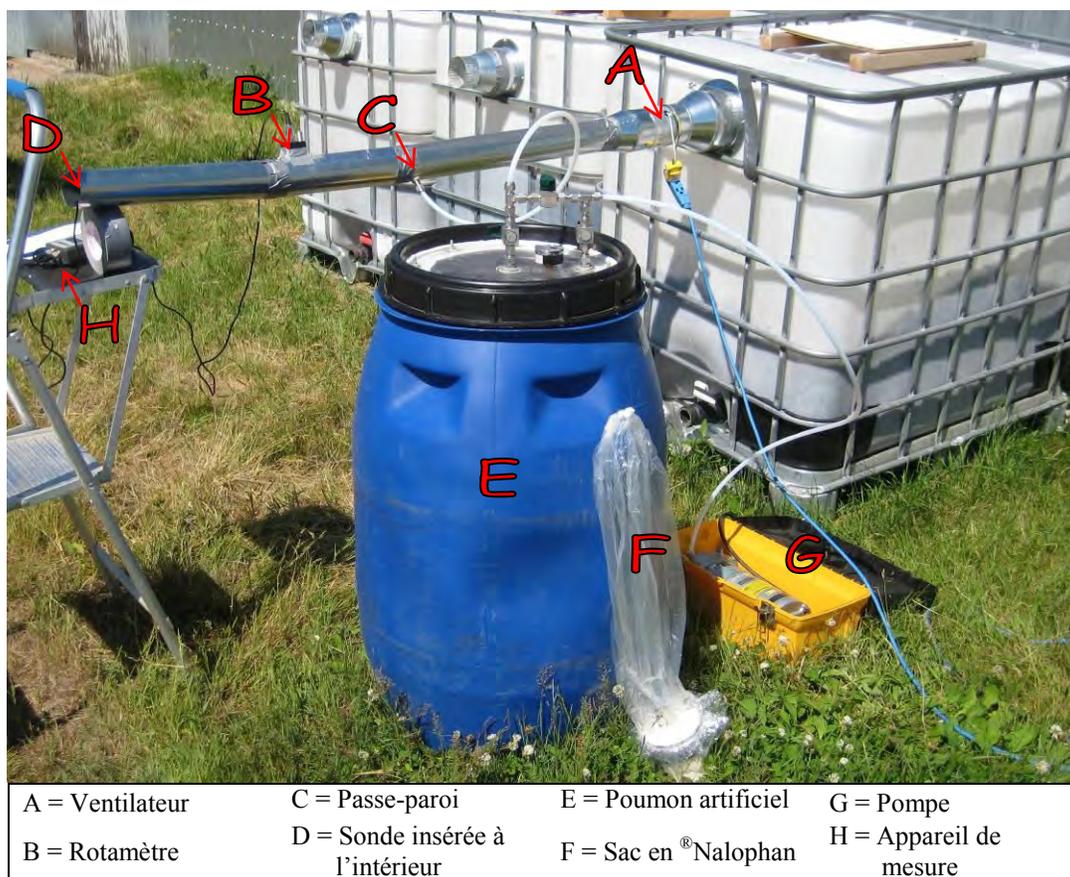


Figure 22. Montage expérimental pour l'échantillonnage des bacs d'entreposage

7.1.3 Concentrations et émissions de gaz

Les concentrations de GES ont été analysées en laboratoire à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse (GC; Varian, modèle 3600, Walnut Creek). La stratégie retenue pour l'analyse chromatographique a été la séparation des trois gaz sur des colonnes remplies de Porapak Q (Waters Corporation, USA). Le CH₄ a été quantifié avec un détecteur à ionisation de flamme (FID). Le CO₂ et le N₂O ont été mesurés avec un détecteur à capture d'électrons (ECD).

Pour ce qui est du NH₃, deux méthodes de mesure ont été employées. Dans un premier temps, les concentrations des échantillonnages réalisés à l'été ont été mesurées par spectroscopie non dispersive dans l'infrarouge (NDIR, Seimens, modèle Ultramat 6E, Munich, Allemagne, précision 1 %). Cependant, cet appareil s'est avéré défectueux après

la fin du deuxième élevage. Alors, la technique par barbotage a été utilisée lors des échantillonnages d'automne.

Cette technique consiste à faire passer un débit d'air connu (2 L min^{-1}) au travers d'une solution (300 mL) d'acide sulfurique (H_2SO_4) à une concentration de 0,1 N afin de capter le NH_3 . La concentration en NH_3 est ensuite évaluée grâce à la méthode de colorimétrie automatisée.



Figure 23. Captage de l'ammoniac par barbotage

Au printemps, l'analyse du NH_3 s'est à nouveau effectuée à l'aide du NDIR. Les erreurs instrumentales sur la mesure des concentrations de gaz sont présentées au tableau 5.

Les émissions de gaz sont ensuite calculées pour chaque échantillon en utilisant l'équation 6 :

$$E_{\text{gaz}} = (C_{\text{out}} - C_{\text{in}}) \times \frac{V \times 60 \times A}{N} \times \frac{P_{\text{atm}} - P_{\text{v}}}{287 \times T} \times \frac{M_{\text{gaz}}}{M_{\text{air}}} \times 1440 \quad (6)$$

où E_{gaz} représente l'émission du gaz correspondant dans un cube au moment d'échantillonnage ($\text{mg j}^{-1} \text{ tête}^{-1}$), C_{in} est la concentration du gaz concerné dans le bac (ppm_v), C_{out} désigne la concentration du gaz concerné dans l'air ambiant (ppm_v), V représente la vitesse moyenne de l'air dans les conduits durant une période d'échantillonnage ($\text{m}_{\text{air}} \text{ s}^{-1}$), 60 (s min^{-1}) est un facteur de conversion pour exprimer la vitesse en m min^{-1} , A est l'aire du conduit de 7,5 cm ($4,56 \times 10^{-3} \text{ m}^2$), N indique le nombre de poules pondeuses par chambre, P_{atm} et P_{v} sont respectivement la pression atmosphérique au niveau de la mer (101 325 Pa) et la pression de vapeur (Pa; équations 3 et 4), T correspond à la température dans le bac (K), M_{gaz} et M_{air} caractérisent les masses

molaires du gaz concerné et de l'air (g mol^{-1}) et 1440 (min j^{-1}) est un facteur de conversion.

7.2 Résultats et discussion

D'après plusieurs études (Groot Koerkamp, 1994; Pratt et al., 2002; Pelletier et al., 2003), la température joue un rôle important dans le dégagement de certains gaz (NH_3 , CH_4 , N_2O) provenant de déjections animales, particulièrement à l'entreposage. Ainsi, les émissions trouvées à l'entreposage pour chaque type de gestion et pour chaque gaz ont été mises en graphique en fonction de la température de l'air ambiant pour dégager les grandes tendances (figure 24). Dans chacun des cas, des équations ont pu être établies.

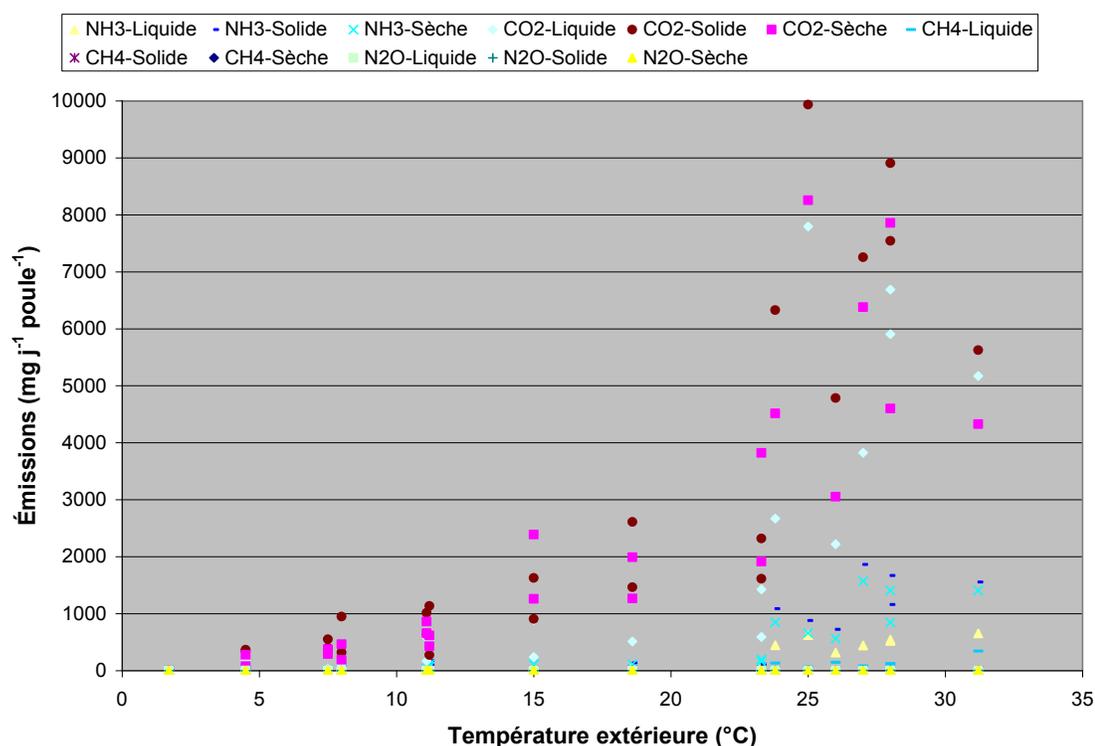


Figure 24. Émissions gazeuses à l'entreposage en fonction de la température extérieure

Dans le but de déterminer les émissions sur une base annuelle, les températures journalières de la région de Québec pour 2010 ont été répertoriées (Environnement Canada, 2011). Ces températures sont illustrées à la figure 25. Les projections quotidiennes d'émissions ont ensuite été calculées en introduisant ces températures dans les équations précédemment établies. Ainsi, en transposant les valeurs d'émissions obtenues chaque jour de l'année sur un graphique, il est possible de calculer les rejets annuels en mesurant par intégration l'aire sous la courbe du 13 avril au 10 novembre, considérant que les émissions sont nulles autrement, à cause de la présence du gel, tel qu'établi à partir des données présentées par Carrier et al. (1995) pour des structures d'entreposage de lisier de porcs.

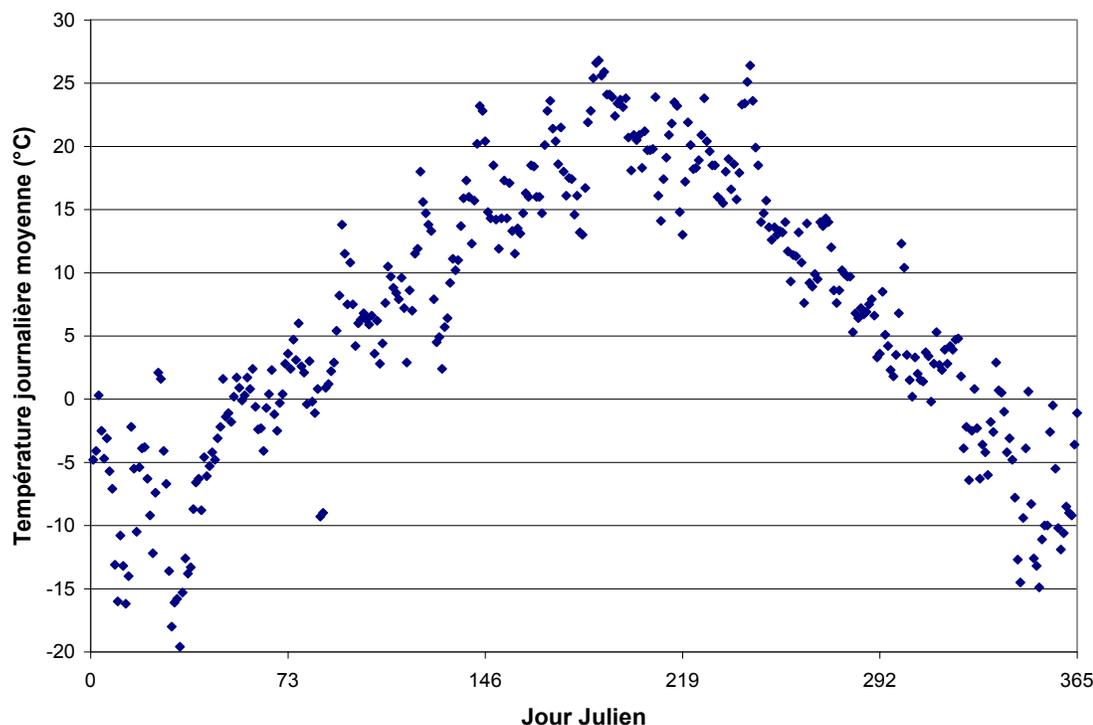


Figure 25. Températures quotidiennes pour la région de Québec en 2010

Le dégagement de NH_3 provenant des bacs stockant les fientes des gestions liquide, solide et sèche était de 19,65, 46,15 et 39,59 $\text{g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$. Les conditions anaérobies dans les réservoirs de lisier ont engendré une diminution de la moitié des émissions de NH_3 par rapport aux gestions solide et sèche. La teneur en matière sèche plus élevée des fientes sèches est sans doute la cause de la différence annuelle de 6,56 g avec les fientes solides. Les émissions de NH_3 mesurées correspondent à la gamme des valeurs retrouvées dans la littérature (5 à 200 $\text{g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$; tableau 3), peu importe le système de gestion des déjections. Dans le cas de la gestion sèche (39,59 $\text{g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$), le dégagement de NH_3 est inférieur aux 100 à 200 $\text{g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$ mesurés par Kroodsmas et al. (1988a). Par contre, ces dernières valeurs proviennent d'une simulation des émissions lors du compostage de fumier séché. Les 46,15 $\text{g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$ établis en gestion solide sont légèrement supérieurs aux 13 à 40 $\text{g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$ obtenus dans de pareilles conditions par Nicholson et al. (2004) et Li (2006). La gestion liquide a engendré des émissions correspondant à la moyenne de celles mesurées par un calculateur (6 à 30 $\text{g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$; AAC, 2003).

À l'entreposage, les gestions liquide, solide et sèche ont émis respectivement 213,59, 344,95 et 346,90 $\text{g CO}_2 \text{ an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$, ainsi que 4,71, 0,21, 0,06 $\text{g CH}_4 \text{ an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$. Encore une fois, les conditions anaérobies qui prévalent en gestion liquide ont incité un plus grand dégagement du carbone sous forme de CH_4 . À l'inverse, la majorité du carbone émis de la part des gestions solide et sèche fut sous forme de CO_2 .

Quant au N_2O émis, les valeurs trouvées furent relativement faibles à 0,03, 0,16 et 0,05 $\text{g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$ respectivement pour les gestions liquide, solide et sèche. Les conditions anaérobies en gestion liquide ont influencé à la baisse les émissions de N_2O , elles qui

s'approchent de la valeur zéro. Le taux d'humidité plus important des déjections provenant de la gestion solide par rapport à la gestion sèche semble avoir favorisé des phases de nitrification et de dénitrification puisque les émissions de N_2O sont trois fois supérieures. Néanmoins, ce résultat est encore loin du facteur d'émissions du EPA (2001) de $0,91 \text{ g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$.

Ainsi le tableau 17 présente les résultats des émissions à l'entreposage de NH_3 , de CO_2 , de CH_4 et de N_2O converties en $\text{g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$ provenant des fumiers générés lors des élevages au bâtiment. Ces émissions n'ont pu être analysées statistiquement puisqu'aucune vraie répétition n'a eu lieu. Malgré tout, les données obtenues servent à titre indicatif.

Tableau 17. Émissions à l'entreposage

Système de gestion des déjections	Émissions ($\text{g an}^{-1} \text{ poule}^{-1}$)			
	NH_3	CO_2	CH_4	N_2O
Liquide	19,7	213	4,71	0,03
Solide	46,2	345	0,21	0,16
Sèche	39,6	347	0,06	0,05

8 Évaluation et comparaison des émissions pour l'ensemble des activités de la ferme en fonction du mode de gestion des fumiers

8.1 Introduction

Cette section renferme la méthodologie et les résultats obtenus dans le but de répondre aux objectifs 3 et 4 du projet qui consistaient, pour chacun des modes de gestion, à évaluer théoriquement les émissions gazeuses lors de l'épandage des fumiers et à comparer les émissions gazeuses pour l'ensemble des activités de la ferme.

Une première version d'un outil informatique a été mise au point afin d'évaluer les émissions de gaz en fonction du mode de gestion des déjections implanté sur une ferme de production d'œufs de consommation.

8.2 Méthodologie

8.2.1 Frontières du système

Un schéma simplifié du cycle de vie de la production d'œufs de consommation a été élaboré pour identifier les processus ayant une influence sur les émissions gazeuses à la ferme. Le schéma est présenté à la figure 26. Les processus dont les émissions sont comptabilisées dans le modèle sont ceux dont les émissions sont influencées par le mode de gestion du fumier. Par exemple, la production de la moulée et l'élevage des poulettes ne sont pas comptabilisés puisque ces processus ne sont pas influencés par le mode de gestion des fumiers à l'intérieur du poulailler.

8.2.2 Ferme type

Les émissions ont été évaluées pour les trois modes de gestion du fumier sur une ferme possédant 45 000 poules pondeuses. Les trois modes de gestion produisaient la même quantité de phosphore à épandre. Le fumier produit sur la ferme a été épandu suivant un plan de fertilisation basé sur le phosphore. Le sol de la ferme était un limon moyennement riche en phosphore et en potassium.

Les superficies en culture étaient réparties approximativement de la façon suivante : maïs-grain (50 %), soya (20 %), orge (10 %), blé (10 %) et avoine (10 %). La teneur en eau du maïs-grain à la récolte était de 30 % et celle des autres cultures était de 20 %. Toutes les cultures étaient séchées dans un séchoir fonctionnant au propane jusqu'à une teneur en eau de 14 %.

8.2.3 Données d'émissions

Émissions au bâtiment et à l'entreposage

Les émissions de gaz produites par les poules à l'intérieur du bâtiment, en fonction du mode de gestion du fumier, ainsi que les émissions produites lors de l'entreposage sont tirées des résultats obtenus dans le projet.

Les valeurs de consommation d'énergie au bâtiment (électricité et propane) sont tirées de l'AGDEX 451/821a (CRAAQ, 2007).

Émissions au champ suivant l'épandage de fumier et d'engrais

Le calcul des émissions de GES au champ après l'épandage de fumier et d'engrais est basé sur la méthodologie présentée à l'annexe 3 du *Rapport d'inventaire national 1990-2008 – sources et puits de gaz à effet de serre au Canada* (Environnement Canada, 2010) et dans Rochette et al. (2008). Le calcul inclut les émissions directes à la suite de l'épandage de fumier et d'engrais synthétiques azotés, la décomposition des résidus de récolte et les émissions indirectes suivant la volatilisation et le redépôt de l'azote ainsi que le lessivage et le ruissellement de l'azote. Les facteurs utilisés sont adaptés pour les conditions climatiques et les conditions de sols spécifiques au Québec.

Les facteurs d'émissions de NH_3 lors de l'épandage de fumier et d'engrais sont tirés de Rochette et al. (2009a et b).

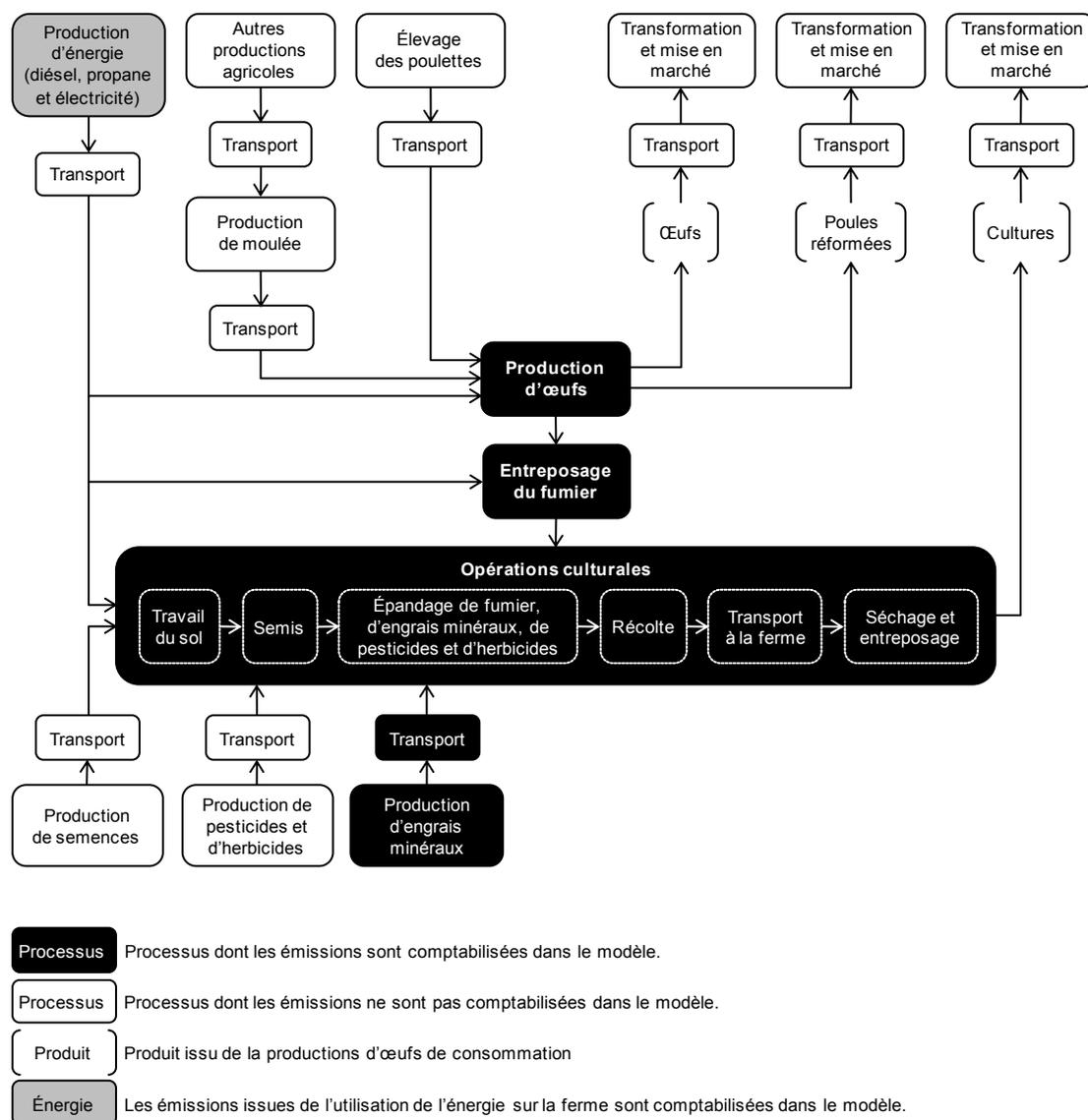


Figure 26. Schéma simplifié du cycle de vie de la production d'œufs de consommation

Émissions associées à la consommation d'énergie lors des opérations culturales

Les données de consommation de carburant lors des opérations culturales, en fonction des cultures et des types de sol, sont tirées de l'AGDEX 451/825 (CRAAQ, 2011a). Six cultures ont été considérées dans le développement du chiffrier Excel : avoine, blé, canola, maïs-grain, orge et soya. Les opérations culturales considérées sont les suivantes : labour, cultivateur, épandage d'engrais, chargement et épandage du fumier, semis, pulvérisation d'herbicides et/ou de pesticides, sarclage, andainage, battage et transport des récoltes à la ferme.

La consommation d'énergie lors du séchage et de l'entreposage des cultures a été établie à partir des AGDEX : 732/821a (CRAAQ, 2009a), 732/821b (CRAAQ, 2009b), 736 (CRAAQ, 2010a), 111/821b (CRAAQ, 2010b), 112/821b (CRAAQ, 2010c), 113/821a (CRAAQ, 2010d), 114/821 (CRAAQ, 2010e), 114/821a (CRAAQ, 2010f) et 149/821 (CRAAQ, 2011b).

Les valeurs de consommation d'énergie lors du séchage et de l'entreposage des cultures sont tirées de l'AGDEX 451/821a (CRAAQ, 2007).

Les émissions associées à la fabrication et au transport des engrais minéraux sont tirées de la revue de littérature présentée par Snyder et al. (2009).

8.3 Résultats et discussion

Le total des émissions de GES produites sur et à l'extérieur de la ferme est de 712 tonnes CO₂e an⁻¹ lorsque le fumier est géré de façon liquide, de 691 tonnes CO₂e an⁻¹ lorsque le fumier est géré de façon solide, de 690 tonnes CO₂e an⁻¹ lorsque le fumier est séché. Les détails concernant les résultats d'émissions de GES pour les trois modes de gestion du fumier sont présentés au tableau 18. Les données utilisées et les résultats complets de la simulation réalisée avec le chiffrier développé sont présentés à l'Annexe B.

Tableau 18. Résultats des émissions de GES des trois modes de gestion du fumier d'une ferme de production d'œufs de consommation

Mode de gestion du fumier au bâtiment	Émissions sur le site de la ferme					Émissions à l'extérieur de la ferme			Total des émissions pour le mode de gestion du fumier
	Bâtiment (poulailler)	Entreposage du fumier	Opérations culturales	Consommation d'énergie fossile	Sous-total des émissions sur le site de la ferme	Consommation d'électricité	Production et transport des engrais minéraux	Sous-total des émissions à l'extérieur de la ferme	
Tonnes CO ₂ e an ⁻¹									
Liquide	66	14	363	187	630	0,3	82	82	712
Solide	57	17	369	185	629	0,3	62	63	691
Sèche	58	16	370	184	628	0,3	62	62	690

La légère différence entre la gestion liquide et les deux autres modes de gestion provient de la production et du transport des engrais minéraux. Les pertes d'azote au bâtiment, sous forme d'émissions de NH_3 , sont plus importantes en gestion liquide qu'en gestion solide. Il faut donc augmenter les doses d'engrais minéral azoté pour répondre au besoin des cultures.

Les résultats d'émissions de NH_3 sont présentés au tableau 19. Le total des émissions de NH_3 produites sur la ferme est de 36 783 $\text{kg NH}_3 \text{ an}^{-1}$ lorsque le fumier est géré de façon liquide, de 21 856 $\text{kg NH}_3 \text{ an}^{-1}$ lorsque le fumier est géré de façon solide, de 21 230 $\text{kg NH}_3 \text{ an}^{-1}$ lorsque le fumier est séché.

Tableau 19. Résultats des émissions de NH_3 des trois modes de gestion du fumier d'une ferme de production d'œufs de consommation

Mode de gestion du fumier au bâtiment	Émissions sur le site de la ferme			Total des émissions pour le mode de gestion du fumier
	Bâtiment (poulailler)	Entreposage du fumier	Opérations culturales	
	kg NH_3 /an			
Liquide	16 709	843	19 231	36 783
Solide	1 371	1 981	18 504	21 856
Sèche	1 037	1 699	18 494	21 230

La différence majeure entre les trois modes de gestion se situe au bâtiment. Sous gestion liquide, le bâtiment émet 16 709 $\text{kg NH}_3 \text{ an}^{-1}$, alors qu'il émet 1 371 et 1 037 $\text{kg NH}_3 \text{ an}^{-1}$ sous gestion solide et sèche.

9 Conclusions et recommandations

Au cours de la dernière décennie, la production d'œufs de consommation a connu une transition de son principal mode de gestion des déjections. En effet, en 1998-99, la gestion liquide représentait 90 % des quotas de poules pondeuses et environ 36 % en 2006. La gestion solide et sèche représentait alors environ 8 % des quotas. Aujourd'hui, l'ensemble des gestions solide et sèche atteint 63 % des quotas.

Afin de s'assurer que ce virage ait les effets positifs attendus sur l'environnement, la FPOCQ a mandaté l'IRDA pour réaliser une étude permettant de quantifier les émissions de gaz et d'odeurs issues de différents modes de gestion des déjections en production d'œufs de consommation pour l'ensemble des activités reliées à ce type d'élevage (bâtiment, entreposage, épandage et opérations culturales). L'objectif général du projet était de doter les intervenants en production d'œufs de consommation d'une source d'information fiable leur permettant de connaître l'impact sur les gaz et les odeurs de différents systèmes de gestion des déjections.

Le projet comportait quatre objectifs spécifiques dont le premier consistait à établir les scénarios typiques de gestion. À l'aide d'un comité réunissant des intervenants de différents organismes publics et privés, trois scénarios ont été développés, soit la gestion liquide, la gestion solide et la gestion sèche. Ces scénarios représentent presque l'ensemble des types de systèmes de production québécois.

Dans le cadre du second objectif spécifique, une expérimentation réalisée dans un laboratoire spécialisé comportant 12 chambres identiques et indépendantes a permis de quantifier les émissions gazeuses et odorantes au bâtiment. Selon les résultats, les émissions les plus faibles sont enregistrées avec la gestion sèche du fumier permettant une réduction des émissions de NH_3 pouvant atteindre 94 % en moyenne par rapport à la gestion liquide. Donc, il apparaît qu'une gestion solide ou sèche permet de réduire de façon importante les émissions issues du bâtiment.

L'analyse théorique basée sur l'analyse de cycle de vie (objectifs 3 et 4) a permis de compiler toutes les émissions pour l'ensemble de la chaîne de gestion incluant le bâtiment, l'entreposage et les champs. L'analyse démontre que sur l'ensemble des chaînes, les émissions de GES sont presque similaires et que le bilan global est très sensible aux émissions issues des activités culturales. Par conséquent, il semble qu'il soit difficile de conserver les acquis au bâtiment. Les émissions au champ sont en lien avec les quantités d'azote et de phosphore épandues qui sont pratiquement identiques pour les trois modes de gestion des fumiers.

Selon l'ensemble des résultats de la présente étude, il apparaît évident que la transition de la gestion liquide à la gestion solide ou sèche permet un gain sur la qualité de l'air favorisant entre autres le bien-être des travailleurs et des animaux. De plus, les gestions solide et sèche entraînent une consommation alimentaire plus faible pour une production d'œufs similaire à la gestion liquide. Ceci suggère que la gestion solide ou sèche pourrait entraîner des gains environnementaux et permettre une réduction des coûts de production. Ces observations sont à valider puisqu'elles n'ont pas été répertoriées ailleurs. Ces gains environnementaux pourraient permettre de démarquer de manière importante les bienfaits sur l'environnement de la gestion solide ou sèche.

Quoique complète, l'analyse globale des émissions de GES dans ce projet ne permet pas de mettre pleinement en valeur l'ensemble des gains environnementaux majeurs telles l'eutrophisation et l'acidification.

Considérant les gains importants apportés au bien-être des travailleurs et des animaux, la réduction des odeurs, la valeur agronomique ajoutée des déjections, la gestion sèche ou solide devrait être préconisée dans le développement de la filière de production d'œufs de consommation. Afin de combler les lacunes environnementales de la gestion sèche ou solide et pour augmenter les gains environnementaux, il est recommandé de :

- développer des techniques de gestion pour réduire les émissions à l'entreposage;
- développer des techniques d'épandage pour réduire les impacts de cette pratique puisque les émissions au champ représentent environ 50 % des émissions totales à la ferme;
- réaliser un bilan technico-économique afin de quantifier l'impact sur le coût de production de la gestion solide ou sèche des déjections.

Finalement, afin de faire valoir publiquement le bienfait de la saine gestion environnementale des déjections, il est fortement recommandé de compléter l'analyse globale afin d'incorporer les autres catégories d'impacts dans le bilan. Cette dernière étude devrait permettre de démontrer clairement que la production d'œufs de consommation est l'une des productions les plus durables et de développer une image de marque spécifique pour faire reconnaître ce bilan positif.

10 Références

- AAC. 2010. Marché de la volaille : coup d'œil sur l'industrie ovicole du Canada. Agriculture et Agroalimentaire Canada (en ligne) http://www.agr.gc.ca/poultry/gleg_fra.htm. Page consultée le 12 août 2010.
- AAC. 2008. L'industrie de l'agriculture, des aliments et des boissons : l'industrie ovicole (en ligne) <http://www.ats.agr.gc.ca/pro/3300-fra.htm>. Page consultée le 2 septembre 2010.
- AAC. 2003. Farm ammonia emissions calculator. Version 1.0. 21 novembre 2003. Agriculture et Agroalimentaire Canada.
- AAC. 1998. Stratégie de recherche sur la gestion du lisier de porc au Canada. A42-77. Ottawa, Canada : Direction générale de la recherche. Agriculture et Agroalimentaire Canada (en ligne) <http://dsp-psd.tpsgc.gc.ca/Collection/A42-77-1998F.pdf>. Consulté le 6 mai 2011.
- AAC. 1990. Une étude pour la gestion du fumier de volaille : Directions pour l'avenir. Agriculture et Agroalimentaire Canada. Section de la volaille. Le 17 août 1990. 58 pages.
- Anonyme. 1991. Richtlijn ammoniak en veehouderij; Richtlijn in het kader van de Hinderwet (Directive on ammonia emissions from livestock husbandry). Ministerie van LNV and Ministerie van VROM, 's Gravenhage, The Netherlands, 36 p. Dans : Groot Koerkamp, P.W.G. 1994. Review on emissions of ammonia from housing systems for laying hens in relation to sources, processes, building design and manure handling. *Journal of agricultural engineering* 59:73-87.
- ASAE. 2003. ASAE Standards & Standards Engineering Practices Data. 50th edition. St. Joseph, MI: ASAE. American Society of Agricultural Engineers.
- Atmosphere. 2010. VTX 400 (en ligne) <http://atmosphere.com/>. Page visited on November 26, 2010.
- Bellarby, J., B. Foerid, A. Hastings et P. Smith. 2008. Cool farming: Climate impacts of agriculture and mitigation potential. Campaigning for Sustainable Agriculture. Greenpeace International. Amsterdam. Pays-Bas. 43 p.
- Carrier, D., S. Godbout, S.P. Lemay, A. Marquis et R. Joncas. 1995. Modélisation de l'épaisseur de glace dans les fosses à lisier. *Canadian Agricultural Engineering*. 37(4) : 327-333.
- Casey, K.D., J.R. Bicudo, D.R. Schmidt, A. Singh, S.W. Gay, R.S. Gates, L.D. Jacobson et S.J. Hoff. 2006. Air quality and emissions from livestock and poultry production/waste management systems. P. 1-40 in *Animal Agriculture and the Environment: National Center for Manure and Animal Waste Management White Papers*. J.M. Rice, D.F. Caldwell, F.J. Humenik, eds. 2006. St. Joseph, Michigan: ASABE. Publication Number 913C0306.
- CEN. 2003. Air quality & Determination of odour concentration by dynamic olfactometry. Standard No EN 13725: 2003 F, April. Communauté européenne de normalisation, 65 pages.
- Chadwick, D.R., R.W. Sneath, V.R. Phillips et B.F. Pain. 1999. A UK inventory of nitrous oxide emissions from farmed livestock. *Atmospheric Environment* 33(20): 3345-3354.

- Chadwick, D.R., B.F. Pain, R.W. Sneath et V.R. Phillips. 1998. Methane and nitrous oxide emissions from UK agricultural livestock. Proceedings of the 8th International Conference of the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture. 279-291. Rennes. France. May 26-29.
- Copeland, C. 2009. Air quality issues and animal agriculture: A primer. Report RL-32948. CRS Report for Congress, Washington, États-Unis (en ligne)
<http://www.nationalaglawcenter.org/assets/crs/RL32948.pdf>. Page consultée le 20 mai 2010.
- Côté, D. 2005. Guide de conception des amas de fumier au champ. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. Québec, Canada : Direction de l'environnement et du développement durable, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.
- CRAAQ. 2011a. Machinerie Ré Coûts d'utilisation et taux à forfait suggérés. AGDEX 451/825. 24 pages.
- CRAAQ. 2011b. Canola Ré Budget à l'hectare. AGDEX 149/821. 6 pages.
- CRAAQ. 2010a. Séchage des grains Ré Données techniques. AGDEX 736. 6 pages.
- CRAAQ. 2010b. Maïs-grain Ré Budget à l'hectare. AGDEX 111/821b. 6 pages.
- CRAAQ. 2010c. Blé d'alimentation animale Ré Budget à l'hectare. AGDEX 112/821b. 6 pages.
- CRAAQ. 2010d. Avoine d'alimentation animale Ré Budget à l'hectare. AGDEX 113/821b. 6 pages.
- CRAAQ. 2010e. Soya Ré Budget à l'hectare. AGDEX 114/821. 6 pages.
- CRAAQ. 2010f. Orge d'alimentation animale Ré Budget à l'hectare. AGDEX 114/821a. 6 pages.
- CRAAQ. 2009a. Orge en silo à grain Ré Frais d'entreposage et de reprise. AGDEX 732/821a. 4 pages.
- CRAAQ. 2009b. Maïs-grain en silo à grain Ré Frais d'entreposage et de reprise. AGDEX 732/821b. 4 pages.
- CRAAQ. 2007. Œufs de consommation Ré Budget. AGDEX 451/821a. 9 pages.
- CSE. 2000. Les risques à la santé associés aux activités de production animale du Québec. Document de référence. Québec. Ministère de la Santé et des Services sociaux. Comité de santé environnementale du Québec.
- da Borso, F et R. Chiumenti. 1998. Poultry housing and manure management systems : recent developments in Italy as regards ammonia emissions. Proceedings of the 8th International Conference of the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture, 15-21. Rennes, France. May 26-29.
- Demmers, T.G.M., M.G. Hissink et G.H. Uenk. 1992. Het drogen van pluimveemest in een droogtunnel en het effect hiervan op de ammoniakemissie (The drying of poultry manure in a drying tunnel and the effect on ammonia emission). Rapport 92-6. Wageningen, Pays-Bas: IMAG-DLO. In: Groot Koerkamp, P.W.G. 1994. Review on emissions of ammonia from housing systems for laying hens in relation to sources, processes, building design and manure handling. Journal of agricultural engineering. 59:73-87.

- Douglas Kreis, R. 1978. Limiting the environmental impact of animal production odors. *Environmental International*. 1:247-275.
- Earth Tech. Inc. 2001. Final technical work paper for human health issues. Animal agriculture GEIS. Minnesota Planning: Minnesota, United States.
- Environnement Canada. 2011. Données climatiques. Disponible en ligne à : http://climate.weatheroffice.gc.ca/climateData/canada_f.html.
- Environnement Canada. 2010. Rapport d'inventaire national 1990-2008 : Sources et puits de gaz à effet de serre au Canada. 631 pp (en ligne) <http://www.ec.gc.ca>. Page consultée le 16 juin 2010.
- EPA. 2001. Emissions from animal feeding operations. Environmental Protection Agency. Draft Report N° 68-D6-0011. Research Triangle Park, Caroline du Nord: Emission Standards Division, Office of air quality planning and standards.
- Fabbri, C., L. Valli, M. Guarino, A. Costa et V. Mazzotta. 2007. Ammonia, methane, nitrous oxide and particulate matter emissions from two different buildings for laying hens. *Biosystems Engineering* 97: 441-455.
- Farmer Automatic. 2010. Multi-Deck system layer cage (en ligne) <http://www.farmerautomaticcanada.com/?lang=en>. Page consultée le 24 août 2010.
- FPOCQ. 2010. Communication personnelle. Fédération des producteurs d'œufs de consommation du Québec. 3 novembre 2010.
- FPOCQ. 2009a. Rapport annuel 08-09. Fédération des producteurs d'œufs de consommation du Québec (en ligne) <http://www.oeuf.ca/publications/nouveautes/>. Page consultée le 18 mai 2010.
- FPOCQ. 2009b. Communication personnelle. Fédération des producteurs d'œufs de consommation du Québec. Rencontre du 30 juin 2009 à Longueuil au siège de l'UPA.
- FPOCQ. 2007. Communication personnelle. Fédération des producteurs d'œufs de consommation du Québec. Dans : Hamelin, L., F. Pelletier et S. Godbout. Impacts environnementaux, économiques et sociaux des différentes chaînes de gestion des déjections des poules pondeuses. Volet I. Revue de littérature. IRDA. 61 pages.
- FPOCQ. 2001. Le plan d'action en agroenvironnement Œufs de consommation. Fédération des producteurs d'œufs de consommation du Québec (en ligne) <http://www.oeuf.ca/publications/nouveautes/>. Page consultée le 12 août 2010.
- FPOCQ. 2000. Le portrait agroenvironnemental des fermes avicoles du Québec Œufs de consommation. Fédération des producteurs d'œufs de consommation du Québec (en ligne) <http://www.oeuf.ca/publications/nouveautes/>. Page consultée le 18 mai 2010.
- Galloway, J.N., F.J. Dentener, D.G. Capone, E.W. Boyer, R.W. Howarth, S.P. Seitzinger, G.P. Asner, C.C. Cleveland, P.A. Green, E.A. Holland, D.M. Karl, A.F. Michaels, J.H. Porter, A.R. Townsend et C.J. Vörösmarty. 2004. Nitrogen cycles : past, present, and future. *Biogeochemistry*. 70:153-226.

- Gay, S.W., D.R. Smith, C.J. Clanton, K.A. Janni, L.D. Jacobson et S. Weisburg. 2003. Odor, total reduced sulfur and ammonia emissions from animal housing facilities and manure storage units in Minnesota. *American Society of Agricultural Engineers*. Vol. 19(3): 347-360.
- Godbout, M. 2010. Communication personnelle. 15 mars 2010.
- Godbout, S., F. Pelletier, L. Hamelin, S.P. Lemay, M. Belzile, M.R. Laverdière, C. Côté, M. Giroux, F. Pouliot et S. Quessey. 2008. Problématiques environnementales émergentes en production animale. Colloque en agroenvironnement : Le respect de l'environnement : tout simplement essentiel ! Drummondville, 27 novembre 2008. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). Agri-réseau : (en ligne) http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/Godbout_Stephane_AR.pdf. Page consultée le 4 juin 2010.
- Groot Koerkamp, P.W.G. 1994. Review on emissions of ammonia from housing systems for laying hens in relation to sources, processes, building design and manure handling. *Journal of Agricultural Engineering* 59:73-87.
- Groot Koerkamp, P.W.G. et G.H. Uenk. 1997. Climatic conditions and aerial pollutants in and emissions from commercial animal production systems in the Netherlands. In: *Proceedings of International Symposium Ammonia and Odour Control from Animal Facilities*. 6.-10.10.1997, Vinkeloord, p. 139-144. In: Hörnig, G. R. Brunsch, U. Stollberg, A. Jelínek, P. Plíva. and M. Češpiva. 2001. Ammonia, methane and carbone dioxide emissions from laying hens kept in battery cages and aviary systems. *Proceedings of the 2nd Agricultural Engineering Conference of Central and East European Countries*, 37-43, Prague, Czech Republic, October 23-24.
- Groot Koerkamp, P.W.G., J.H. M. Metz, G.H. Uenk, V.R. Phillips, M.R. Holder, R.W. Sneath, J.L. Short, P.P. White, J. Hartung, J. Seedorf. M. Schroder, K.H. Linkert, S. Pederson, H. Takai, J.O. Johnsen et C.M. Wathes. 1998. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70(10): 79-95.
- Guinée, J.B., M. Gorrée, R. Heijungs, G. Huppes, R. Kleijn, A. de Koning, L. van Oers, A.W. Sleeswijk, S. Suh, H. De Bruijn, R. van Duin et M.A.J. Huijbregts. 2001. LCA - An operational guide to the ISO standards - Part 2b: Operational annex. Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment and Centre of Environmental Science R Leiden University: Pays-Bas.
- Hamelin, L., F. Pelletier et S. Godbout. Impacts environnementaux, économiques et sociaux des différentes chaînes de gestion des déjections des poules pondeuses. Volet I. *Revue de littérature*. IRDA. 61 pages.
- Hardwick, D.C. 1985. Agricultural problems related to odour prevention and control. Dans : *Odor prevention and control of organic sludge and livestock farming*. Barking, Royaume-Uni : ECSC. EEC. EAEC. Brussels and Luxembourg.
- Hayes, E.T., T.P. Curran et V.A. Dodd. 2006. Odour and ammonia emissions from intensive poultry units in Ireland. *Bioresources Technology*. 97:933-939.

- Hayes, E.T., T.P. Curran et V.A. Dodd. 2003. Odour and ammonia emission from pig and poultry unit. American Society of Agricultural Engineers Annual Meeting. Las Vegas, NV. July 27-30.
- Hilhorst, M. A., H. C. Willers, C. M. Groenestein et G. J. Monteny. 2001. Effective strategies to reduce methane emissions from livestock. 2001 ASAE Annual International Meeting, Sacramento, California. ASAE, St. Joseph, Michigan.
- Hörnig, G. R. Brunsch, U. Stollberg, A. Jelínek, P. Plíva et M. Češpiva. 2001. Ammonia, methane and carbone dioxyde emissions from laying hens kept in battery cages and aviary systems. Proceedings of the 2nd Agricultural Engineering Conference of Central and East European Countries, 37-43. Prague, Czech Republic, October 23-24.
- IPCC. 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. Intergovernmental Panel on Climate Change. Hayama, Japan : Egglestion H.S., Buendia L., Mowa K., Ngara and Tanabe K. (eds).
- Jacobson, L.D., J.R. Bicudo, D.R. Schmidt, S. Wood-Gay, R.S. Gates et S.J. Hoff. 2003. Air emissions from animal productions buildings. ISAH. Mexico.
- Janzen, H.H., R.L. Desjardins, J.M.R. Asselin et B. Grace. 1998. La santé de l'air que nous respirons. Vers une agriculture durable au Canada. Ottawa, Ontario : Ministre des Travaux publics et Services gouvernementaux Canada.
- Jungbluth, T.E. Hartung et G. Brose. 2001. Greenhouse gas emissions from animal houses and manure stores. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60:133-145.
- Kroodsma, W., R. Scholtens et J.W.H. Huis in't Veld. 1988a. Ammonia emissions from poultry housing systems. Proceedings of CIGR Seminar on Storing, Handling and Spreading of manure and municipal waste, 7.1-7.13. Uppsala, Suède. 20-22 Septembre. In: Groot Koerkamp, P.W.G. 1994. Review on emissions of ammonia from housing systems for laying hens in relation to sources, processes, building design and manure handling. *Journal of Agricultural Engineering* 59:73-87.
- Kroodsma, W., R. Scholtens et J.W.H. Huis in't Veld. 1988b. Ammonia emissions from poultry housing systems. In: Nielsen, V.C., J.H. Voorburg et P. L'Hermite (eds): *Volatile emissions from livestock farming and sewage operations*. London : Elsevier Applied Science, 1988, 152-161. In: Hartung, J. and V.R. Phillips. 1994. Control of gaseous emissions from livestock buildings and manure stores. *Journal of Agricultural Engineering Research* 57:173-189.
- Laguë, C. 2003. Management practices to reduce greenhouse gas emissions from swine production systems. *Advances in Pork Production* 14: 287-300.
- Li, H. 2006. Ammonia emission from manure-belt laying hen houses in Iowa. Doctoral dissertation. Iowa State University. P. 23-35.
- Liang, Y., H. Xin, E.F. Wheeler, R.S. Gates, H. Li, J.S. Zajackowski, P.A. Topper, K.D. Casey, B.R. Behrends, D.J. Burnham et F.J. Zajackowski. 2005. Ammonia emissions from U.S. laying hen houses in Iowa and Pennsylvania. *Transactions of the ASAE* 48(5): 1927-1941.
- Liang, Y., E.F. Wheeler, R.S. Gates, H. Li, J.S. Zajackowski, P. Topper, K.D. Casey et F.J. Zajackowski. 2004. Ammonia emission for US poultry houses: laying hens. Written for

- presentation at the 2004 ASAE/CSAE Annual International Meeting, Sponsored by ASAE/CSAE, Fairmont Chateau Laurier, The Westin, Government Centre, Ottawa, Ontario, Canada, 1 - 4 August 2004, paper number 044104.
- Liang, Y., H. Xin, A. Tanaka, S.H. Lee, H. Li, E.F. Wheeler, R.S. Gates, J.S. Zajackowski, P. Topper et K.D. Casey. 2003. Ammonia emissions from layer houses in Iowa. Proceedings of the International Symposium on gaseous and odour emissions from animal production facilities, 1-9. Horsens, Denmark, 1-4 June 2003.
- Lim, T.-T., A.J. Heber, J.-Q. Ni. 2003. Air quality measurements at a laying hen house: odor and hydrogen sulphide emissions. International Symposium on Control of Gaseous and Odour Emissions from Animal Production Facilities, Horsens, Denmark, June 2-4, p. 273-282.
- Littell, R.C., G.A. Milliken, W.W. Stroup, R.D. Wolfinger et O. Schabenberger. 2006. SAS for Mixed Models, Second edition. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Lockyer, D.R., B.F. Pain et J.V. Klarenbeck. 1989. Ammonia emissions from cattle, pig and poultry wastes applied to pasture. *Environmental Pollution*. 56:19-30.
- Lohmann Tierzucht GmbH. 2003. Layer management guide R Lohmann LSL-Lite. North American edition. 27 pages.
- MAPAQ. 2009. Statistiques R La production animale et végétale. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (en ligne)
<http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Productions/md/statistiques/production/production.htm>.
Page consultée le 11 août 2010.
- Marquis. A. 2002. Émissions de gaz à effet de serre par les animaux aux bâtiments. 65^e congrès de l'Ordre des agronomes du Québec. Juin 2002.
- Martinec, M., E. Hartung et T. Jungbluth. 1998. Geruchsemissionen aus der Tierhaltung [Odour emissions from livestock buildings]. Institut für Agrartechnik, Hohenheim University, Stuttgart, Germany. In: Hayes, E.T., T.P. Curran et V.A. Dodd. 2003. Odour and ammonia emission from pig and poultry unit. American Society of Agricultural Engineers Annual Meeting. Las Vegas, NV. July 27-30.
- Miner, J.R. 1980. Controlling odors from livestock production facilities: state-of-the art. In: *Livestock waste: A renewable resource*. St-Joseph, Michigan, American Society of Agricultural Engineers, p. 297-301. In: CSE. 2000. Les risques à la santé associés aux activités de production animale du Québec. Document de référence. Québec, Québec : Ministère de la Santé et des Services sociaux. Comité de santé environnementale du Québec.
- Misselbrook, T.H., T.J. Van Der Weerden, B.F. Pain, S.C. Jarvis, B.J. Chambers, K.A. Smith, V.R. Phillips et T.G.M. Demmers. 2000. Ammonia emission factors for UK agriculture. *Atmospheric Environment* 34:871-880.
- Mongin, P. et B. Sauveur. 1974. Voluntary food and calcium intake by the laying hens. *British Poultry Science* 15:349-359.
- Monteny, G.J., C.M. Groenestein et M.A. Hilhorst. 2001. Interactions and coupling between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60:123-132.

- Morris, B.A. et T.G. Taylor. 1967. The daily food consumption of laying hens in relation to egg formation. *British Poultry Science* 8:251-257.
- Moss, A.R., J-P. Jouany et J. Newbold. 2000. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales de Zootechnie* 49:231-253.
- Müller, H.-J., R. Brunsch, G. Hörnig et A. Jelínek. 2003. Odour and ammonia emissions from poultry houses with different keeping and ventilation systems. *International Symposium on gaseous and odour emissions from animal production facilities*, 1-4 June 2003, 172-179. Horsens, Denmark: CIGR, EurAgEng, NJF. In: Nimmermark, S. et G. Gustafsson. 2005. Influence of temperature, humidity and ventilation rate on the release of odour and ammonia in a floor housing system for laying hens. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*.
- Navaratnasamy, M. et J.J.R. Feddes. 2004. Odour emissions from poultry manure/litter and barns. Poultry Industry council. PIC Project No 155. Final report.
- Neser, S., G. Depta, B. Stegbauer, A. Gronauer et H. Schön. 1997. Mass balance of the compounds nitrogen and carbon in housing systems for laying hens. In: *Proc. International Symposium ammonia and odour control from animal facilities*. 6.10-10.10.1997. Vinkeloord. Voermans JAM. Monteny GJ. (eds). NVTL. 129-137 p. Rosmalen, The Netherlands. In: Jungbluth T., E. Hartung et G. Brose. 2001. Greenhouse gas emissions from animal houses and manure stores. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60: 133-145.
- Nicholson, F.A., B.J. Chambers et A.W. Walker. 2004. Ammonia emissions from broiler litter and laying hen manure management systems. *Biosystems Engineering* 89 (2): 175-185.
- Nimmermark, S. 2011. Influence of odour concentration and individual odour thresholds on the hedonic tone of odour from animal production. *Biosystems Engineering* (2011), doi:10.1016/j.biosystemseng.2010.12.003.
- Nimmermark, S. 2004. Odour impact: odour release, dispersion and influence on human well-being with specific focus on animal production. Doctoral thesis. Alnarp, Sweden: Department of Agricultural Biosystems and Technology, Swedish University of Agricultural Sciences.
- Nimmermark, S. et G. Gustafsson. 2005. Influence of temperature, humidity and ventilation rate on the release of odour and ammonia in a floor housing system for laying hens. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal* (en ligne) <http://www.cigr.org/documents/SampleCIGRpaper.pdf>. Page consultée le 6 mai 2011.
- OCCO. 2007. Fiches d'information. L'industrie canadienne des œufs. Office canadien de commercialisation des œufs (en ligne). http://lesoeufs.ca/IndustryHealthPro/Media_Centre.aspx. Page consultée le 18 mai 2010.
- Ogink, N.W.M. et P.W.G. Groot Koerkamp. 2001. Comparison of odour emission from animal housing with low ammonia emission. *Water Science and Technology* 44(9): 245-252.
- O'Neill, D.H. et V.R. Phillips. 1992. A review of the control of odor nuisance from livestock buildings: Part 3, Properties of the odorous substances which have been identified in livestock wastes or in the air around them. *Journal of Agricultural Engineering Research* 34: 23-50.

- Pain, B. 1998. Gaseous pollutants from organic waste use in agriculture. Proceedings of the 8th International Conference of the FAO ESCORENA Network on Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture, 233-246. Rennes, France. May 26-29.
- Patni, N. 2000. Ammonia concentrations and losses in large layer barns. Factsheet No 109. Guelph, Ontario: Poultry Industry Council (en ligne)
http://gis.lrs.uoguelph.ca/AgriEnvArchives/bioenergy/download/patni_ammonia_fact.pdf.
Page consultée le 1er juin 2010.
- Pelletier, F., S. Godbout, R. Joncas, G. Gingras, A. Marquis et F. Pouliot. 2004. Connaître et réduire les émissions de gaz, de poussières et d'odeurs reliées aux productions animales. Centre de référence en agriculture et en agroalimentaire (CRAAQ), Commission de génie agroalimentaire et de l'environnement, 37 p.
- PNUD. 2007. Rapport mondial sur le développement humain 2007/2008. La lutte contre le changement climatique : un impératif de solidarité humaine dans un monde divisé. Édité pour le Programme des Nations-Unies pour le développement.
- POC. 2009. Rapport annuel. Les Producteurs d'œufs du Canada (en ligne)
http://lesoeufs.ca/IndustryHealthPro/Media_Centre.aspx. Page consultée le 19 mai 2010.
- Pratt, E.V., S.P. Rose et A.A. 2002. Keeling. Effect of ambient temperature on losses of volatile nitrogen compounds from stored laying hen manure. *Bioresource Technology*. 84: 203-205.
- Rappert, S. et R. Müller. 2005. Odor compounds in waste gas emissions from agricultural operations and food industries. *Waste Management* 25: 887-907.
- Rochette, P., J.D. MacDonald, D.A. Anger, M.H. Chantigny, M.-O. Gasser et N. Bertrand. 2009a. Banding of urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. *Journal of Environmental Quality*. 38: 1383-1390.
- Rochette, P., D.A. Anger, M.H. Chantigny, J.D. MacDonald, M.-O. Gasser et N. Bertrand. 2009b. Reducing ammonia volatilization in a no-till soil by incorporating urea and pig slurry in shallow bands. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 84(1): 71-80.
- Rochette, P., D.E. Worth, R.L. Lemke, B.G. McConkey, D.J. Pennock, C. Wagner-Riddle et R.L. Desjardins. 2008. Estimation of N₂O emissions from agricultural soils in Canada. I. Development of a country-specific methodology. *Can. J. Soil. Sci.* 88: 641-654.
- Rotton, J. 1983. Affective and cognitive consequences of malodorous pollution. *Basic and Applied Social Psychology* 4 (2): 171-191.
- Roumeliotis, T.S. et B.J. Van Heyst. 2008. Summary of ammonia and particulate matter emission factors for poultry operations. *Journal of Applied Poultry Research* 17: 305-314.
- Safley, L.M. et M.E. Casada. 1992. Global methane emissions from livestock and poultry manure. U.S. Environmental Protection Agency. Report 400/1-91/048. Washington. DC. In: Jacobson, L.D., J.R. Bicudo, D.R. Schmidt, S. Wood-Gay, R.S. Gates, and S.J. Hoff. 2003. Air emissions from animal productions buildings. ISAH. Mexico.
- Scanes, C.G., R. Campbell et P. Griminger. 1987. Control of energy balance during egg production in the laying hen. *The Journal of Nutrition* 117:605-611.

- Schiffman, S.S., B.W. Auvermann et R.W. Bottcher. 2001. Health effects of aerial emissions from animal production waste management systems. In: Proceedings of international symposium: Addressing animal production and environmental issues. Raleigh, Caroline du Nord, 3 au 5 octobre.
- Schiffman, S.S., E.A. Sattely Miller, M.S. Suggs et B.G. Graham. 1995. The effect of environmental odors emanating from commercial swine operations on the mood of nearby residents. *Brain Research Bulletin* 37 (4): 369-375.
- Seydoux, S., D. Côté, M. Grenier et M-O. Gasser. 2006. Caractérisation des volumes et des concentrations en éléments fertilisants des effluents d'élevages de poulettes et de poules pondeuses. Rapport scientifique à l'attention du Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA).
- Shusterman, D. 1992. Critical review: The health significance of environmental odor pollution. *Archives of environmental health* 47 (1): 76-87.
- Sneath, R.W., V.R. Phillips, T.G.M. Demmers, L.R. Burgess, J.L. Short et S.K. Welch. 1997. Long term measurements of greenhouse gas emissions from UK livestock buildings. *Livestock Environment V. Proceedings of the Fifth International Symposium*. Bloomington. Minnesota. P. 146-153. In: Jungbluth, T., E. Hartung, and G. Brose. 2001. Greenhouse gas emissions from animal houses and manure stores. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 60:133-145.
- Snyder, C.S., T.W. Bruulsema, T.L. Jensen et P.E. Fixen. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133 (2009) 247-266.
- Steinfeld, H., P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales et C. de Haan. 2006. Livestock's long shadow: environmental issues and options. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The Livestock, Environment and Development (LEAD). Rome, 407 p.
- Sucker, K., R. Both et G. Winneke. 2001. Adverse effects of environmental odours: reviewing studies on annoyance responses and symptom reporting. *Water Science Technology* 44(9): 43-51.
- Thériault, C. 2006. FPOCQ. Communication personnelle. 24 août 2006. Dans : Hamelin, L., F. Pelletier et S. Godbout. Impacts environnementaux, économiques et sociaux des différentes chaînes de gestion des déjections des poules pondeuses. Volet I. Revue de littérature. IRDA. 61 pages.
- Thériault, C. 2005. Pionniers dans la granulation et le séchage du fumier de poules pondeuses. Fédération des producteurs d'œufs de consommation du Québec (en ligne) <http://www.oeuf.ca/publications/nouveautes/>. Page consultée le 12 août 2010.
- Thu, K., K. Donham, R. Ziegenhorn, S. Reynolds, P.S. Thorne, P. Subramanian, P. Whitten et J. Stookesberry. 1997. A control study of the physical and mental health of residents living near a large-scale swine operation. *Journal of Agricultural Safety and Health* 3(1): 13-26.
- Toombs, M. 2003. Odour control on livestock poultry farms. Agdex 700, order #03-112. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.

- Vaičionis, G., A. Kiškienė, V. Ribikauskas et I. Skurdenienė. 2005. Environmental problems in laying hen poultry houses. Rural development. Environmental research and technologies (en ligne) http://www.lzuu.lt/rural_development/archive/2005/CD/Papers%20in%20PDF/S5_PDF/S5_09.pdf. Page consultée le 3 juin 2010.
- Wathes, C.M., M.R. Holden, R.W. Sneath, R.P. White et V.R. Phillips. 1997. Concentrations and emissions rates of aerial ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide, dust, and endotoxin in U.K. broiler and layer houses. *British Poultry Science* 38(1): 14-28.
- Wood-Gush, D.G.M. et A.R. Horne. 1970. The effect of egg formation and laying on the food and water intake of Brown Leghorn hens. *British Poultry Science* 11B: 459-466.
- Wu-Haan, W., W.J. Powers, C.R. Angel, C.E. Hale III et T.J. Applegate. 2007. Effect of an acidifying diet combined with zeolite and slight protein reduction on air emissions from laying hens of different ages. *Poultry Science* 86: 182-190.
- Xin, H., Y. Liang, R.S. Gates et E.F. Wheeler. 2002. Measurement of ammonia emissions from laying hen houses (en ligne) http://www.bae.uky.edu/ifafs/PDFs/IEIS_2002_Proc_Xin.pdf. Page consultée le 31 mai 2010.

Annexe A – Résultats de la revue de littérature

Tableau A.1. Correspondance des numéros et des abréviations

#	Système de gestion des déjections	Abréviation	Pays		
1	Cages à batterie mais système de gestion inconnu	AL	Allemagne		
2	Fientes entreposées sous les cages	CA	Canada		
3	Fientes évacuées sur une courroie mobile sans séchage	DN	Danemark		
4	Séchage des fientes dans un tunnel d'aération	EU	États-Unis		
5	Séchage des fientes par un système d'hélices au-dessus d'une courroie	IR	Irlande		
6	Séchage conventionnel des fientes par air forcé sur courroie	IT	Italie		
7	Fientes reposant dans des caniveaux évacuées par pompage ou grattes	JP	Japon		
8	Cave profonde ouverte	LI	Lituanie		
9	Cave profonde	PB	Pays-Bas		
10	Facteur d'émissions d'organismes nationaux	RT	République tchèque		
		RU	Royaume-Uni		
#	Référence	#	Référence	#	Référence
1	Demmers <i>et al.</i> , 1992	2	da Borso et Chiumenti, 1998	3	Hörnig <i>et al.</i> , 2001
4	Kroodsma <i>et al.</i> , 1988a	5	Müller <i>et al.</i> , 2003	6	Fabbri <i>et al.</i> , 2007
7	Xin <i>et al.</i> , 2002	8	Lockyer <i>et al.</i> , 1989	9	Nicholson <i>et al.</i> , 2004
10	Kroodsma <i>et al.</i> , 1988b	11	Patni, 2000	12	Wathes <i>et al.</i> , 1997
13	Anonyme, 1991	14	Liang <i>et al.</i> , 2004	15	Groot Koerkamp <i>et al.</i> , 1998
16	Li, 2006	17	Liang <i>et al.</i> , 2005	18	Hayes <i>et al.</i> , 2006
19	Liang <i>et al.</i> , 2003	20	Vaičionis <i>et al.</i> , 2005	21	EPA, 2001
22	Neser <i>et al.</i> , 1997	23	Wu-Haan <i>et al.</i> , 2007	24	IPCC, 2006
25	Groot Koerkamp et Uenk, 1997	26	Monteny <i>et al.</i> , 2001	27	Safley et Casada, 1992
28	Environnement Canada, 2010	29	Chadwick <i>et al.</i> , 1999	30	Sneath <i>et al.</i> , 1997
31	Ogink et Groot Koerkamp, 2001	32	Hayes <i>et al.</i> , 2003	33	Martinec <i>et al.</i> , 1998
34	Navaratnasamy et Feddes, 2004	35	Gay <i>et al.</i> , 2003	36	Misselbrook <i>et al.</i> , 2000
37	AAC, 2003	38	Pratt <i>et al.</i> , 2002		

Tableau A.2. Sommaire des émissions converties au bâtiment

Système	Remarque	Émissions originales	Émissions converties			Location	Source	
			NH_3	CO_2	CH_4			N_2O
			$g an^{-1} tête^{-1}$					
4	Évacuation 2 fois par jour	10 g NH_3 an ⁻¹ poule ⁻¹	10,00				PB	1
4	En hiver	0,027 g NH_3 j ⁻¹ poule ⁻¹	9,86				IT	2
5	En hiver	0,031 g NH_3 j ⁻¹ poule ⁻¹	11,32				IT	2
6	En hiver	0,027 g NH_3 j ⁻¹ poule ⁻¹	9,86				IT	2
7	En hiver	0,18 g NH_3 j ⁻¹ poule ⁻¹	65,70				IT	2
4	En été	0,134 g NH_3 j ⁻¹ poule ⁻¹	48,91				IT	2
5	En été	0,172 g NH_3 j ⁻¹ poule ⁻¹	62,78				IT	2
6	En été	0,157 g NH_3 j ⁻¹ poule ⁻¹	57,31				IT	2
7	En été	0,7 g NH_3 j ⁻¹ poule ⁻¹	255,5				IT	2
			16,6 à 18,3 g NH_3 an ⁻¹ poule ⁻¹					
6	Évacuation continue	46,8 à 64,3 g CH_4 an ⁻¹ poule ⁻¹	16,60 à 18,30		46,80 à 64,30		RT	3
3	Évacuation 2 fois par semaine	34 g NH_3 an ⁻¹ poule ⁻¹	34,00				PB	4
6	Évacuation hebdomadaire	31 g NH_3 an ⁻¹ poule ⁻¹	31,00				PB	4
6	Évacuation continue	17 à 63 g NH_3 j ⁻¹ poule ⁻¹ 12,8 UO s ⁻¹ 500 ⁻¹ kg ⁻¹ de poids vif	17,00 à 63,00			0,05	AL	5
2		28 à 61 UO s ⁻¹ 500 ⁻¹ kg ⁻¹ de poids vif				0,10 à 0,22	RT	5
6	Évacuation aux 3-4 jours	0,062 kg NH_3 an ⁻¹ poule ⁻¹ 0,08 kg CH_4 an ⁻¹ poule ⁻¹	62,00		80,00		IT	6
8	Évacuation aux 2 ans	0,163 kg NH_3 an ⁻¹ poule ⁻¹ 0,03 kg CH_4 an ⁻¹ poule ⁻¹	163,0		30,00		IT	6
6	Évacuation quotidienne	0 à 2 mg NH_3 h ⁻¹ poule ⁻¹	0 à 17,52				EU	7
3		25 kg N- NH_3 an ⁻¹ 760 ⁻¹ poules ⁻¹	39,94				RU	8
6		30 kg N- NH_3 an ⁻¹ 760 ⁻¹ poules ⁻¹	47,93				RU	8
7		70 kg N- NH_3 an ⁻¹ 760 ⁻¹ poules ⁻¹	111,8				RU	8

		poules ⁻¹						
3	Évacuation quotidienne / Centre de recherche	1,3 g N-NH ₃ h ⁻¹ 500 ⁻¹ kg ⁻¹ de poids vif	49,78				RU	9
3	Bâtiment commercial	2,7 g N-NH ₃ h ⁻¹ 500 ⁻¹ kg ⁻¹ de poids vif	103,4				RU	9
3	Évacuation hebdomadaire / Centre de recherche	3,3 g N-NH ₃ h ⁻¹ 500 ⁻¹ kg ⁻¹ de poids vif	126,4				RU	9
8	Bâtiment commercial	1,4 g N-NH ₃ h ⁻¹ 500 ⁻¹ kg ⁻¹ de poids vif	53,61				RU	9
9	Bâtiment commercial	8,2 g N-NH ₃ h ⁻¹ 500 ⁻¹ kg ⁻¹ de poids vif	314,0				RU	9
2		83 g NH ₃ an ⁻¹ poule ⁻¹	83,00				PB	10
7	Évacuation hebdomadaire	0,7 à 2,4 kg NH ₃ h ⁻¹ 55 000 ⁻¹ poules ⁻¹	111,5 à 383,3				CA	11
9	En hiver	8 g NH ₃ h ⁻¹ 500 ⁻¹ kg ⁻¹ de poids vif 0,8 g CH ₄ h ⁻¹ 500 ⁻¹ kg ⁻¹ de poids vif	293,2	28,94			RU	12
9	En été	12 g NH ₃ h ⁻¹ 500 ⁻¹ kg ⁻¹ de poids vif 0,9 g CH ₄ h ⁻¹ 500 ⁻¹ kg ⁻¹ de poids vif 0,45 g N ₂ O h ⁻¹ 500 ⁻¹ kg ⁻¹ de poids vif	439,8	32,56	16,28		RU	12
9		386 g NH ₃ an ⁻¹ poule ⁻¹	386,0				PB	13
3	Évacuation quotidienne	0,05 g NH ₃ j ⁻¹ poule ⁻¹	18,25				EU	14
3	Évacuation 2 fois par semaine	0,088 g NH ₃ j ⁻¹ poule ⁻¹	32,12				EU	14
3	Évacuation 2 fois par semaine	30,8 g NH ₃ j ⁻¹ 500 ⁻¹ kg ⁻¹ de poids vif	40,47				EU	14
3		2,1 mg NH ₃ h ⁻¹ poule ⁻¹	18,40				AL	15
3		6,4 mg NH ₃ h ⁻¹ poule ⁻¹	56,06				PB	15
3		7,7 mg NH ₃ h ⁻¹ poule ⁻¹	67,45				DN	15
3		39,4 mg NH ₃ h ⁻¹ poule ⁻¹	345,1				RU	15
3	Évacuation hebdomadaire	0,054 g NH ₃ j ⁻¹ poule ⁻¹	19,71				EU	16
3	Évacuation quotidienne	17,5 NH ₃ g j ⁻¹ 500 ⁻¹ kg ⁻¹ de poids vif	23,00				EU	17
3	Évacuation hebdomadaire	0,1 g NH ₃ j ⁻¹ poule ⁻¹ 0,47 UO s ⁻¹ poule ⁻¹	36,50		0,47		IR	18

3	Evacuation quotidienne	7 mg NH ₃ h ⁻¹ poule ⁻¹	61,32			EU	19
1		0,056 kg N-NH ₃ an ⁻¹ poule ⁻¹	68,00			LI	20
10	Moyenne de la littérature	32,8 lb NH ₃ an ⁻¹ 100 ⁻¹ poules ⁻¹	149,09		0,91	EU	21
		0,2 lb N ₂ O an ⁻¹ 100 ⁻¹ poules ⁻¹					
1		400 à 1200 g CO ₂ h ⁻¹ 500 ⁻¹ kg ⁻¹ de poids vif	12 614 à 37 843		0,63 à 4,73	AL	22
		0,02 à 0,15 g N ₂ O h ⁻¹ 500 ⁻¹ kg ⁻¹ de poids vif					
1		65 627 à 86 243 mg CO ₂ j ⁻¹ poule ⁻¹	23 954 à 31 479		4,02 à 55,88	EU	23
		11 à 153 mg CH ₄ j ⁻¹ poule ⁻¹					
10	Gestion sèche	0,03 kg CH ₄ an ⁻¹ poule ⁻¹			30,00	JP	24
10	Gestion liquide	1,2 à 1,4 kg CH ₄ an ⁻¹ poule ⁻¹			1 200 à 1 400	JP	24
1		56 g CH ₄ an ⁻¹ poule ⁻¹			56,00	PB	25
1		0,06 kg CH ₄ an ⁻¹ poule ⁻¹			60,00	PB	26
10		0,3 kg CH ₄ an ⁻¹ poule ⁻¹			300,0	EU	27
10		0,5 kg CH ₄ an ⁻¹ poule ⁻¹			500,0	CA	28
1	Inventaire	10 g N ₂ O j ⁻¹ 500 ⁻¹ kg ⁻¹ de poids vif				RU	29
1		0,95 g N ₂ O h ⁻¹ 500 ⁻¹ kg ⁻¹ de poids vif			29,96	RU	30
6	Evacuation aux 5 jours	0,35 UO s ⁻¹ poule ⁻¹			0,35	PB	31
2	Stockage à long terme	0,69 UO s ⁻¹ poule ⁻¹			0,69	PB	31
3	Evacuation hebdomadaire	0,43 UO s ⁻¹ poule ⁻¹			0,43	IR	32
1		0,50 UO s ⁻¹ poule ⁻¹			0,50	AL	33
1	Evacuation hebdomadaire	0,56 UO s ⁻¹ poule ⁻¹			0,56	CA	34
7		3,54 UO ⁻¹ s ⁻¹ m ⁻²			0,18	EU	35
10		132 g N j ⁻¹ 500 ⁻¹ kg ⁻¹ de poids vif	210,6			RU	36

Tableau A.3. Sommaire des émissions converties à l'entreposage

Système	Remarque	Émissions originales	Émissions converties				Location	Source
			NH_3	CO_2	CH_4	N_2O		
			$g an^{-1} tête^{-1}$					
6	Compostage	100 à 200 g NH_3 an ⁻¹ poule ⁻¹	100,0 à 200,0				PB	4
3		4% de 72 kg N- NH_3 500 ⁻¹ kg ⁻¹ de poids vif	12,59				RU	9
3		0,11 g NH_3 j ⁻¹ poule ⁻¹ 32 lb NH_3 an ⁻¹ 100 ⁻¹ poules ⁻¹	40,15				EU	16
10	Lagune anaérobique	0,2 lb N_2O an ⁻¹ 100 ⁻¹ poules ⁻¹	145,2			0,91	EU	21
10	Fosse ouverte	0,03 kg NH_3 an ⁻¹ poule ⁻¹	30,00				CA	37
10	Fosse fermée	0,0062 kg NH_3 an ⁻¹ poule ⁻¹	6,20				CA	37
1	Entreposage à 12,3 °C	0,126 kg NH_3 semaine ⁻¹ t ⁻¹ de déjections	1,57				RU	38
1	Entreposage à 15,3 °C	0,249 kg NH_3 semaine ⁻¹ t ⁻¹ de déjections	3,11				RU	38
1	Entreposage à 19,5 °C	0,271 kg NH_3 semaine ⁻¹ t ⁻¹ de déjections	3,38				RU	38
1	Entreposage à 24,4 °C	0,313 kg NH_3 semaine ⁻¹ t ⁻¹ de déjections	3,91				RU	38

Tableau A.4. Sommaire des émissions converties à l'épandage

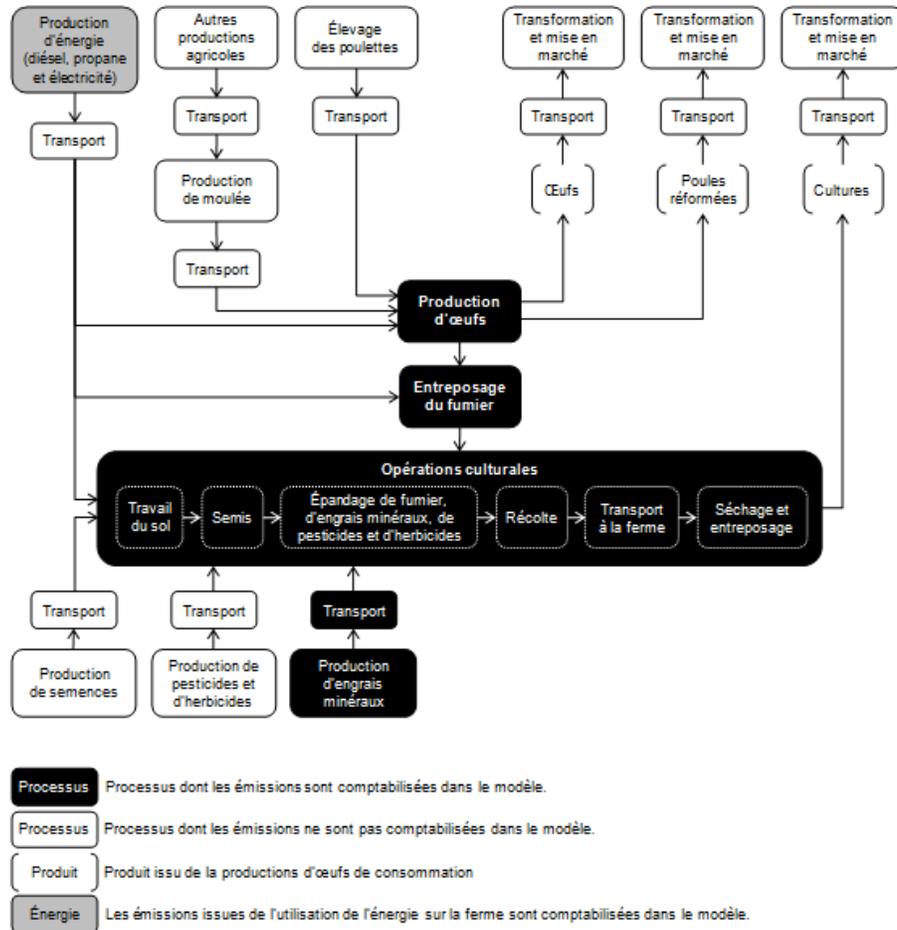
Système	Remarque	Émissions originales	Émissions converties				Location	Source
			NH_3	CO_2	CH_4	N_2O		
			<i>g an⁻¹ tête⁻¹</i>					
6		30 kg N-NH ₃ an ⁻¹ 760 ⁻¹ poules ⁻¹	47,93				RU	8
3		175 kg N-NH ₃ an ⁻¹ 760 ⁻¹ poules ⁻¹	279,61				RU	8
7		200 kg N-NH ₃ an ⁻¹ 760 ⁻¹ poules ⁻¹	319,55				RU	8
3		55% de 72 kg N-NH ₃ 500 ⁻¹ kg ⁻¹ de poids vif	173,1				RU	9
10		24 lb NH ₃ an ⁻¹ 100 ⁻¹ poules ⁻¹	108,9				EU	21
10	Épandage en surface	0,12 kg NH ₃ an ⁻¹ poule ⁻¹	120,0				CA	37
10	Épandage par injection	0,06 kg NH ₃ an ⁻¹ poule ⁻¹	60,00				CA	37

Annexe B – Résultats de la simulation avec le calculateur d'émissions de gaz à effet de serre et d'ammoniac en production d'œufs de consommation

Calculateur d'émissions de gaz à effet de serre et d'ammoniac en production d'œufs de consommation



Le calculateur estime les émissions de gaz à effet de serre et d'ammoniac de trois modes de gestion du fumier à l'intérieur des bâtiments de production d'œufs de consommation. Il permet de comparer les émissions issues des gestions liquide, solide et solide séché du fumier de poules pondeuses. Les processus dont les émissions sont comptabilisées dans le modèle sont présentés dans le schéma suivant:



Remplir les cellules vertes:

à remplir

Portez attention aux cellules rouges:

attention

Les valeurs dans les cellules noires sont des suggestions :

suggestion

Les boutons suivants en haut de chaque page permettent de naviguer à travers le calculateur:



- Aller à la page suivante
- Aller à la page précédente
- Calculer (cliquer sur ce bouton à toutes les fois qu'une valeur est modifiée dans une case ver
- Retourner à l'introduction



1. Caractéristiques de la production

1.1 Poules

Nombre de poules pondeuses	45 000	poules
Taux de mortalité	5,5	%
Âge des poules au début de la production	19	semaines
Âge des poules à la fin de la production	70	semaines
Période de production	52	semaines (incluant une semaine de vide sanitaire)
Nombre moyen de poules dans le poulailler	42 921	poules/année
Consommation de moulée		
moyenne	0,1	kg/jour/poule
totale	4292	kg de moulée/année
Consommation d'eau		
moyenne	0,1	L/j/poule
totale	4292	L d'eau/année

1.2 Œufs

Rendement journalier	0,86	œuf/jour/poule (moyenne annuelle)
Pourcentage d'œufs rejetés	1,1	%
Nombre d'œufs produits		
total d'œufs produits	13 472 875	œufs/année
douzaines d'œufs produites	1 122 740	douzaines d'œufs/année
rendement par poule	26,2	douzaines d'œufs/année/poule
Nombre d'œufs vendus		
total d'œufs produits	13 324 673	œufs/année
douzaines d'œufs produites	1 110 389	douzaines d'œufs/année
rendement par poule	25,9	douzaines d'œufs/année/poule

1.3 Énergie consommée au bâtiment

Électricité

Consommation d'électricité	2,74	kWh/poule
Valeur proposée	2,74	kWh/poule

Propane

Consommation de propane	0,00	l/poule
Valeur proposée	0,40	l/poule



2. Caractéristiques du fumier

2.1 Caractéristiques du fumier produit (gestion liquide)

Fumier sous les poules

	Volume l/j/tête	Masse kg/j/tête	MV kg/m ³	MS kg/t	N kg/t	P ₂ O ₅ kg/t	K ₂ O kg/t	Ca kg/t	Mg kg/t	Al kg/t	Cu kg/t	Fe kg/t	Mn kg/t	Zn kg/t	Cl kg/t
Poules	0,064	0,070	1095	375	23,3	19,3	28,2	1,8	0,19	0,013	0,283	0,164	0,120	1,031	1,288
Total pour le poulailler	m ³ /an 1002	kg/an 1096629		kg/an 411236	kg/an 25551	kg/an 21165	kg/an 30944	kg/an 1959	kg/an 204	kg/an 15	kg/an 310	kg/an 179	kg/an 132	kg/an 1131	kg/an 1412

Fumier dans la préfosse

	Volume	MS	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Al	Cu	Fe	Mn	Zn	Cl		
Dilution par les eaux de lavage (%)	25														
Pertes au bâtiment (%)		32	54												
		32	54												
	Volume l/j/tête	Masse kg/j/tête	MV kg/m ³	MS kg/t	N kg/t	P ₂ O ₅ kg/t	K ₂ O kg/t	Ca kg/t	Mg kg/t	Al kg/t	Cu kg/t	Fe kg/t	Mn kg/t	Zn kg/t	Cl kg/t
Poules	0,080	0,086	1076	251	10,5	19,0	27,8	1,8	0,18	0,013	0,278	0,161	0,118	1,015	1,267
Total	m ³ /an 1252	kg/an 1347042		kg/an 279640	kg/an 11754	kg/an 21165	kg/an 30944	kg/an 1959	kg/an 204	kg/an 15	kg/an 310	kg/an 179	kg/an 132	kg/an 1131	kg/an 1412

Fumier après entreposage

	Volume	MS	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Al	Cu	Fe	Mn	Cl	Cl		
Dilution par les précipitations (%)	50														
Pertes à l'entreposage (%)		0	6												
		0	6												
	Volume l/j/tête	Masse kg/j/tête	MV kg/m ³	MS kg/t	N kg/t	P ₂ O ₅ kg/t	K ₂ O kg/t	Ca kg/t	Mg kg/t	Al kg/t	Cu kg/t	Fe kg/t	Mn kg/t	Zn kg/t	Cl kg/t
Poules	0,120	0,126	1051	241	9,5	18,3	26,7	1,7	0,18	0,013	0,267	0,155	0,114	0,976	1,219
Total	m ³ /an 1878	kg/an 1973074		kg/an 279640	kg/an 11048	kg/an 21165	kg/an 30944	kg/an 1959	kg/an 204	kg/an 15	kg/an 310	kg/an 179	kg/an 132	kg/an 1131	kg/an 1412

2.2 Caractéristiques du fumier produit (gestion solide)

Fumier sous les poules

	Volume l/j/tête	Masse kg/j/tête	MV kg/m ³	MS kg/t	N kg/t	P ₂ O ₅ kg/t	K ₂ O kg/t	Ca kg/t	Mg kg/t	Al kg/t	Cu kg/t	Fe kg/t	Mn kg/t	Zn kg/t	Cl kg/t
Poules	0,066	0,070	1060	375	23,3	19,3	30,7	2,0	0,21	0,016	0,338	0,189	0,138	1,128	1,308
Total pour le poulailler	m ³ /an 1035	kg/an 1096629		kg/an 411236	kg/an 25551	kg/an 21165	kg/an 33686	kg/an 2235	kg/an 236	kg/an 18	kg/an 371	kg/an 207	kg/an 151	kg/an 1237	kg/an 1434

Fumier dans la préfosse

	Volume	MS	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Al	Cu	Fe	Mn	Zn	Cl		
Dilution par les eaux de lavage (%)	0														
Pertes au bâtiment (%)		0	4,5												
		0	4,5												
	Volume l/j/tête	Masse kg/j/tête	MV kg/m ³	MS kg/t	N kg/t	P ₂ O ₅ kg/t	K ₂ O kg/t	Ca kg/t	Mg kg/t	Al kg/t	Cu kg/t	Fe kg/t	Mn kg/t	Zn kg/t	Cl kg/t
Poules	0,066	0,070	1060	375	22,3	19,3	30,7	2,0	0,21	0,016	0,338	0,189	0,138	1,128	1,308
Total	m ³ /an 1035	kg/an 1096629		kg/an 411236	kg/an 24402	kg/an 21165	kg/an 33686	kg/an 2235	kg/an 236	kg/an 18	kg/an 371	kg/an 207	kg/an 151	kg/an 1237	kg/an 1434

Fumier après entreposage

	Volume	MS	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Al	Cu	Fe	Mn	Cl	Cl		
Dilution par les précipitations (%)	0														
Pertes à l'entreposage (%)		0	6,5												
		0	6,5												
	Volume l/j/tête	Masse kg/j/tête	MV kg/m ³	MS kg/t	N kg/t	P ₂ O ₅ kg/t	K ₂ O kg/t	Ca kg/t	Mg kg/t	Al kg/t	Cu kg/t	Fe kg/t	Mn kg/t	Zn kg/t	Cl kg/t
Poules	0,066	0,070	1060	375	20,8	19,3	30,7	2,0	0,21	0,016	0,338	0,189	0,138	1,128	1,308
Total	m ³ /an 1035	kg/an 1096629		kg/an 411236	kg/an 22816	kg/an 21165	kg/an 33686	kg/an 2235	kg/an 236	kg/an 18	kg/an 371	kg/an 207	kg/an 151	kg/an 1237	kg/an 1434

2.3 Caractéristiques du fumier produit (gestion solide séché)

Fumier sous les poules

	Volume l/j/tête	Masse kg/j/tête	MV kg/m ³	MS kg/t	N kg/t	P ₂ O ₅ kg/t	K ₂ O kg/t	Ca kg/t	Mg kg/t	Al kg/t	Cu kg/t	Fe kg/t	Mn kg/t	Zn kg/t	Cl kg/t
Poules	0,057	0,060	1046	438	27,2	22,5	35,5	2,3	0,25	0,018	0,383	0,215	0,159	1,292	1,545
	m ³ /an	kg/an		kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an
Total pour le poulailler	899	939968		411756	25547	21160	33413	2170	233	17	360	202	150	1214	1452

Fumier dans la préfosse

Dilution par les eaux de lavage (%)	Volume	MS	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Al	Cu	Fe	Mn	Zn	Cl		
0	ou autre														
Pertes au bâtiment (%)		0	3,5												
		0	3,5												
	Volume l/j/tête	Masse kg/j/tête	MV kg/m ³	MS kg/t	N kg/t	P ₂ O ₅ kg/t	K ₂ O kg/t	Ca kg/t	Mg kg/t	Al kg/t	Cu kg/t	Fe kg/t	Mn kg/t	Zn kg/t	Cl kg/t
Poules	0,057	0,060	1046	438	26,2	22,5	35,5	2,3	0,25	0,018	0,383	0,215	0,159	1,292	1,545
	m ³ /an	kg/an		kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an
Total	899	939968		411756	24652	21160	33413	2170	233	17	360	202	150	1214	1452

Fumier après entreposage

Dilution par les précipitations (%)	Volume	MS	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Al	Cu	Fe	Mn	Cl	Cl		
0															
Pertes à l'entreposage (%)		0	5,8												
		0	5,8												
	Volume l/j/tête	Masse kg/j/tête	MV kg/m ³	MS kg/t	N kg/t	P ₂ O ₅ kg/t	K ₂ O kg/t	Ca kg/t	Mg kg/t	Al kg/t	Cu kg/t	Fe kg/t	Mn kg/t	Cl kg/t	Cl kg/t
Poules	0,057	0,060	1046	438	24,7	22,5	35,5	2,3	0,25	0,018	0,383	0,215	0,159	1,292	1,545
	m ³ /an	kg/an		kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an	kg/an
Total	899	939968		411756	23223	21160	33413	2170	233	17	360	202	150	1214	1452

3. Fertilisation



3.1 Gestion liquide du fumier

Fertilisants organiques totaux et disponibles produits par l'entreprise

Masse de fumier à épandre kg

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fertilisants à épandre (kg)	11 048	21 165	30 944

Facteurs d'efficacité

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Efficacité 1ère année (%)	60	80	90
Arrière effet	5		
Facteur de perte	1,2	1	1
Facteur date d'épandage	1	1	1

Valeur fertilisante (kg)

Superficies de culture et doses d'épandage

Culture	Type de sol	Superficie cultivée (ha)	Doses d'épandages			Rendement attendu (t/ha)	Fumier épandu		Doses provenant du fumier			Doses provenant de l'engrais minéral								
			N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)		par ha (kg/ha)	Total (kg)	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)						
Mais-grain	Limon	70,0	170	80	75	8,7	9 322	652 566	28	1 979	80	5 600	132	9 211	142	9 921	0	0	0	0
Mais-grain	Limon	70,0	170	80	75	8,7	9 322	652 566	28	1 979	80	5 600	132	9 211	142	9 921	0	0	0	0
Soya	Limon	55,0	30	50	40	2,7	5 826	320 456	18	972	50	2 750	82	4 523	12	678	0	0	0	0
Orge	Limon	30,0	80	40	50	3,1	4 661	139 836	14	424	40	1 200	66	1 974	66	1 976	0	0	0	0
Blé	Limon	25,0	100	40	50	3,5	4 661	116 530	14	353	40	1 000	66	1 645	86	2 147	0	0	0	0
Avoine	Limon	22,0	50	35	40	2,9	4 079	89 728	12	272	35	770	58	1 267	38	828	0	0	0	0
-	-						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	-						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	-						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	-						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		272,0 ha	31 450 kg	16 920 kg	16 330 kg			1 971 681 kg		5 980 kg		16 920 kg		27 830 kg		25 470 kg	0 000 kg	0 000 kg	0 000 kg	

Dose restant à épandre **1 393** kg (ok si moins de 1 000 kg)
 ↳ Note: utiliser le plus de fumier possible en ajustant les superficies cultivées et les doses d'ép

3.2 Gestion solide du fumier

Fertilisants organiques totaux et disponibles produits par l'entreprise

Masse de fumier à épandre kg

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fertilisants à épandre (kg)	22 816	21 165	33 686

Facteurs d'efficacité

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Efficacité 1ère année (%)	60	80	90
Arrière effet	5		
Facteur de perte	1,2	1	1
Facteur date d'épandage	1	1	1

Valeur fertilisante (kg)

Superficies de culture et doses d'épandage

Culture	Superficie cultivée (ha)	Doses d'épandages			Rendement attendu (t/ha)	Fumier épandu		Doses provenant du fumier			Doses provenant de l'engrais minéral									
		N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)		par ha (kg/ha)	Total (kg)	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)							
Mais-grain	Limon	70,0	170	80	75	8,7	5 181	362 694	58	4 087	80	5 600	143	10 027	112	7 813	0	0	0	0
Mais-grain	Limon	70,0	170	80	75	8,7	5 181	362 694	58	4 087	80	5 600	143	10 027	112	7 813	0	0	0	0
Soya	Limon	55,0	30	50	40	2,7	3 238	178 109	36	2 007	50	2 750	90	4 924	0	0	0	0	0	0
Orge	Limon	30,0	80	40	50	3,1	2 591	77 720	29	876	40	1 200	72	2 149	51	1 524	0	0	0	0
Blé	Limon	25,0	100	40	50	3,5	2 591	64 767	29	730	40	1 000	72	1 791	71	1 770	0	0	0	0
Avoine	Limon	22,0	50	35	40	2,9	2 267	49 870	26	562	35	770	63	1 379	24	538	0	0	0	0
-	-						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	-						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	-						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	-						0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		272,0 ha	31 450 kg	16 920 kg	16 330 kg			1 095 855 kg		12 350 kg		16 920 kg		30 296 kg		19 457 kg	0 000 kg	0 000 kg	0 000 kg	

Dose restant à épandre **774** kg (ok si moins de 1 000 kg)
 ↳ Note: utiliser le plus de fumier possible en ajustant les superficies cultivées et les doses d'ép

3.3 Gestion solide séché du fumier

Fertilisants organiques totaux et disponibles produits par l'entreprise

Masse de fumier à épandre	939 968 kg		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Fertilisants à épandre (kg)	23 223	21 160	33 413

Facteurs d'efficacité

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Efficacité 1ère année (%)	60	80	90
Arrière effet	5		
Facteur de perte	1,2	1	1
Facteur date d'épandage	1	1	1

Valeur fertilisante (kg)	12 579	16 928	30 071
--------------------------	--------	--------	--------

Superficies de culture et doses d'épandage

Culture	Superficie cultivée ha	Doses d'épandages			Rendement attendu t/ha	Fumier épandu		Doses provenant du fumier						Doses provenant de l'engrais minéral							
		N kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	K ₂ O kg/ha		par ha kg/ha	Total kg	N		P ₂ O ₅		K ₂ O		N		P ₂ O ₅		K ₂ O			
Mais-grain Limon	70,0	170	80	75	8,7	4 442	310 957	59	4 161	80	5 600	142	9 948	111	7 739	0	0	0	0	0	0
Mais-grain Limon	70,0	170	80	75	8,7	4 442	310 957	59	4 161	80	5 600	142	9 948	111	7 739	0	0	0	0	0	0
Soya Limon	55,0	30	50	40	2,7	2 776	152 702	37	2 043	50	2 750	89	4 885	0	0	0	0	0	0	0	0
Orge Limon	30,0	80	40	50	3,1	2 221	66 634	30	892	40	1 200	71	2 132	50	1 508	0	0	0	0	0	0
Blé Limon	25,0	100	40	50	3,5	2 221	55 528	30	743	40	1 000	71	1 776	70	1 757	0	0	0	0	0	0
Avoine Limon	22,0	50	35	40	2,9	1 943	42 757	26	572	35	770	62	1 368	24	528	0	0	0	0	0	0
-	-					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	-					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	-					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	-					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-	-					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	272,0 ha	31 450 kg	16 920 kg	16 330 kg			939 534 kg		12 573 kg		16 920 kg		30 058 kg		19 270 kg		0 000 kg		0 000 kg		0 000 kg

Dose restant à épandre 434 kg (ok si moins de 1 000 kg)

Note: utiliser le plus de fumier possible en ajustant les superficies cultivées et les doses d'é

4. Séchage et entreposage des cultures



4.1 Gestion liquide du fumier

Culture	Séchage		Entreposage
	Propane l/t	Électricité kWh/t	Électricité kWh/t
Maïs-grain	48	2,8	16,8
Maïs-grain	48	2,8	16,8
Soya	13,8	2,5	18,6
Orge	13,8	2,5	34,5
Blé	13,8	2,5	29,5
Avoine	13,8	2,5	55,8
-			
-			
-			
-			

4.2 Gestion solide du fumier

Culture	Séchage		Entreposage
	Propane l/t	Électricité kWh/t	Électricité kWh/t
Maïs-grain	48	2,8	16,8
Maïs-grain	48	2,8	16,8
Soya	13,8	2,5	18,6
Orge	13,8	2,5	34,5
Blé	13,8	2,5	29,5
Avoine	13,8	2,5	55,8
-			
-			
-			
-			

4.3 Gestion solide séché du fumier

Culture	Séchage		Entreposage
	Propane l/t	Électricité kWh/t	Électricité kWh/t
Maïs-grain	48	2,8	16,8
Maïs-grain	48	2,8	16,8
Soya	13,8	2,5	18,6
Orge	13,8	2,5	34,5
Blé	13,8	2,5	29,5
Avoine	13,8	2,5	55,8
-			
-			
-			
-			

Tableau de consommation d'énergie (copier les valeurs désiré)

Culture	Teneur en eau initiale %	Mode de séchage	Séchage		Entreposage
			Propane l/t	Électricité kWh/t	Électricité kWh/t
Avoine	24	Gaz	22,5	4,1	55,8
	22	Gaz	18,2	3,3	
	20	Gaz	13,8	2,5	
	18	Gaz	9,4	1,7	
	18	Air ambiant	-	43,6	
Blé	24	Gaz	22,5	4,1	29,5
	22	Gaz	18,2	3,3	
	20	Gaz	13,8	2,5	
	18	Gaz	9,4	1,7	
	18	Air ambiant	-	23,2	
Canola	24	Gaz	22,5	4,1	35,5
	22	Gaz	18,2	3,3	
	20	Gaz	13,8	2,5	
	18	Gaz	9,4	1,7	
	18	Air ambiant	-	27,8	
Maïs-grain	40	Gaz	75,7	4,6	16,8
	35	Gaz	61,2	3,7	
	30	Gaz	48,0	2,8	
	25	Gaz	32,1	2,0	
	30	Air ambiant	-	274,0	
Orge	24	Gaz	22,5	4,1	34,5
	22	Gaz	18,2	3,3	
	20	Gaz	13,8	2,5	
	18	Gaz	9,4	1,7	
	18	Air ambiant	-	27,1	
Soya	24	Gaz	22,5	4,1	18,6
	22	Gaz	18,2	3,3	
	20	Gaz	13,8	2,5	
	18	Gaz	9,4	1,7	
	18	Air ambiant	-	23,2	

5. Résultats d'émissions de gaz à effet de serre et d'ammoniac



5.1 Émissions de gaz à effet de serre

Mode de gestion du fumier au bâtiment	Émissions sur le site de la ferme					Émissions à l'extérieur de la ferme			Total des émissions pour le mode de gestion du fumier
	Bâtiment (poulailler)	Entreposage du fumier	Opérations culturales	Consommation d'énergie fossile	Sous-total des émissions sur le site de la ferme	Consommation d'électricité	Production et transport des engrais minéraux	Sous-total des émissions à l'extérieur de la ferme	
	tonnes CO ₂ e/an					tonnes CO ₂ e/an			
Liquide	66	14	363	187	630	0,3	82	82	712
Solide	57	17	369	185	629	0,3	62	63	691
Solide séché	58	16	370	184	628	0,3	62	62	690

5.2 Émissions d'ammoniac

Mode de gestion du fumier au bâtiment	Émissions sur le site de la ferme			Total des émissions pour le mode de gestion du fumier
	Bâtiment (poulailler)	Entreposage du fumier	Opérations culturales	
	kg NH ₃ /an			
Liquide	16 709	843	19 231	36 783
Solide	1 371	1 981	18 504	21 856
Solide séché	1 037	1 699	18 494	21 230

Retourner à un des onglets suivants:

1. Caractéristiques de la production
2. Caractéristiques du fumier
3. Fertilisation
4. Séchage et entreposage des cultures

Imprimer les résultats d'émissions: