

Étude de la performance environnementale de systèmes de cages (conventionnelles, aménagées et volières) pour les poules pondeuses

par

Kadar BOUALLAGUI

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
COMME EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION DE
LA MAÎTRISE AVEC MÉMOIRE
EN GÉNIE DE L'ENVIRONNEMENT
M. Sc. A.

MONTRÉAL, LE 13/06/2018

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC



Kadar Bouallagui, 2018



Cette licence [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) signifie qu'il est permis de diffuser, d'imprimer ou de sauvegarder sur un autre support une partie ou la totalité de cette œuvre à condition de mentionner l'auteur, que ces utilisations soient faites à des fins non commerciales et que le contenu de l'œuvre n'ait pas été modifié.

PRÉSENTATION DU JURY
CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ
PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Robert Hausler, directeur de mémoire
Génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Stéphane Godbout, codirecteur de mémoire
Chercheur à l'institut de recherche et de développement en agroenvironnement

M. Fausto Errico président du jury
Génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Mathias Glaus, membre du jury
Génie de la construction à l'École de technologie supérieure

IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 15/05/2018

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de maîtrise, Robert Hausler, pour son support, sa disponibilité et ses conseils tout au long de ce projet.

Je désire remercier également mon directeur de recherche à l'IRDA, Stéphane Godbout, pour son soutien, ses encouragements, sa disponibilité et surtout de m'avoir donné la chance de travailler avec lui dans un institut important dans le domaine de l'environnement.

Finalement, je passe un remerciement très spécial à mon père Houcine Bouallagui, sans lui je ne serais jamais à L'ÉTS. Ainsi qu'à ma mère Habiba Arous qui m'a toujours soutenu sans limite.

ÉTUDE DES PERFORMANCES ENVIRONNEMENTALES DES TROIS SYSTÈMES DES CAGES (CONVENTIONNELLES, AMÉNAGÉES ET VOLIÈRES) CHEZ LES POULES PONDEUSES PAR ÉTABLISSEMENT D'UN BILAN AZOTÉ

Kadar BOUALLAGUI

RÉSUMÉ

La nouvelle tendance du bien-être animal pour les élevages a posé plusieurs interrogations sur les types des cages à installer pour les poules pondeuses afin de respecter leur bien-être et l'environnement au même temps. Ce mémoire présente une étude de la partie environnementale sous forme d'établissement des bilans azoté de chaque système de cage (cage conventionnelle, cage aménagée, volière) afin de les comparer.

Une revue de la littérature présente les recherches antérieures à ce mémoire ainsi que les résultats obtenus dans le même projet (volet bien-être) afin de mettre en parallèle les résultats obtenus.

Ensuite, des essais en laboratoire ont été effectués pour recueillir les données nécessaires afin d'établir un bilan d'azote complet pour les différents types de cages.

Après avoir récolté les résultats nécessaires, les bilans azotés correspondants à chaque agencement de cage, soit les cages conventionnelles, les cages aménagées et les volières, sont établies. On a constaté que les émissions en azote sont énormément plus importantes chez les volières avec un taux de 649.77 mg/poule/jour par rapport à 36.38 mg/poule/jour seulement chez les cages aménagées et 51.57 mg/poule/jour chez les batteries. La présente étude montre la fiabilité des cages aménagée qui possèdent le plus petit taux des émissions en ammoniac. Ce résultat est approuvé par les résultats de l'étude qui a traité le bien-être animal.

Cependant, il faut équiper les cages par un système de vidange de déjections très efficaces et avancé pour éviter les émissions qui peuvent être produites par les déjections parce que le taux d'azote est très important chez les cages aménagées.

Mots clés : agencement des cages, ammoniac, azote, bilan azoté.

STUDY OF ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF THREE EGG PRODUCTION SYSTEMS (CONVENTIONAL, ENRICHED AND AVIARY) FOR LAYING HENS BY ESTABLISHING A NITROGEN BALANCE

Kadar BOUALLAGUI

ABSTRACT

The new trend of animal welfare for farms raised several questions about the egg production system to be installed for laying hens to respect at the same time their well-being and the environment. This thesis presents a study of the environmental part of nitrogen balance of each cage system (conventional cage, enriched cage, aviary house) to compare them.

A review of literature presents the previous researches as well as the results obtained in the same project (well-being component) to compare the results obtained.

Some laboratory tests were conducted to collect the necessary data to establish a complete nitrogen balance for the different types of systems.

After collecting the necessary results, the nitrogen balances corresponding to each cage arrangement are established. Nitrogen emissions were found to be significantly higher in aviaries with a rate of 649.77 mg / hen / day compared to 36.38 mg / hen / day only in enriched cages and 51.57 mg / hen / day in conventional cages. This study shows the reliability of managed cages with the lowest ammonia emissions. This result is endorsed by the animal welfare's results.

However, it is necessary to equip the cages with a very efficient system and advanced drainage of manure to avoid the emissions that can be produced by the dung because the rate of nitrogen is very important in the managed cages.

Keywords: egg production system, ammonia, nitrogen, nitrogen balance.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
Éducation de la performance environnementale de systèmes de cages (conventionnelles, aménagées et volières) pour les poules pondeuses	I
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 REVUE DE LITTÉRATURE	3
1.1 Contexte	3
1.2 Systèmes des cages chez les poules pondeuses	8
1.2.1 Cages conventionnelles ou batteries	8
1.2.2 Cages aménagées ou enrichies	10
1.3 Bilan azoté	12
1.3.1 Alimentation	13
1.3.2 Émissions gazeuses azotées	14
1.3.3 Déjection	17
1.3.4 Litière	17
1.3.5 Rétention de la poule et œuf	18
1.4 Bien-être animal	18
CHAPITRE 2 MÉTHODOLOGIE	21
2.1 Protocole expérimental	21
2.1.1 Plan d'expérience et aperçu général	21
2.1.2 Durée	22
2.2 Préparation des chambres	22
2.2.1 Lavage des chambres	22
2.2.2 Nettoyage des lignes d'eau	23
2.2.3 Nettoyage des lignes pour l'échantillonnage d'air	23
2.2.4 Nettoyage des conduites de ventilation	23
2.3 Mesure du bruit de fond	23
2.4 Animaux	23
2.5 Alimentation des poules	24
2.5.1 Distribution de la moulée	24
2.5.2 Échantillonnage de la moulée	25
2.6 Gestion de l'eau	25
2.7 Contrôle des conditions d'élevage	25
2.7.1 Température	25
2.7.2 Ventilation	26
2.7.3 Luminosité	26
2.8 Gestion des déjections	26
2.9 Gestion des œufs	27
2.10 Mesure des concentrations de gaz	28

2.11	Échantillonnage des poussières.....	29
2.12	Mesures sur les animaux.....	29
2.13	Calcul des émissions.....	30
CHAPITRE 3 RÉSULTATS		33
3.1	Performance zootechnique.....	33
3.1.1	Évolution du poids	33
3.1.2	Poids de l'œuf et taux de ponte.....	35
3.1.3	Composition de l'œuf.....	36
3.1.4	Alimentation.....	38
3.1.5	Déjections.....	40
3.2	Bilan d'azote	42
3.3	Discussion	44
CONCLUSION 47		
LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....		57

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1.1 Principales sources de pollution	3
Tableau 1.2 Composants du bilan d'azote chez les CC, les CA et V	13
Tableau 1.3 Émissions d'ammoniac pour les différents agencements de cage selon la littérature	16
Tableau 2.1 Disposition des chambres dans le laboratoire BABE	21
Tableau 2.2 Descriptions des systèmes des cages et leurs dispositions dans le laboratoire BABE	22
Tableau 3.1 Évolution du poids des poules pondeuses selon l'agencement des cages utilisés	33
Tableau 3.2 Taux de ponte et poids des œufs chez les poules pondeuses en CC, CA et V	35
Tableau 3.3 Composition de la coquille des œufs chez les poules pondeuses en CC, CA et V	36
Tableau 3.4 Composition azoté de l'intérieur de l'œuf chez les poules pondeuse en CC, CA et V	37
Tableau 3.5 Consommation de l'alimentation et de l'eau chez les poules pondeuses en CC, CA et V	39
Tableau 3.6 Quantité d'azote consommé à travers l'alimentation par les poules pondeuses en CC, CA et V	39
Tableau 3.7 Déjection totale et azotée chez les poules pondeuses en CC, CA et V	40
Tableau 3.8 Paramètres initiaux de la litière utilisée	40
Tableau 3.9 Mesures des émissions au cours de l'expérience	41
Tableau 3.10 Conversion de l'émission ammoniacale en émission azotée chez les poules pondeuses en CC, CA et V	42
Tableau 3.11 Résultats obtenus au cours de l'expérience	42

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1.1	Évolution des émissions des différents polluants entre 1995 et 20155
Figure 1.2	Les principaux contributeurs aux tendances nationales des émissions de NH ₃ (Canada, 2017b).....6
Figure 1.3	Cage conventionnelle dans la laboratoire BABE9
Figure 1.4	Cage conventionnelle dans le laboratoire BABE10
Figure 1.5	Volière dans le laboratoire BABE.....12
Figure 1.6	Schéma général du bilan d'azote chez les poules pondeuses.....13
Figure 3.1	Gain de poids chez les poules pondeuses pour les trois systèmes de cage.....34
Figure 3.2	Poids des œufs des poules pondeuses dans les CC, CA et V au cours de temps de l'étude36
Figure 3.3	Produit alimentaire utilisé au cours de l'expérience.....38
Figure 3.4	Comparaison entre des composants du bilan d'azote chez les poules pondeuses en CC, CA et V en mg s'azote par jour par poule.....43
Figure 3.5	Schéma du bilan azoté pour les poules pondeuses en CC44

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

CC	Cage conventionnelle
CA	Cage aménagée
V	Volière
N	Azote
NH ₃	Ammoniac
SOX	Oxyde de soufre
NOX	Oxyde d'azote
COV	Composés organiques volatils
CO	Monoxyde de carbone
P _{2.5}	Particules fines
FPOQ	Fédération des producteurs d'œufs du Québec
FAWC	Farm Animal Welfare Council
BABE	Bilan agroenvironnemental des bâtiments d'élevage
SA	Système alternatif
NT	Azote total
N-NH ₄ ⁺	Azote ammoniacal
MS	Matière sèche
E _{gaz}	Émission de gaz
C	Concentration
Q	Débit
P	Pression
T	Température

XVIII

M	Masse molaire
C	Cage
S	Semaine

LISTE DES SYMBOLES ET UNITÉS DE MESURE

g	Gramme
kg	Kilogramme
m	Mètre
cm	Centimètre
po	Pouce
mol	Mole
°C	Degré Celsius

INTRODUCTION

La consommation des œufs au Canada a connu une forte augmentation de 32% entre les années 2004 et 2013. Elle atteint 634.4 millions de douzaines d'œufs en 2013. En 2016, la consommation moyenne s'élève à 19.9 douzaines d'œufs par habitant (Canada, 2017a; MAPAQ, 2014). La province du Québec assure 19.7% de la production des œufs de consommation au Canada. En 2010, 103 producteurs se partagent environ 4 millions poules pondeuses, pour une production annuelle de 100 millions de douzaines au Québec (Canada, 2017a; zootechnies, 2012).

L'élevage contribue considérablement à la pollution, les changements climatiques et la biodiversité. En effet, il a un grand impact sur l'environnement à cause de ses émissions dans l'air, l'eau et le sol. Le secteur agricole représente 5% des émissions totales en France métropolitaine en 2013, dont 98% sont sous forme de NH_3 .

Parmi ces émissions issues de l'élevage, l'aviculture est responsable de 15% des émissions d'ammoniac, d'où le NH_3 est reconnu comme étant le principal polluant présent sur les fermes avicoles (A.Gac, 2006; Citepa, 2015; Steinfeld et al., 2006).

Pour lutter contre cette pollution, le Québec a adopté en 2002 le Règlement sur les exploitations agricoles (Ministère du Développement durable, 2017) et depuis, la réglementation environnementale québécoise encadrant les activités d'élevage a évolué progressivement au cours des années. Le contrôle de l'ammoniac permet le contrôle de la pollution issue de l'élevage avicole en général, et l'élevage des poules pondeuses plus spécifiquement.

Parmi les outils de contrôle, on a l'agencement des cages. A ce niveau, un autre facteur s'impose : le bien-être animal. En effet, ce facteur connaît de plus en plus une importance à l'échelle mondiale. En Europe, Le bien-être des animaux est considéré comme une valeur fondamentale à laquelle les citoyens semblent particulièrement attachés, notamment en ce qui concerne l'élevage de volailles et plus particulièrement des poules pondeuses (Commission, 2008).

Cette présente étude s'inscrit à l'intérieur d'un programme de recherche existant et s'articulant autour du pôle « analyse du cycle de vie » et mode de production des œufs de consommation. Il est réalisé en partenariat avec la Fédération des producteurs d'œufs du Québec (FPOQ).

L'objectif spécifique est d'augmenter la performance environnementale des systèmes alternatifs de production d'œufs de consommation (aménagées et volières) en se basant sur un bilan d'azote complet comparatif.

Ce présent mémoire se divise en trois chapitres. Dans un premier temps, une revue de littérature traite trois points principaux qui touchent directement l'élevage des poules pondeuses.

D'abord, une présentation des différents systèmes de cages utilisées présentement. Ensuite, une explication détaillée du bilan azoté avec ses différentes composantes est traitée. Finalement, présentation des conclusions obtenus dans la partie bien-être du projet global afin de montrer une liaison avec les résultats de ce mémoire et conclure un résultat général. Le deuxième chapitre décrit la méthodologie utilisée pour obtenir les bilans azotés de chaque agencement de cage utilisé dans le cadre de cette étude. Le troisième chapitre présente les résultats obtenus pour les différents bilans azotés obtenus ainsi que la discussion dans laquelle on compare les bilans et on relie les résultats avec les résultats obtenue dans la partie bien être traitée par une collègue.

CHAPITRE 1

REVUE DE LITTÉRATURE

1.1 Contexte

La continuité de la vie sur la terre nécessite obligatoirement la conservation du sol, de l'eau et de l'air. Jour après jour, le monde a connu un développement important sur le mode de vie: technologies, transports développés, machinismes, agriculture moderne... Leur utilisation abusive par les humains a commencé à détruire le sol, l'eau et l'air: la pollution.

La protection de l'environnement est devenue un souci, d'où un contrôle de la pollution s'impose afin de minimiser son impact négatif sur le sol, l'air et l'eau. Pour diminuer la pollution, il faut tout d'abord savoir et comprendre ses sources.

Les trois sources principales de la pollution sont présentées dans le tableau 1.1

Tableau 1.1 Sources principales de la pollution (Vancouver, 2013)

Sources de pollutions	Description	Exemples
L'industrie	Les sources industrielles sont des installations ou des services publics exploités en vertu d'un permis de rejet aérien pour une décharge des polluants dans l'air.	-fabrication chimique -génération de l'énergie électrique -produits à base pétrolière

Tableau 1.1 (suite)

Sources de pollutions	Description	Exemples
Les sources locales	Les sources locales sont des sources commerciales, institutionnelles, résidentielles, agricoles et naturelles de petite taille, largement réparties, qui ne nécessitent normalement pas de permis d'évacuation de l'air, mais qui peuvent être réglementées par d'autres mécanismes.	-agriculture -source naturelle -distribution de carburant -déchets
Les sources mobiles	Les sources mobiles sont destinées à être déplacées et généralement impliquées dans le transport de personnes et de biens. Certains d'entre eux fonctionnent sur les routes et d'autres hors route.	-voitures -avions

Les six principaux polluants atmosphériques (oxydes de soufre [SO_x], oxydes d'azote [NO_x], composés organiques volatils [COV], monoxyde de carbone [CO], particules fines [P_{2,5}] et NH₃) ont connu des augmentations et des diminutions entre les années 1990 et 2015 au Canada (Canada, 2017a). La figure 1.1 montre les différents changements des émissions des différents polluant entre 1990 et 2015 au Canada.

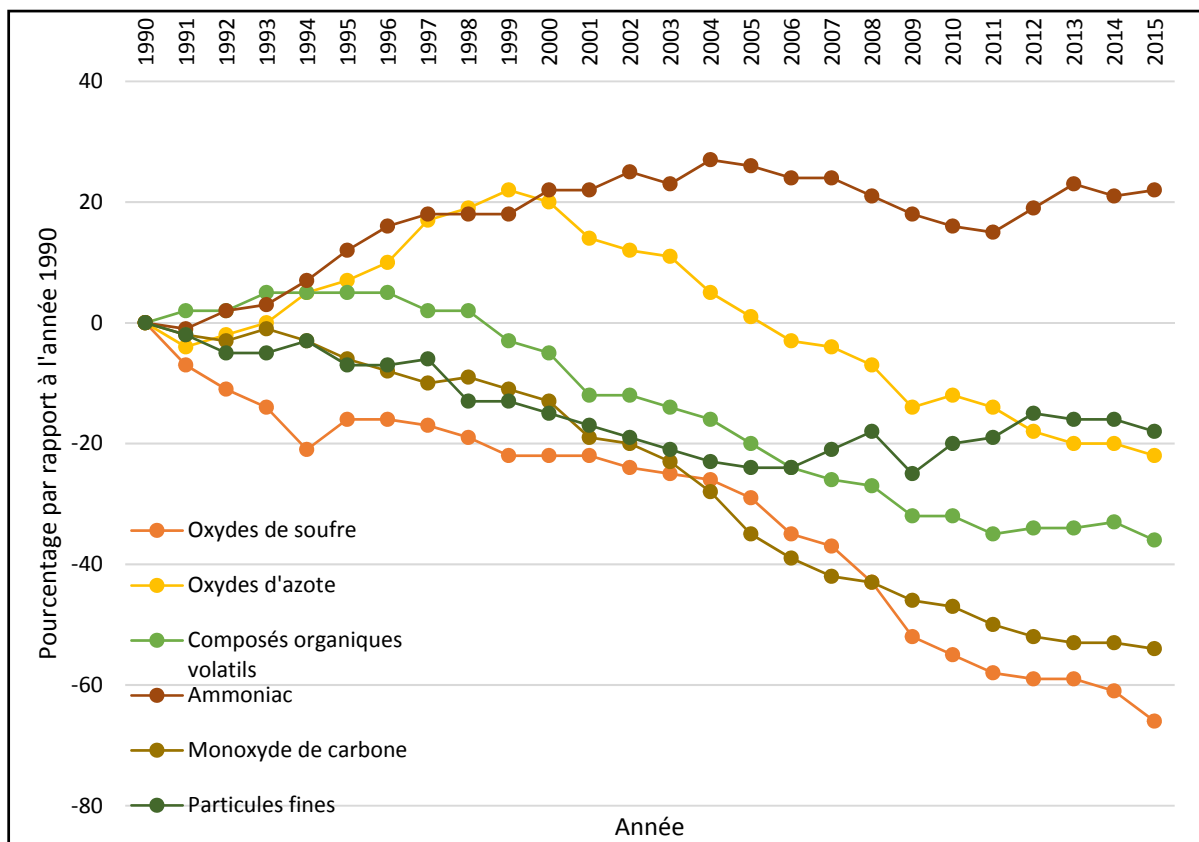


Figure 1.1 Évolution des émissions des différents polluants entre 1995 et 2015 (Canada, 2017a)

Les émissions en ammoniac ont augmenté en 2015 au Canada de 22% par rapport à l'année 1990. Par contre, les autres polluants ont tous subi une diminution en 2015. L'oxyde de soufre est 66% de moins.

L'ammoniac (NH_3) est un gaz incolore dont l'odeur est perceptible à hautes concentrations. Il peut être toxique si inhalé en grande quantité et est irritant pour les yeux, le nez et la gorge. Il peut aussi contribuer à la nitrification et à l'eutrophisation des systèmes aquatiques (Canada, 2017a).

L'agriculture (le bétail, les cultures agricoles et l'engrais) est responsable de la majorité des émissions d'ammoniac (Meleux et al., 2012). En effet, 90% des émissions de NH_3 (455 kilotonnes) en 2015 au Canada sont issues de cette source. La province du Québec génère 69 kilotonnes (14%) des émissions nationales de l'ammoniac (Canada, 2017a). La figure 1.2 présente les principaux contributeurs aux tendances nationales des émissions de NH_3 .

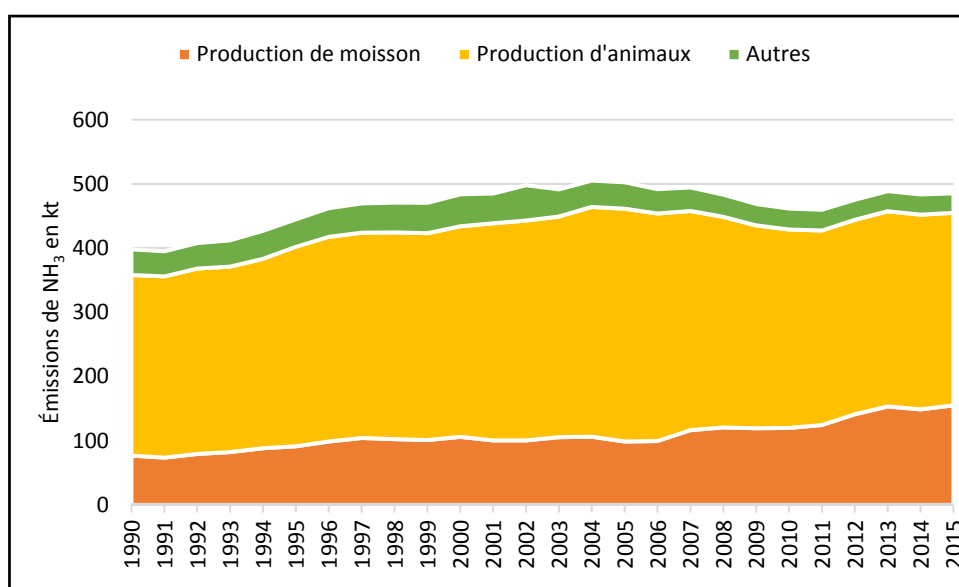


Figure 1.2 Les principaux contributeurs aux tendances nationales des émissions de NH_3 (Canada, 2017b)

La production animale est la source dominante des émissions sur toute la série chronologique. Elle a connu une augmentation constante des émissions entre 1990 et 2005, suivie d'une diminution de 2006 à 2015. Toutefois, les émissions dues à l'épandage d'engrais ont crû rapidement depuis 2006 en raison d'une augmentation des ventes et de l'utilisation d'engrais azotés synthétiques. Toutes les autres catégories d'émissions ont diminué de 24 % (Canada, 2017b).

L'aviculture joue un rôle important dans les émissions de NH_3 . Elle contribue de 30% des émissions d'ammoniac en 2015 avec une estimation d'atteindre 32.9% en 2030 (Vancouver, 2013).

Toutes les données trouvées soulignent l'importance de surveiller les émissions gazeuses de l'agriculture, plus précisément l'aviculture pour contrôler la pollution en azote. L'azote est présent tout d'abord dans l'alimentation des poules sous forme de protéines comme il est présent dans leurs déjections.

Le bilan d'azote en production animale peut être un moyen de détermination des sources de pertes d'azote dans l'environnement. Il permet de déterminer les étapes où ces pertes sont les plus importantes, les contrôler afin de les réduire avec des interventions bien ciblées.

Plusieurs recherches ont affirmé que le NH_3 est le principal gaz émis en production avicoles dans les fermes avicoles (Xin et al., 2003), suggérant que les autres gaz peuvent être négligés dans le but de simplifier les bilans et de cibler les interventions.

Une tendance de bien-être animal a commencé à émerger dans le monde. Cette tendance est accompagnée de pressions sociales et commerciales, alors les différentes fédérations provinciales et nationales mettent en place de nouvelles normes à cet effet. Un sondage effectué à l'union européenne a révélé une importance de la question bien-être animal chez les citoyens avec un degré de huit sur dix (Commission, 2008).

Dans le cas des poules pondeuses, la société actuelle a rejeté le concept des cages conventionnelles. Elle trouve que cet agencement ne répond pas aux critères de vie essentielles des poules. Ce système des cages est alors sujet d'un remplacement par des cages aménagées ou par un système alternatif offrant un environnement de vie convenable aux besoins des poules.

Aux états unis, environ 95% des producteurs de poules pondeuses utilisent des cages conventionnelles (Zhao et al., 2015b). Au canada, 72% des élevages se font dans des cages conventionnelles en 2015 (Gaulin, 2015).

Les cages conventionnelles ont été interdites en Europe depuis le début de 2012. Pour les États-Unis cette loi a été appliquée en Californie et au Michigan, en attendant que les autres états l'appliquent d'ici 2030 (Desrosiers, 2012). Au Québec, la loi a changé et le système de logement conventionnel pour les poules pondeuses n'est plus accepté à compter du 1er janvier 2015 (Québec, 2014).

1.2 Systèmes des cages chez les poules pondeuses

L'élevage des poules pondeuses dans le but commercial a principalement trois systèmes de cages différents : les cages conventionnelles ou batteries, les cages aménagées ou enrichies, et les logements sans cages (les volières et en plein air) (Desrosiers, 2012).

1.2.1 Cages conventionnelles ou batteries

Au Québec, selon le règlement sur les conditions de production et de conservation à la ferme et sur la qualité des œufs de consommation, on a (Olivier, 2013) :

- La superficie allouée par poule est:
 - ✓ Au moins 410 cm²(64 po²) par pondeuse qui produit des œufs blancs;
 - ✓ Au moins 451 cm² (70 po²) par pondeuse qui produit des œufs bruns (Québec, 2017a);
- Chaque cage héberge cinq ou six pondeuses;
- Les cages sont organisées en rangées et les rangées sont superposées les unes aux autres (jusqu'à dix niveaux);

- La cage doit disposer d'une mangeoire d'au moins 10 cm à l'extérieur, mais elle est souvent disposée sur toute la longueur de la cage ; et d'un système d'abreuvement approprié, généralement constitué de deux pipettes par cage;
- Aucun enrichissement du milieu n'est obligatoire au Québec;
- Le sol est en grillage (Olivier, 2013);

Les cages conventionnelles ont été développées pour réduire les maladies et blessures causées par le comportement de picage, simplifier l'élevage et en augmenter l'efficacité (Harlander, 2015).



Figure 1.3 Cage conventionnelle

1.2.2 Cages aménagées ou enrichies

Les cages aménagées sont des cages conventionnelles qu'on leur ajoute des nids, des perchoirs, une aire de grattage-picotage et la surface utilisée par poule est plus grande.

Certaines décisions finales sont prises depuis le 1er avril 2017 (Québec, 2017b) :

- Pour les logements avec cages enrichies, il doit y avoir une hauteur d'au moins 45 cm (17,7po) entre le plancher et le plafond de chaque niveau.
- L'espace de nid doit être fermé sur au moins trois côtés pour fournir une aire privée et ombragée.
- Il doit y avoir un espace d'au moins 15,2 cm (6 po) entre l'aire des nids et l'espace utilisable à la mangeoire.
- Chaque poule doit disposer d'un espace de nid d'au moins 65 cm² (10 po²).
- Les perchoirs doivent être positionnés de manière à réduire les salissures par fientes des oiseaux, des mangeoires ou des abreuvoirs situés en dessous.
- Les perchoirs doivent mesurer au moins 1,9 cm (0,75 po) de largeur ou de diamètre pour permettre aux poules d'enrouler leurs orteils autour du perchoir et de s'y tenir en équilibre dans une posture.
- Chaque poule doit disposer d'au moins 24,8 cm² (3,8 po²) [612,9 cm² (95 po²) par groupe de 25 oiseaux] de surface au sol pour picorer.



Figure 1.4 Cage aménagée

1.2.3 Systèmes alternatifs ou volières

La fédération des producteurs d'œufs de consommation du Québec définit la volière comme un milieu où les poules vivent en liberté dans un poulailler, sur des planchers faits de grillages métalliques ou de lattes. Une nouvelle réglementation est rentrée en vigueur au 1er avril 2017 (Québec, 2017b) :

- Il doit y avoir une hauteur d'au moins 45 cm (17,7 po) entre le plancher et le plafond de chaque niveau.
- Chaque poule doit disposer d'au moins la surface utilisable suivante (qui n'inclut pas l'espace de nid) :
 - ✓ Poulaillers à un niveau : toute litière : $1\,900\text{ cm}^2$ ($294,5\text{ po}^2/2,05\text{ pi}^2$),
 - ✓ Un niveau : combinaison de grillage, lattes, litière : 929 cm^2 ($144\text{ Po}^2/1\text{ pi}^2$),
 - ✓ Plusieurs niveaux : combinaison de grillage, lattes, litière : 929 cm^2 ($144\text{ po}^2/1\text{ pi}^2$),
- L'espace de nid doit être fermé sur au moins trois côtés pour fournir une aire privée et ombragée.
- Il doit y avoir un espace d'au moins 15,2 cm (6 po) entre l'aire des nids et l'espace utilisable à la mangeoire.
- Chaque poule doit disposer d'un espace de nid d'au moins $83,2\text{ cm}^2$ ($12,9\text{ po}^2$) [1 m^2 ($10,8\text{ pi}^2$) par groupe de 120 poules] sachant que l'espace de nid ne doit pas être inclus dans le calcul de l'allocation d'espace utilisable.
- Les perchoirs doivent mesurer au moins 1,9 cm (0,75 po) de largeur ou de diamètre pour permettre aux poules d'enrouler leurs orteils autour du perchoir et de s'y tenir en équilibre dans une posture détendue.
- Pour les systèmes à un niveau, les poules doivent disposer d'au moins un site de picorage pour chaque groupe de 1 500 poules (ex. : balles de foin ou de paille, gri insoluble ou écales d'avoine, ou autre matériau qui favorise le picorage). Lorsque plusieurs sites sont fournis, ils doivent être distribués également.

- Dans les systèmes à plusieurs niveaux, au moins 33 % de l'espace utilisable doit être recouvert.



Figure 1.5 Système en volière dans le laboratoire BABE

1.3 Bilan azoté

Pour établir un bilan azoté pour un élevage comme celui des poules pondeuses, un schéma général et simple explique le phénomène :

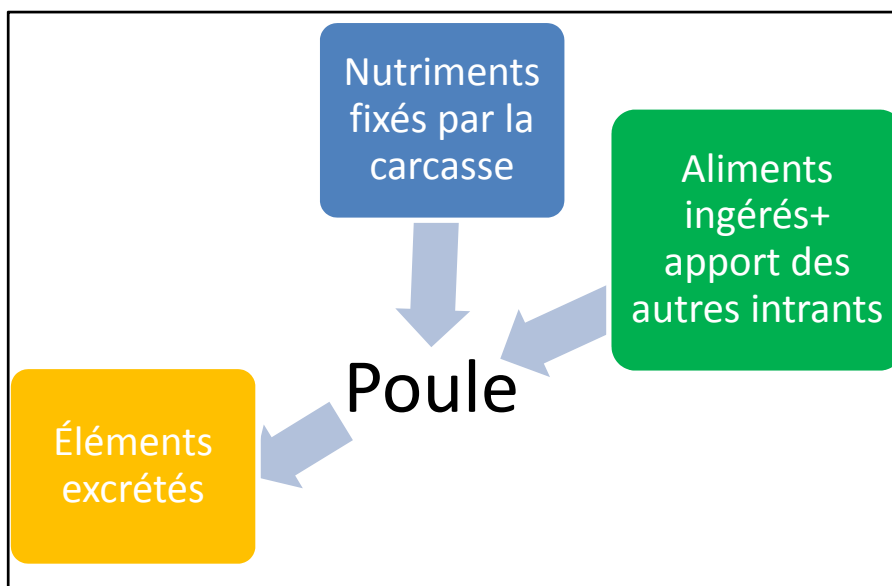


Figure 1.6 Schéma simplifié du bilan d'azote chez les poules pondeuses

Les entrants et les sortants peuvent différer selon l'agencement des cages choisi. Le tableau 1.2 montre les éléments participant dans le bilan selon le type de cage appliqué.

Tableau 1.2 Les composants du bilan d'azote chez les CC, les CA et V

Agencement des cages	Aliments ingérés+ apport des autres intrants	Éléments excrété
CC	Alimentation	Œufs + Émissions + Déjection
CA	Alimentation	Œufs + Émissions + Déjection
SA	Alimentation + Litière	Œufs + Émissions + Déjection

1.3.1 Alimentation

Comme déjà mentionné précédemment, l'alimentation est la responsable de l'apport en azote dans un bilan azoté.

D'après le ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales d'Ontario, l'azote (N) contenu dans les protéines alimentaires fournit les acides aminés indispensables à l'animal pour assurer sa croissance (Wright, 2003). Les protéines étant la source d'azote largement majoritaire de l'alimentation, leur apport et leur métabolisme sont souvent rapportés à l'azote (Balage et al., 2007). Les légumineuses ont la capacité de capter l'azote à l'aide des bactéries, le réduire en ammoniac et l'intégrer dans les acides aminés (Gates, 2000). Par la suite, les poules digèrent les protéines de son alimentation, forment des acides aminés qui les réutilisent pour donner des nouvelles protéines responsables de leur croissance et de la production des œufs. Mais pour former ces protéines, les poules ingèrent environ la moitié d'azote présent dans les acides aminés consommés comme alimentation. Le reste n'est pas digéré, ou est transformé en molécule urinaire et est excrété (Latshaw et Zhao, 2011).

La détermination des besoins d'une poule en protéines sont basés sur la croissance, la maintenance et le développement des plumes. Sachant que la carcasse contient approximativement 18% des protéines, alors, le besoin en protéine journalier pour la croissance peut être calculer par la multiplication du gain journalier en poids en gramme par 0.18 qui représente la protéine dans la carasse et diviser par 0.61(61% d'efficacité d'utilisation des protéines alimentaires) (Leeson et Summers, 2001).

Pour simplifier ce qui est décrit au-dessus par cette formule :

$$\text{Besoin en protéine} = \text{gain du poids journalier} * 0.18 / 0.61 \quad (1.1)$$

La teneur en protéines brutes du produit est obtenue en multipliant la valeur obtenue lors de la détermination de la teneur en azote par le facteur conventionnel 6,25 pour les aliments pour animaux (Aubry, 2012).

1.3.2 Émissions gazeuses azotées

Le NH_3 est reconnu comme étant le principal polluant présent sur les fermes avicoles (Xin et al., 2003).

Cela explique le choix de considérer uniquement l'ammoniac comme représentant d'azote dans le bilan azoté au cours de cette étude.

Par conséquent, basé sur le poids moléculaire de chaque élément, pour chaque gramme d'ammoniac émis, il y a 0,82 g d'azote pouvant être considéré dans le bilan.

Plusieurs études antérieures se sont intéressées à l'impact de l'azote issu d'un élevage des poules pondeuses sur l'environnement. Elles présentent soit les concentrations (g NH₃/g d'air) ou les émissions (g NH₃/unité de temps/poules ou UA).

Pour un bilan, c'est le nombre de gramme d'azote émis durant une période de temps et le nombre d'animal, donc c'est les valeurs d'émissions qui doivent être compilées.

En effet, les émissions sont une multiplication de débit et concentration.

Le bilan étudié dans ce travail est un bilan d'azote, alors pour les émissions, on considère l'ammoniac. Donc, on doit passer des émissions en NH₃ vers les émissions en N comme suit (Bengoa et al., 2014):

$$N(14g/mol) \text{ } H_3(3-1g/mol) = 17g/mol \quad (1.2)$$

Signifie que si $E_{NH_3} = x$ g de NH₃/unité de temps. D'où :

$$E_N = x * 14/17 - N - NH_3 / \text{unité de temps} \quad (1.3)$$

Comme mentionné dans la littérature (Xin et al., 2003), les techniques utilisées et le type de logement influencent les émissions.

Depuis des années, certains chercheurs ont traité les émissions en azote selon plusieurs techniques utilisées comme la gestion de déjection (Fournel et al., 2012) ou bien l'agencement des cages comme mentionné Hinz qui a données une comparaison des concentrations en azote pour le système aménagé et celui alternatif (Hinz, Winter et Linke, 2010).

Récemment, des chercheurs ont fourni une comparaison détaillée des concentrations en ammoniac aux États Unis pour les trois systèmes des cages traités au cours de cette étude (Zhao et al., 2015).

Dans le tableau (Tableau 1.3), les différentes valeurs de l'émission rencontrée dans la littérature sont présentées.

Tableau 1.3 Émissions d'ammoniac pour les différents agencements de cage selon la littérature

	Cages conventionnelles	Cages aménagées	Systèmes alternatifs
(Shepherd et al., 2015)	0.082 g/poule/j	0.054 g/poule/j	0.112 g/poule/j
(Koerkamp et al., 1998)	19.8mg/h/poule= 0.4752 g/poule/j	N/A	30.9mg/h/poule= 0.7416 g/poule/j
(Hinz, Winter et Linke, 2010)	N/A	2.41- 13.17mg/h/poule= 0.057-0.316 g /poule/j	12.29-164.78 mg/h/poule = 0.294- 3.954g/poule/j

D'après Fournel, les émissions en ammoniac pour les poules en cage conventionnelle pour les mêmes conditions de la présente recherche sont de 24.15 g/poule/an= 66.164 mg/poule/j.

Les émissions de N₂O sont de 2.48 g/poule/an=6.794 mg/poule/j (Fournel et al., 2012).

Alors : 66.164 → 1

6.794 → x

$X = 6.794 / 66.164 = 0.10268$.

X est négligeable par rapport aux émissions en ammoniac.

1.3.3 Déjection

La déjection est le maillon fort dans le bilan. Elle contribue fortement aux émissions.

Comme déjà mentionné dans la partie alimentation, environ la moitié d'azote présent dans les acides aminés consommés comme alimentation se transforme en molécule fécale.

Une étude est faite aussi au sein de l'IRDA concernant la gestion de la déjection sur des cages conventionnelles.

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 (Pelletier, 2011)

Les recherches ont traité l'influence des trois modes de gestion de fumier sur les émissions en NH_3 pour les cages conventionnelles. En conclusion, il a été confirmé que le meilleur mode de gestion de fumier est celui de séchage de fiente avec émission totale de 21230 kg de NH_3 par an = 58.16 kg de NH_3/j = 0.48 kg de $\text{NH}_3/\text{poule/j}$ = 0.395 kg de N- $\text{NH}_3/\text{poule/j}$.

Le poids total de déjection est de 49.78g/poule/an (Pelletier, 2011).

1.3.4 Litière

La litière se met sur le sol. Sur laquelle, les poules pratiquent le picotage et le grattage afin de satisfaire leurs besoins. Aussi, elles prennent des bains de poussière afin de maintenir un bon plumage. Une litière de bonne qualité doit absorber l'humidité et isoler le froid (OSAV, 2016).

Le support de litière joue un rôle dans la composition du fumier. Ainsi la capacité d'absorption des liquides varie suivant la nature de la litière (paille, copeaux...) (CORPEN, 2006).

La litière joue aussi un rôle de support des déjections des poules pondeuses. Elle se transforme par la suite en fumier. Une augmentation de la quantité apportée affecte la concentration en élément fertilisant dans le fumier (CORPEN, 2006).

1.3.5 Rétention de la poule et œuf

La rétention en protéine est estimée en fonction de la composition corporelle et du poids de l'animal ou du gain de poids (CORPEN, 2006).

La rétention de la poule dépend de l'alimentation, plus précisément de sa composition en protéine. Comme déjà mentionné dans la partie alimentation, la carcasse de la poule pondeuse se compose de protéine avec un taux de 18%.

Au cours de sa croissance, la poule doit avoir assez de protéine pour maintenir les 18% de sa carcasse, pour développer ses plumes et son corps, pour son entretien et pour produire des œufs (Leeson et Summers, 2001).

La coquille de l'œuf ne contient pas des protéines. D'après la littérature, un œuf frais contient, 66% de l'eau, 12% des protéines (Leeson et Summers, 2001).

1.4 Bien-être animal

Depuis quelques années, l'Homme a commencé à s'intéresser au bien-être animal. Les consommateurs ont subi des pressions sur les producteurs pour arriver à un élevage respectant le monde animal. À titre d'exemple, on trouve Burger King qui a commencé depuis 2012 à utiliser les œufs de poules en système de volière. Aussi, Starbucks vise n'utiliser que des œufs de poules élevées en liberté en 2020.

Trois stratégies doivent être respectées au même temps pour créer un environnement respectant le bien-être des poules pondeuses. D'abord, il faut avoir un bien-être physique avec un bon état de santé et de fonctionnement physique. Ensuite, il faut avoir la capacité d'exprimer des

comportement innés ou spécifiques à l'espèce. Finalement, il faut offrir un bien-être psychologique, c'est-à-dire minimiser les états affectifs désagréables (Harlander, 2015).

En 1993, le Farm Animal Welfare Council (FAWC) a développé quelques notions. Il a repris cinq libertés pour les faire correspondre à cinq nouvelles libertés:

- 1) absence de faim, de soif et de malnutrition;
- 2) absence d'inconfort;
- 3) absence de la douleur, de blessure et de maladie;
- 4) absence de la peur et de la souffrance;
- 5) libre d'exprimer des comportements normaux et naturels à leur espèce.

Le bien-être animal se traduit par le niveau de satisfaction ainsi que l'aptitude de cet animal à s'adapter à son environnement.

En effet, certains scénarios peuvent arriver :

- L'animal peut s'adapter facilement au milieu sans que le problème de bien-être se pose.
- L'animal développe des mécanismes d'adaptation à son environnement.
- L'impossibilité de l'adaptation au milieu et par suite la perte de l'animal (Mahmoudi, 2016).

Les résultats de la recherche de la deuxième partie de ce projet ont montré que la production des œufs est plus importante chez les systèmes de cage conventionnels et aménagés. Par contre la production est moins faible chez les volières. Aussi la qualité des œufs est favorable chez les systèmes en cages par rapport aux volières (Mahmoudi, 2016).

CHAPITRE 2

MÉTHODOLOGIE

2.1 Protocol expérimental

2.1.1 Plan d'expérience et aperçu général

- Lieu de l'expérimentation

Les expérimentations se sont déroulées au laboratoire sur le Bilan agroenvironnemental des bâtiments d'élevage (BABE) de l'IRDA de Deschambault. Ce bâtiment comprend 12 chambres expérimentales complètement indépendantes les unes des autres et de mêmes dimensions, c'est-à-dire de 1 200 mm de largeur, de 2 440 mm de profondeur et de 2 440 mm de hauteur. Chacune des chambres est hermétique afin de prévenir l'échange d'air entre les différentes pièces. Chaque chambre est ventilée, chauffée et éclairée séparément.

- Plan d'expérience et description des systèmes

Le plan d'expérience pour cette expérimentation est un plan complètement aléatoire avec mesures répétées. L'unité expérimentale pour cette expérimentation représente une chambre du laboratoire BABE. Il y aura 30 poules hébergées par chambre. L'expérimentation comprend 3 systèmes. Le tableau 2.1 présente leur disposition dans le laboratoire.

Tableau 2.1 Disposition des chambres dans le laboratoire BABE

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CA	CC	SA	CA	SA	CC	SA	CC	CA	SA	CA	CC

Le tableau 2.2 donne la description des cages .

Tableau 2.2 Descriptions des systèmes des cages et leurs dispositions
dans le laboratoire BABE

No.	Systèmes	Description
1	Cages conventionnelles	Cages conventionnelles offrant une surface de 493 cm ² par poule. Gestion des déjections : séchage des fientes et évacuation régulière par courroie.
2	Cages aménagées	Cages aménagées, avec nids, perchoirs et aire de grattage et picotage, offrant une surface de 780 cm ² par poule. Gestion des déjections : séchage des fientes et évacuation régulière par courroie.
3	Système alternatif	Système de volière, avec nids, perchoirs et litière, offrant une surface de 1111 cm ² par poule. Gestion des déjections : en fonction de la zone, litière accumulée et évacuation en fin d'élevage ou séchage des fientes et évacuation régulière par courroie.

2.1.2 Durée

A leur entrée, les poules sont âgées de 19 semaines, elles restent dans les chambres pour une durée de 11 semaines, dont une semaine d'acclimatation et 10 semaines de mesures.

2.2 Préparation des chambres

2.2.1 Lavage des chambres

Les 12 chambres sont lavées et fumigées avant l'arrivée des animaux. Les trémies, même si elles ne sont pas utilisées, les planchers de béton et les dalots ont aussi été lavés.

2.2.2 Nettoyage des lignes d'eau

Les lignes d'eau (abreuvement) sont actionnées afin de laisser l'eau s'écouler durant 30 s.

2.2.3 Nettoyage des lignes pour l'échantillonnage d'air

Les lignes d'échantillonnage d'air sont nettoyées en passant un compresseur dans chacune des lignes pour une durée d'environ deux à cinq minutes.

2.2.4 Nettoyage des conduites de ventilation

Les conduites, pour chacune des chambres, ont été nettoyés afin d'enlever la poussière qui s'y trouve.

2.3 Mesure du bruit de fond

Des mesures de gaz seront prises en continu une semaine avant l'entrée des animaux afin d'évaluer le bruit de fond (résiduel accumulé dans le système d'échantillonnage) au niveau des gaz. Cela permet d'apporter les correctifs appropriés, aux mesures qui sont obtenues durant l'expérimentation.

Il faut s'assurer que les chambres sont fermées et que la ventilation est en marche.

2.4 Animaux

Un total de 360 poules (30 poules par chambre) est utilisé pour ce protocole expérimental. Les poules sont fournies par la FPOQ.

A leur arrivée, les poules sont pesées et identifiées individuellement au moyen de deux bagues en plastique colorées au niveau des pattes et d'une bague métallique au niveau de l'aile. Elles sont allouées aléatoirement à l'un des traitements.

Dans chaque chambre, dix poules ont une bague de couleur spécifique afin de les identifier plus facilement. Ces poules font l'objet de mesures particulières répétées au cours du temps (poids, état corporel).

Les cas de mortalité sont répertoriés en précisant la date et le numéro de la poule. Les poules mortes sont pesées. Le cas échéant, des autopsies peuvent être réalisées afin de déterminer la cause de la mort.

En fin d'expérimentation, les poules sont pesées individuellement puis euthanasiées ou cédées à des tiers.

2.5 Alimentation des poules

2.5.1 Distribution de la moulée

Les poules de toutes les chambres sont alimentées ad libitum, en alimentation sèche. Il faut donc s'assurer qu'elles ne manquent jamais de nourriture. Toutefois, il faut aussi éviter de surcharger les auges à un rythme excédant la consommation des poules, ce qui fait en sorte que de la moulée puisse stagner et engendrer un dédain de la part de celles-ci.

Pour ce faire, chaque matin, les auges sont remplies afin que les poules aient accès à de la nourriture durant toute la journée. À ce même moment, l'état des auges est vérifié. Si des résidus de moulée mélangés à l'eau ou des excréments s'y trouvent, ils doivent être retirés et déposés sur la courroie avec le reste des déjections.

En fin d'après-midi, les auges sont vérifiées et remplies, si nécessaire, afin que les poules ne manquent pas de nourriture jusqu'au lendemain matin.

Aux deux jours, les trémies sont vidées pour s'assurer que les poules mangent toute la moulée.

2.5.2 Échantillonnage de la moulée

Un échantillon (une poignée) est prélevé par sac. Les échantillons sont cumulés sur l'ensemble de la période d'élevage. Après homogénéisation, trois analyses sont réalisées afin de déterminer la teneur en MS, en protéines, en NT, en gras, en NDF, en ADF, en fibres brutes et en minéraux (P, K, Ca, Mg, Al, B, Cu, Fe, Mn, Zn et Na).

2.6 Gestion de l'eau

Pour l'abreuvement, chaque chambre est équipée d'une sortie d'eau. À partir de celle-ci, l'eau est acheminée aux cages par l'entremise de tubes transparents. L'eau est disponible à volonté. Un compteur d'eau est installé dans chacune des chambres. Ces derniers doivent être relevés toutes les semaines. Cela se fait simplement en notant le chiffre indiqué sur le compteur avec la date et l'heure correspondant au moment de la lecture. Un système d'acquisition permet également d'enregistrer la consommation d'eau en continu, laquelle peut être contre validée par la lecture des compteurs.

2.7 Contrôle des conditions d'élevage

2.7.1 Température

La température de consigne est fixée à 23°C pour toute la durée de l'élevage. La température et l'humidité relatives sont mesurées grâce à des sondes (Model CS500, Campbell Scientific, Inc. Canada Corp.) installées dans chacune des chambres, près des sorties d'air.

Ces dernières sont reliées à un système d'acquisition de données, lequel prend les mesures en continu et fournit une moyenne aux 15 minutes.

2.7.2 Ventilation

Le système de ventilation est indépendant pour chaque chambre et comprend un ventilateur d'extraction à vitesse variable pour chacune d'elles.

L'entrée d'air principale est commune pour toutes les chambres, puis se subdivise en 12 afin d'alimenter chacune d'entre elles en air frais. Avant cette subdivision, une unité centrale de chauffage permet de chauffer l'air en période froide. Une seconde unité de chauffage est installée pour chacune des subdivisions afin de permettre un ajustement optimal de la température de chacune des chambres.

Le débit de ventilation est calculé en mesurant la différence de pression statique de l'air qui se trouve dans le conduit en aval de chaque chambre. Pour ce faire, une sonde à pression est combinée à un diaphragme à orifice contrôlée (Iris Damper, 204 mm de diamètre, Continental fan manufacturer inc., modèle : 200 Original; précision : $\pm 5\%$), et ce pour chacune des chambres.

Le débit est alors calculé en fonction de la pression statique et du paramètre « k » qui est fonction de l'ouverture de l'Iris. Les sondes mesurant la pression statique seront reliées au système d'acquisition de données, cette dernière est donc mesurée en continu, et la moyenne est fournie aux 15 minutes.

2.7.3 Luminosité

Le système d'éclairage apporte une intensité de 5 à 10 lux selon les besoins (éviter le cannibalisme). La période d'éclairage varie avec l'âge des poules selon les recommandations du fournisseur

2.8 Gestion des déjections

Dans les trois systèmes étudiés, les déjections présentes sur les courroies sont grattées, pesées et échantillonnées deux fois par semaine (lundi et jeudi).

Les échantillons sont stockés en chambre froide à 4°C. Toutes les trois semaines, les prélèvements de la semaine sont mélangés et homogénéisés afin d'obtenir un échantillon par chambre. Cet échantillon est acheminé au laboratoire d'analyse agroenvironnementale de l'IRDA pour déterminer le pH, la teneur en MS et en NT, l'azote ammoniacal (N-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).

Dans les systèmes avec volière, de la litière (sciure) est disposée sur le sol du premier niveau afin de constituer une couche d'environ 10 cm. Avant l'arrivée des animaux, un échantillon est prélevé pour analyse. Durant toute la durée de l'élevage, les déjections s'accumulent sur la litière. En fin d'élevage, le fumier est évacué, pesé et échantillonné pour analyse.

2.9 Gestion des œufs

Les œufs sont récoltés, dénombrés et classés (propres, sales, fêlés/cassés, mous) par chambre tous les jours, au matin. Les œufs intacts (propres et sales) sont pesés par chambre chaque jour. Dans le cas des cages aménagées et des volières, les œufs sont classés en plus en fonction de la localisation (nid, grattoir/litière ou autre), le lundi et le jeudi des semaines une, quatre, sept et dix.

Toutes les trois semaines, le mardi, un échantillon de 20 œufs est prélevé aléatoirement dans chacune des chambres afin d'en déterminer la composition (10 œufs) et la qualité interne et externe (10 œufs). Les analyses de composition sont réalisées au laboratoire de l'IRDA à Québec : MS, protéines, azote total (NT) et minéraux (P, K, Ca, Mg, Al, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Mo, Na, Ni, Cd, Cr, Co, Pb, S, Ba et Sr).

Les analyses de qualité sont réalisées à BABE et portent sur : le taux d'inclusion par mirage, l'indice de forme, le poids de l'œuf et des composants (blanc, jaune, coquille), l'épaisseur de la coquille, la résistance de la coquille (force maximale de rupture), le pH du blanc.

2.10 Mesure des concentrations 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 NH_3 est mesurée par spectroscopie non dispersive dans l'infrarouge (NDIR, Seimens, modèle Ultramat 6E, Munich, Allemagne, précision 1 %).

La concentration des GES (CO_2 et CH_4) est analysée à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse (GC ; Varian, modèle 3600, Walnut Creek). La stratégie retenue pour l'analyse chromatographique est la séparation des trois gaz sur des colonnes remplies de Porapak Q (Waters Corporation, USA).

Le CH_4 est quantifié avec un détecteur à ionisation de flamme (FID). Le CO_2 est mesuré avec un détecteur à capture d'électrons (ECD).

Après chaque période de 15 minutes, les concentrations des quatre gaz sont mesurées.

La concentration en NH_3 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 sont installés avant chaque essai à l'entrée des lignes de tubes pour prévenir la contamination et tout dommage aux analyseurs de gaz. La température du système d'analyse des gaz (analyseurs, valves solénoïdes, tubes en Teflon™) est maintenue à 35 °C pour éviter que l'apparition de condensation à l'intérieur.

Tous les tubes possèdent 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.

2.11 Échantillonnage des poussières

Les poussières sont mesurées à l'aide de filtres prévus à cette fin. Les filtres sont pesés, puis installés dans chacune des chambres, protégés à l'aide d'un boîtier conçu à cette fin. L'échantillonnage se fait en continu à partir d'une pompe qui prélève deux litres d'air par minute, et le débit est ajusté à l'aide d'un débitmètre à bille, et ce, pour chacune des chambres. Les filtres sont installés le lundi des semaines une, quatre, sept et dix, et sont récoltés après une semaine. Ils sont ensuite pesés, selon la procédure déterminée à cette fin. La concentration de poussières sont alors obtenue par différence de masse, et l'émission peut être calculée à l'aide du débit. Des nouveaux filtres doivent alors être pesés, puis installés.

2.12 Mesures sur les animaux

Dans chaque chambre, 10 poules ont été sélectionnées aléatoirement en début d'expérimentation et identifiées au moyen de bagues de couleur spécifique. Ces poules sont prélevées des cages le mercredi des semaines 1, 4, 7 et 10 pour un suivi individualisé de l'état corporel à savoir :

- Poids corporel;
- État du plumage;

- État des pattes;
- Déformation du bréchet;
- Présence de blessure (nombre, localisation, sévérité).

2.13 Calcul des émissions

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

$$E_{gaz} = (C_{out} - C_{in}) * Q / N * (P_{atm} - P_v) / (287 * T) * M_{gaz} / M_{air} * 525.6 \quad (2.1)$$

avec

- ✓ 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 ($\text{m}^3 \text{ air min}^{-1}$),
 - ✓ 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),
 - ✓ 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 :
- $P_v = HR \times P_{sat}$, où HR est l'humidité relative et P_{sat} est la pression de saturation (Pa).

Cette pression est obtenue à partir de cette équation (ASAE Standards, 1995; Pelletier, 2011) :

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

Où T signifie la température ($273,16 \leq T \leq 533,16$ K) et R, A, B, C, D, E, F et G sont des constantes dont les valeurs sont inscrites au-dessous :

$$R = 22105649,3;$$

$$B = 97,5413;$$

$$D = 0,00012558;$$

$$F = 4,34903;$$

$$A = -27405,526;$$

$$C = -0,146244;$$

$$E = -4,8502E-08;$$

$$G = 0,0039381;$$

CHAPITRE 3

RÉSULTATS

3.1 Performance zootechnique

3.1.1 Évolution du poids

Les expériences de cette étude sont appliquées sur 360 poules pondeuses. À leur réception, une mesure de leurs poids est faite. Le poids initial de toutes les poules est presque similaire comme montré dans le tableau 3.1. Il est respectivement de 1.516 kg, 1.524 kg et 1.519 kg pour les cages conventionnelles, les cages aménagées et les volières.

Tableau 3.1 Évolution du poids des poules pondeuses
selon l'agencement des cages utilisés

PARAMÈTRES	Type de cage			Niveau de signification	
	CC	CA	V	SEM	Cage
Poids initial (kg)	1.516 ^a	1.524 ^a	1.519 ^a	0.010	0.8638
Poids final (kg)	1.692 ^a	1.605 ^b	1.587 ^b	0.012	<0.0001
Gain de poids (g)	175.3 ^a	78.7 ^b	64.6 ^b	7.2	<0.0001

^a, ^b signifient que chaque paramètre avec une lettre différente est significativement différent ($P < 0.05$)

Les mesures de poids sont effectuées le mercredi des semaines 1, 4, 7 et 10. Une augmentation de poids significativement différente entre les poules des CC et celles de CA et V est enregistré. La figure 3.1 montre la différence de gain de poids entre les poules des trois agencements de cages.

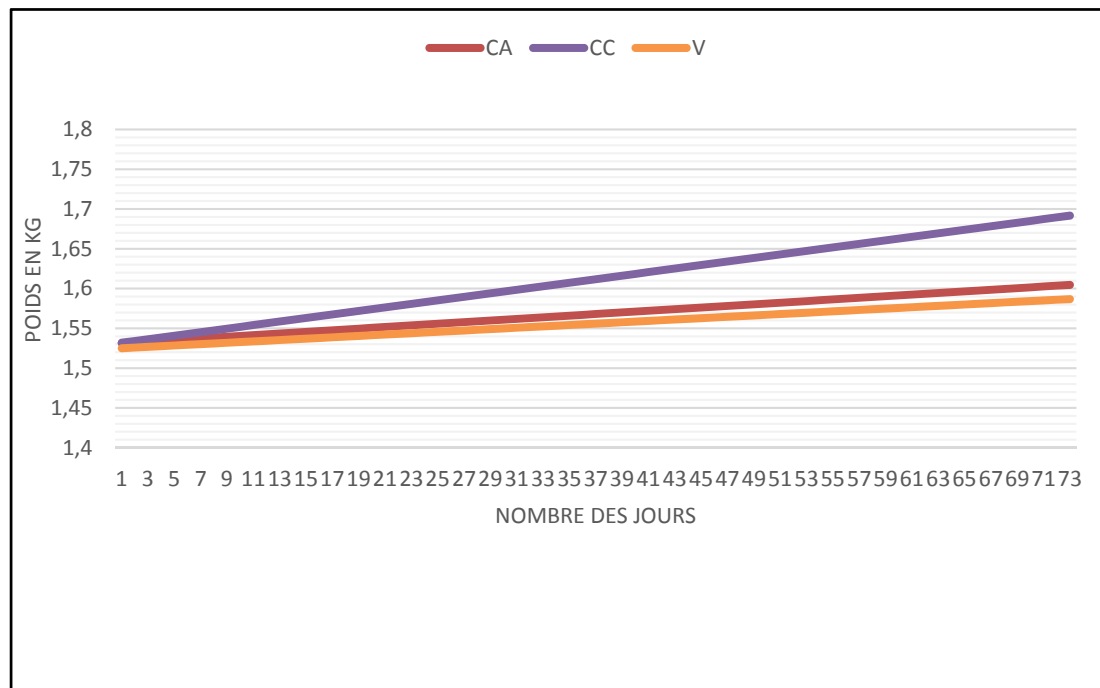


Figure 3.1 Gain de poids chez les poules pondeuses pour les trois systèmes de cage

Les résultats obtenus pour les poules en cage conventionnelles sont plus importants que ceux des poules en cage aménagée et en volière. Le gain de poids atteint 175.3 g pour le cas des CC. Il atteint seulement 64.6 g pour les volières.

Ces résultats peuvent être expliqués dans un premier lieu par le manque de mouvement chez les poules pondeuses en CC. Ces poules ne dissipent presque pas de l'énergie pour bouger, donc elles brûlent moins de calories ce qui entraîne une augmentation du poids. Aussi, ces poules sont privées de pratiquer leurs besoins vitaux comme le picotage, alors elles passent leurs temps à consommer l'alimentation qui est la seule activité possible pour eux.

3.1.2 Poids de l'œuf et taux de ponte

Un taux de mortalité global de 1,66% a été observé à l'âge des poules entre 23 semaines et 33 semaines. Le taux de ponte, exprimé en pourcentage d'œufs de poule, était de 96,3, 96,6 et 77,2%, respectivement CC, CA et V. Ce taux n'était pas significativement différent entre les deux premiers modèles de cages, alors qu'une différence significative ($P < 0,05$) a été observée dans le système de la volière comme montré dans le Tableau 3.2.

Tableau 3.2 Taux de ponte et poids des œufs chez les poules
pondeuses en CC, CA et V

Paramètres	Système de cage			SEM	Niveau significative		
	CC	CA	V		C	S	C x S
Taux de ponte	96.3 ^a	96.6 ^a	77.2 ^b	0.01	<0.0001	<0.0001	0.6849
Poids œufs	59.6 ^a	59.3 ^a	58.6 ^b	0.23	0.0100	<0.0001	<0.0001

^a, ^b signifient que chaque paramètre avec une lettre différente est significativement différent ($P < 0.05$)

Le taux faible chez les volières peut s'expliquer par le mouvement des poules dans un agencement libre, donc une partie de l'énergie est dispersée en mouvement au détriment de la ponte des œufs.

Une augmentation significative du poids des œufs a été observée tout au long de la période de ponte allant de 56,2 g à 23 semaines à 61,8 g à 32 semaines pour le cas de CC (figure 3.2). Cependant, les œufs les plus lourds ont été trouvés dans CC (59,0 g), suivis par EC (58,7 g) et l'AV (57,8 g) ($P < 0,05$).

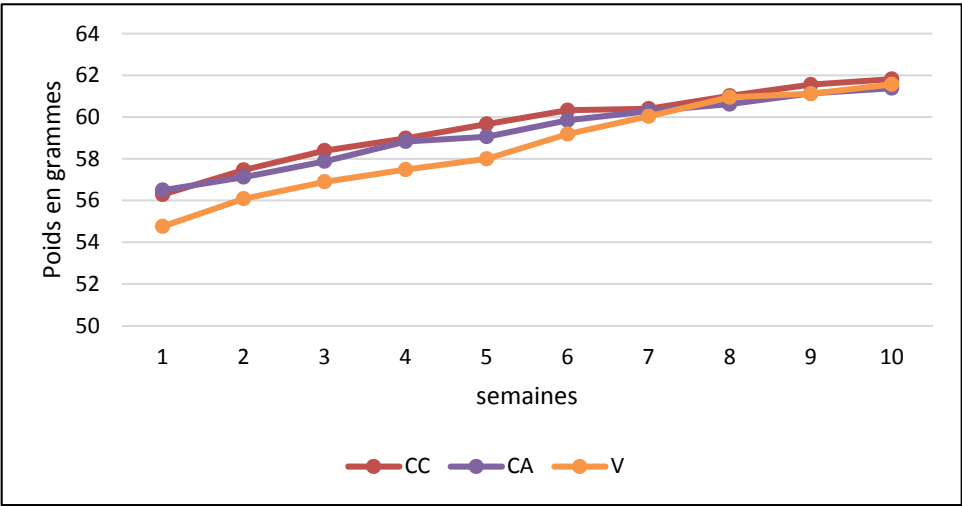


Figure 3.2 Poids des oeufs des poules pondeuses dans les CC, CA et V au cours de temps de l’étude

3.1.3 Composition de l’œuf

Comme déjà traité dans la partie revue de littérature, les résultats ont confirmé que la coquille de l’œuf ne contient pas d’azote (tableau 3.3).

Tableau 3.3 Composition de la coquille des œufs chez les poules pondeuses en CC, CA et V

Paramètres	Système de cage			SEM	Niveau significatif		
	CC	CA	V		C	S	C x S
MS (%)	72.5 ^A	74.2 ^B	77.5 ^C	0.6	<0.0001	0.0030	0.1745
P (mg kg ⁻¹)	913.3 ^A	917.4 ^A	944.8 ^A	13.0	0.1971	0.0002	0.4427
K (mg kg ⁻¹)	1041.4 ^A	1003.9 ^A	868.4 ^B	28.1	0.0004	0.0003	0.1148
Ca (g kg ⁻¹)	342.9 ^A	342.5 ^A	344.7 ^A	1.5	0.5633	<0.0001	0.0166
Mg (mg kg ⁻¹)	2769 ^A	2815 ^A	2942 ^B	34	0.0035	0.2825	0.1324

^{A, B, C} : au sein d’une même ligne, les chiffres agrémentés de lettres différentes sont significativement différents (P<0.05)

La littérature a approuvé que l’azote se trouve sous forme de protéines à l’intérieur de l’œuf.

Pour réaliser les expériences, des mesures et analyses sont faites le mercredi de la première semaine, la quatrième, la septième et la dixième semaine. Tous les résultats obtenus sont dans Tableau A-III-1.

Dans cette partie, on s'intéresse à l'azote.

Tableau 3.4 Composition azoté de l'intérieur de l'œuf chez les poules pondeuse en CC, CA et V

Paramètres	Semaine	Système de cage			SEM	Niveau de signification		
		CC	CA	V		C	S	C x S
MS (%)	1	22.6 ^{Aa}	22.7 ^{Aa}	22.3 ^{Aa}	0.2	0.0001	<0.0001	0.6016
	4	23.4 ^{Ab}	23.4 ^{Ab}	22.8 ^{Bab}	0.2			
	7	24.2 ^{Ac}	23.7 ^{ABbc}	23.2 ^{Bbc}	0.2			
	10	24.5 ^{Ac}	24.2 ^{ABc}	23.7 ^{Bc}	0.2			
	Total	23.7 ^A	23.5 ^A	23.0 ^B	0.1			
N (g kg ⁻¹)	1	19.0 ^{Aa}	18.9 ^{Aab}	19.1 ^{Aa}	0.4	0.4275	0.0044	0.6690
	4	19.2 ^{Aa}	18.0 ^{Ba}	18.5 ^{ABa}	0.4			
	7	19.6 ^{Aa}	19.4 ^{Ab}	19.4 ^{Aa}	0.4			
	10	19.9 ^{Aa}	19.6 ^{Ab}	19.3 ^{Aa}	0.4			
	Total	19.4 ^A	19.0 ^A	19.1 ^A	0.3			
N (g/poule/jour)		1.08	1.06	0.84				

^{A, B, C} : au sein d'une même ligne, les chiffres agrémentés de lettres différentes sont significativement différents (P<0.05)

^{a, b, c} : au sein d'une même colonne, les chiffres agrémentés de lettres différentes sont significativement différents (P<0.05)

Des calculs de conversion sont réalisés afin d'exprimer l'azote en g/poule/jour (Tableau A-II-2).

Le tableau 3.4 montre que la composition de l'intérieur de l'œuf est significativement similaire pour les poules en CC, CA et V. Elle est respectivement de 19.4, 19 et 19.1 g par kg d'œufs.

Ces résultats montrent que les différents systèmes de cage utilisés n'influencent pas la composition de l'œuf en azote, entre autres en protéines. Les autres minéraux peuvent être touchés. Par exemple, la teneur des œufs chez les volières contient moins de calcium et de phosphore ($P < 0,05$) que les œufs provenant d'autres systèmes de logement.

3.1.4 Alimentation

Les analyses effectuées au laboratoire sont faites sur une base de matière sèche (MS). Les échantillons ont été prélevés des deux moulés (2 échantillons).

Le produit utilisé comme alimentation est le même pour toutes les poules (figure 3.3).

La Coop Federee
Rapport - SA - (solution analysis)
Plant : 6 - JOLIETTE (formules)
Pricing Plant: 6C1 - JOLIETTE (cost set 1)

Page : 1

Code formule	Nom produit	Group	Poids batch	Date révision	No. révision		
27910819	PONTE 17.5-82 IRDA	8	1000.00	22/12/2014	1		
Code	Nom ingrédient	Quantité	%	No nutriment	Nom nutriment	Unité	Niveau
170621	MAIS 1800-2200 CASSE	553.0143	55.30	1	Weight	Percent	100.0000
171701	GLUTEN FEED MOULU	14.9278	1.49	2	PROTEINE	%	17.50
171821	DR.DISTILLERIE (AVEC SOLUBLES)	75.0000	7.50	40	ENERGIE MET VOLAILLE	KCAL/K	2.755
172551	TOURTEAU DE SOYA	96.3033	9.63	42	EN NET LACT (100%MS)	MCAL/K	1.83
172581	SOYA EXTRUDE MOULU	100.0000	10.00	45	ENERGIE DIGEST. PORC	KCAL/K	3.150
173501	FAR. VIANDE 50% (MULTI-ESP)	50.0000	5.00	46	ENERGIE DIG CHEVAL	MCAL/K	2.84
174501	GRAS ANIMAL/VEGETAL	2.0000	0.20	47	ENERGIE MET. MOUTON	MCAL/K	2.37
178501	PIERRE A CHAUX MOULUE	39.0000	3.90	51	GRAS	%	5.07
178503	PIERRE A CHAUX GRAN.	58.1424	5.81	54	FIBRE	%	2.25
178551	PHOSPHATE DICALCIQUE 21%	3.7532	0.38	70	CALCIUM	%	4.30
178631	SEL FIN	2.1808	0.22	72	PHOSPHORE TOTAL	%	0.56
180071	MHA METHIONINE LIQUIDE	0.9680	0.10	74	SODIUM	%	0.17
182281	PREM. PHYTASE 5000	0.0600	0.01	77	MAGNESIUM	%	0.17
182361	AVIZYME 1502	0.5000	0.05	82	CUIVRE/COPPER TOTAL	MG/KG	19.28
183671	CHOLINE LIQ.70 (60.6%)	1.6502	0.17	84	ZINC TOTAL	MG/KG	109.05
188601	MPX 2.5 PONTE	2.5000	0.25	86	SELENIUM TOTAL	MG/KG	0.30
				90	VIT. A	000UL/KG	10.300
				91	VIT. D	000UL/KG	3.000
				92	VIT. E	000UL/KG	0.020
				127	INGR SOURCE ANIMALE	%	5.2016
				131	NOURRI AU GRAIN	%	83.92
				400	VOMITOXINE	PPM	0.68
				492	NE C. PORC CALCULE	KCAL/K	2.264
				493	NE TRUIE CALCULE	KCAL/K	2.368

Commentaires

1. ÉTIQUETTE: 27910835

2. IL EST INTERDIT D'EN NOURRIR LES BOEUF, MOUTONS, CERFS ET AUTRES RUMINANTS ET DES AMENDES OU AUTRES PEINES SONT PRÉVUES À CET ÉGARD PAR LA LOI SUR LA SANTÉ DES ANIMAUX.

User : PATRICIA

January-06-15
11:35:55 AM

Figure 3.3 Produit alimentaire utilisé au cours de l'expérience

Les résultats détaillés se trouvent dans la figure A-III-1.

Les analyses ont montré que la MS représente 91.75% ainsi que l'azote forme 3.16% de la MS des échantillons pris.

La consommation de nourriture est similaire dans CC et CA et est plus faible dans AV que dans CC. On remarque que la prise de l'eau est significativement similaire pour les trois systèmes de cages (Tableau 3.5).

Tableau 3.5 Consommation de l'alimentation et de l'eau chez les poules pondeuses en CC, CA et V

Paramètres	Type de cage			SEM	Niveau de signification		
	CC	CA	V		C	S	C x S
Alimentation (g/poule/jour)	123.4 ^a	119.9 ^{ab}	117.8 ^a	1.73	0.0741	<0.0001	0.4338
H ₂ O (ml/poule/jour)	188.9 ^a	177.8 ^a	189.7 ^a	4.4	0.1073	<0.0001	<0.0001

^{a, b} signifient que chaque paramètre avec une lettre différente est significativement différent ($P < 0.05$)

L'azote est le composant recherché dans cette étude. Les analyses ont montré que l'azote soit 3.16% de la MS qui forme à son tour 91.75% du total de l'alimentation. Les calculs effectués sont expliqués dans le tableau 3.6 :

Tableau 3.6 Quantité d'azote consommé à travers l'alimentation par les poules pondeuses en CC, CA et V

	CC	CA	V
Alimentation (g/poule/j)	123.386	119.91	117.84209
MS (91.75% de l'alimentation)	113.20	110.01	108.12
N (g/poule/jour) (3.16% de la MS)	3.57	3.47	3.41

L'apport de l'azote par la voie alimentaire chez les poules est plus important en CC que les deux autres systèmes, et cela est lié à la quantité consommée. Les poules en cages

conventionnelles passent le temps en mangeant puisqu'elles ne peuvent pas pratiquer autres activités.

3.1.5 Déjections

Les déjections se ramassent dans des fientes pour les CC et CA d'où on peut prendre des échantillons pour réaliser les expériences nécessaires. Pour les V, les échantillons se prennent du fumier (qui inclut la litière) et les fientes. Les résultats sont présentés dans le tableau 3.7.

Tableau 3.7 Déjection totale et en azote chez les poules pondeuses en CC, CA et V

	CC	CA	V ^a	
	Fientes	Fientes	Fientes	Fumier
Taux (g /poule/jour) ^a	70.8 ± 5.1	55.2 ± 3.1	4.4 ± 0.1	44.8 ± 1.9
Total azote (g N/ kg)	29.5 ± 0.5	35.0 ± 1.7	39.1 ± 1.3	27.9 ± 0.6
Total azote (g/poule/jour)	2.08	1.93	0.17	1.24

^a Les valeurs des deux pièces où une fuite d'eau s'est produite ont été exclues de ces chiffres.

Des calculs de conversion sont fait pour passer de g d'azote/kg de déjection en g/poule/jour. Dans le cas des volières, les déjections ramassées dans le fumier incluent aussi celles de la litière.

Une analyse s'effectue à la litière avant de l'ajouter dans les volières. Ses données sont présentées au tableau 3.8.

Tableau 3.8 Paramètres initiaux de la litière utilisées

Paramètres	Sciure
Quantité ajoutée (g /poule/semaine) ^a	56.7 ± 4.7
Densité (kg m ⁻³)	85.4 ± 2.0
Total azote (g N /kg)	1.36 ± 0.06
Total azote (g/poule/jour)	0.01

^a Les valeurs des deux pièces où une fuite d'eau s'est produite ont été exclues de ces chiffres.

On remarque que le taux initial de la litière en azote est très faible.

La déjection la plus importante est celle des systèmes des CC avec 70.8g/poule/j, avec une masse de 2.08 g/poule/j d'azote N. Ce taux élevé peut être expliquer : les poules ne perdent pas assez d'énergie car elles sont privées de bouger, alors pour le maintien de son cycle de vie, elles rejettent le maximum possible.

Les déjections enregistrées en V sont relativement faibles par rapport aux autres systèmes. En effet, ces déjections contiennent que 1.4 g/poule/jour d'azote.

3.1.6 Émissions

Tableau 3.9 Mesures des émissions au cours de l'expérience

Paramètres	Type de cage			Niveau significatif		
	CC	CA	V	C	S	C x S
Emissions (poule/jour)						
NH ₃ (mg)	60.0a	42.5a	759.2b	<0.0001	<0.0001	<0.0001
CH ₄ (mg)	75.0a	68.6b	67.7b	0.0008	<0.0001	0.9937
CO ₂ (g)	82.7a	68.6b	80.1c	<0.0001	<0.0001	0.3749

^{a, b, c} signifient que chaque paramètre avec une lettre différente est significativement différent ($P < 0.05$)

Les mesures des trois gaz sont effectuées dans cette étude (NH₃, CH₄ et CO₂).

Cependant dans ce mémoire on s'intéresse qu'aux émissions en ammoniac.

Le tableau 3.9 affiche les mesures prises au cours de l'étude.

Pour réaliser le bilan azoté, on a besoin des mesures en azote et non ammoniac. Comme déjà prouvé dans la revue de la littérature, les émissions en azote sont égales aux émissions de l'ammoniac multiplié en (14/17). Les résultats sont dans le tableau 3.10.

En observant les résultats, le taux d'émission en azote est très élevé pour le système des cages en volière. C'est environ 10 à 20 fois plus important que les émissions des autres types de cages.

Tableau 3.10 Conversion de l'émission ammoniacale en émission azotée
chez les poules pondeuses en CC, CA et V

Émissions (poule/jour)	CC	CA	V
NH ₃ (mg)	60.0	42.5	759.2
N-NH ₃ (mg)	49.41	35	625.05

3.2 Bilan d'azote

Dans cette partie, on présente tous les résultats trouvés dans la présente étude.

La partie rétention de la poule est calculée par déduction.

Les résultats sont dans le tableau 3.11

Tableau 3.11 Résultats obtenus au cours de l'expérience

(mg-N/poule/jour)	CC	CA	V
Alimentation	3570	3470	3410
Litière			11.01
Émission	49.41	35	625.05
Œufs	1080	1060	840
Déjection	2080	1930	1424.69
Rétention	360.59	445	531.27

Le graphique 3.4 montre la différence entre les mesures des composants du bilan azoté selon les trois types de cage.

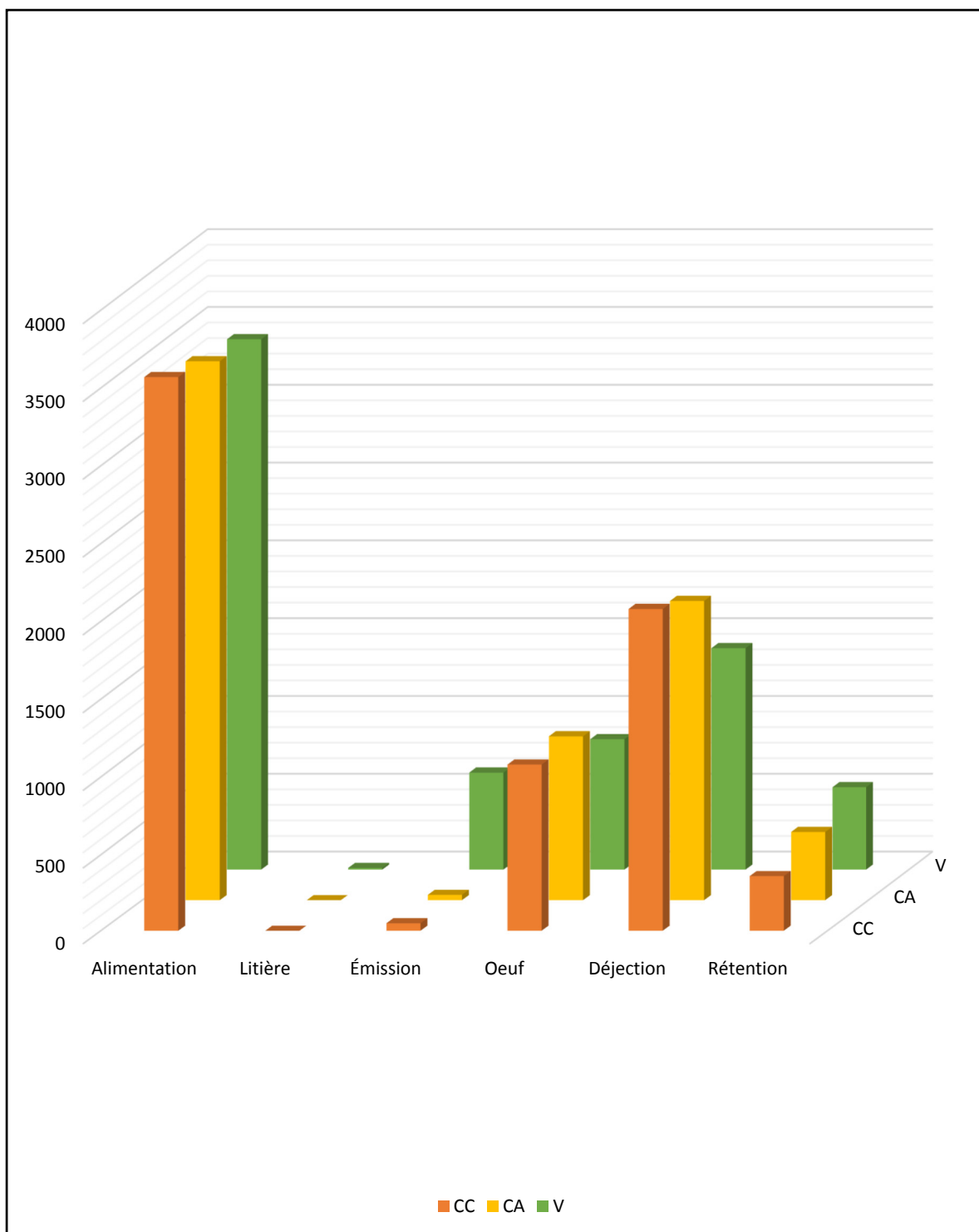


Figure 3.4 Comparaison entre des composants du bilan d'azote chez les poules pondeuses en CC, CA et V en mg d'azote par poule par jour

Toutes les valeurs sont en mg/poule/j.

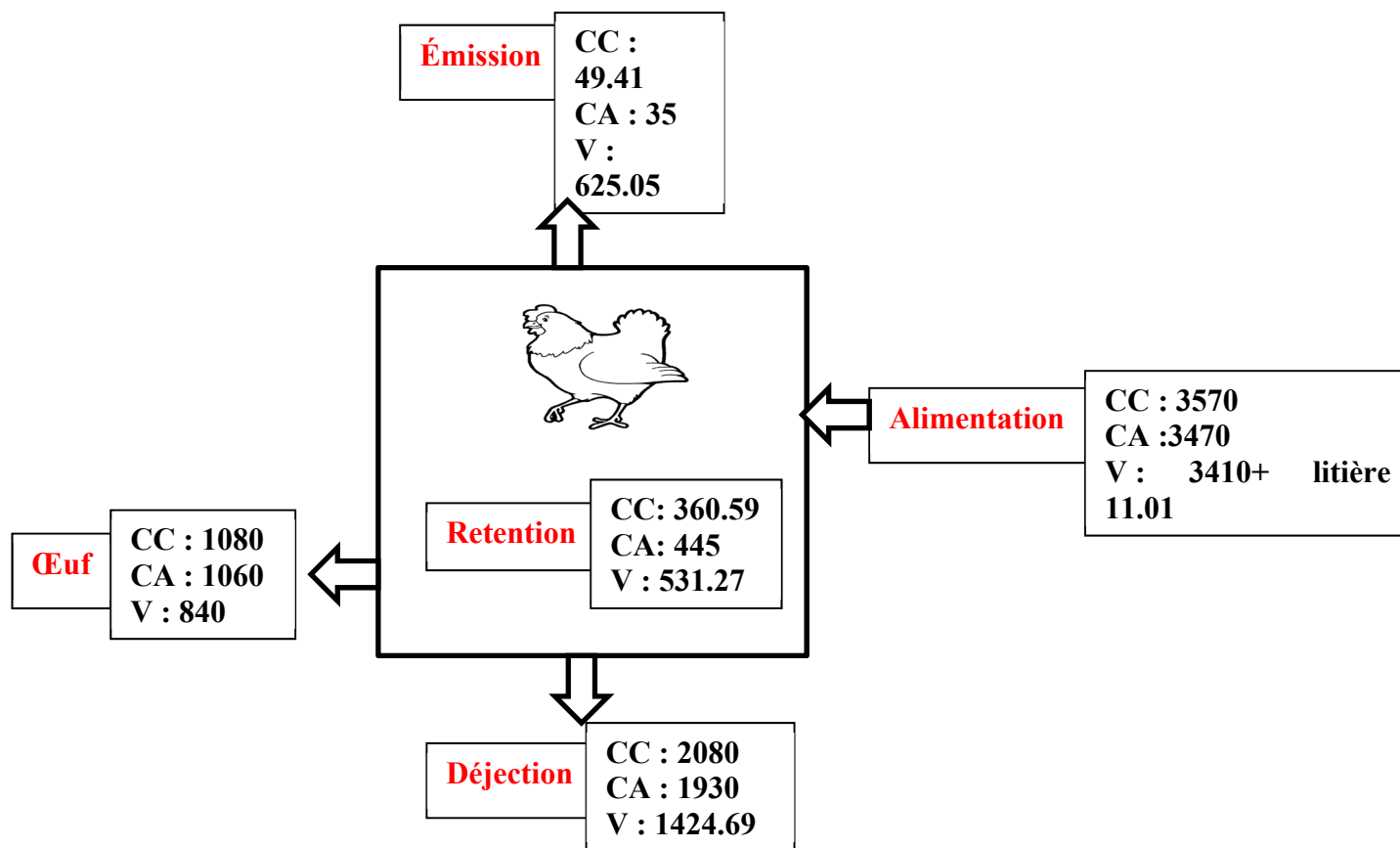


Figure 3.5 Schéma du bilan azoté pour les poules pondeuses en CC, CA et V

3.3 Discussion

Cette étude a montré un effet significatif des systèmes de cage sur les paramètres de production d'œufs (ponte et poids des œufs). Il n'y a pas de différences significatives entre CC et CA, ce qui concorde avec d'autres recherches (Tauson, 1998).

La consommation des aliments est similaire pour les systèmes en cages conventionnelles et en cages aménagées mais elle est plus faible chez les volières puisque les poules passent plus de

temps sur la litière et font plus de déplacements. Aussi, ce phénomène peut être expliqué par les multiples activités que les poules en volières peuvent pratiquer par rapport aux autres systèmes.

Le poids des poules en CA et V à 35 semaines d'élevage est faible par rapport à celles en CC. Ce résultat est en liaison avec la consommation alimentaire forte chez les poules en CC.

Selon les bilans azotés, on constate que la rétention pour les poules à cage conventionnelle est plus faible que celles des cages aménagées et volières malgré que les mesures effectuées montrent que les poules de CC ont un gain de poids plus important. Aussi, les déjections sont beaucoup plus importantes chez les CC que les CA et les V. En effet, les poules pondeuses dans les cages aménagées et les volières sont beaucoup moins stressées que les poules des systèmes conventionnels, alors elles consomment moins d'alimentations. De plus, malgré qu'elles aient beaucoup plus d'espace pour bouger, les poules bougent moins et restent calmes car elles sont moins stressées. Aussi, la déjection importante chez les poules des CC est justifiée par le manque de perte d'énergie car elles sont privées de bouger, alors pour le maintien de leur cycle de vie, elles éjectent le maximum possible. Le taux d'azote dans les déjections chez les poules pondeuses est assez important.

Les volières possèdent les plus fortes émissions en azote dans l'environnement. Des recherches précédentes (Zhao et al., 2015) ont trouvé des émissions azotées pour les CC et CA proche des résultats de cet étude (82 mg/poule/j pour CC et 56 mg/poule/jour pour CA). Par contre, on remarque que les émissions en azote pour les volières sont plus importantes que celles de ce mémoire (seulement 112mg/poule/j).

Les bilans azotés effectués dans cette étude ont montré la forte émission en azote chez les poules pondeuses en volière. Aussi, le taux de ponte est assez faible pour ce type d'agencement. Alors, on peut conclure que les volières sont à éviter si on considère seulement les calculs car ils causent une forte pollution environnementale en azote, de plus sa production est faible par rapport aux autres systèmes.

Aussi d'après les résultats obtenus dans la même étude, partie bien-être animal, les cages conventionnelles ne sont pas un milieu correct pour un élevage respectant les règles de bien-être (Mahmoudi, 2016).

Tous les résultats obtenus favorisent l'utilisations des cages aménagées. Les poules pondeuses dans ce système se profitent d'un minimum d'environnement respectant leurs besoins tout en respectant leur bien-être. Aussi, cet agencement de cage répond aux attentes commerciales avec une forte production.

CONCLUSION

L'environnement est menacé de plus en plus par la pollution. L'accroissement de la population ainsi que l'augmentation de leurs besoins sont responsables de cette menace.

L'agriculture fournit des produits consommables quotidiennement alors les pratiques utilisées dans les fermes agricoles influencent fortement l'environnement. L'ammoniac est le gaz le plus dégagé par le secteur agricole, plus précisément, l'aviculture.

Cette étude consiste à trouver les meilleures pratiques d'élevage des poules pondeuses à adapter. Des expériences sur trois systèmes d'agencement des cages (Cage conventionnelles, cages aménagées et volières) ont été établies. Des bilans azotés, correspondants à chaque système pratiqué, ont été établies. Ces bilans permettent de contrôler le circuit journalier de l'azote dans le cycle de vie de la poule pondeuse. La comparaison des trois systèmes permet de trouver le meilleur agencement des cages que les agriculteurs doivent utiliser.

Cependant, conserver l'environnement seulement ne suffit pas. Maintenant, le bien-être animal s'impose. Alors, pour avoir un produit final comme système d'élevage des poules pondeuses, il faut respecter les deux aspects ensemble : environnement et bien-être animal.

Ce présent mémoire fait partie d'un grand projet qui étudie ces deux aspects déjà cités. Les résultats trouvés dans cette étude montrent que les émissions environnementales chez les poules pondeuses sont moins importantes en utilisant les cages aménagées avec un taux d'azote de 36.38 mg/poule/jour par rapport à 649.77 mg/poule/jour pour les volières.

Les études effectuées sur le bien-être animal ont montré que la qualité des œufs est moindre pour les volières que les autres agencements, aussi, elles ont montré que le comportement des poules est meilleur en cages aménagées que les deux autres systèmes établis. En effet, les poules ne sont pas confortables dans les cages conventionnelles car elles peuvent pas leurs besoins naturels habituels. Pour les volières, l'agressivité entre les poules est remarquable.

À la suite des résultats des recherches faites pour les deux études, les systèmes des cages aménagées restent le meilleur choix à utiliser qui répond aux deux contraintes existantes. Dans la réalité, les cages en volières sont demandées. Le simple citoyen pense que la volière est toujours le meilleur agencement de cage qui respecte le bien-être animal. Alors, une amélioration des cages volière est demandée. Dans ce cas, il faut développer un système de traitement des déjections efficace parce qu'ils sont responsables des émissions azotées très élevées. En effet, un nettoyage de quelques fois par jour peut résoudre le problème. Pour l'agressivité remarquée pour les poules volières, elle est expliquée par un comportement naturel. Le nombre de poule peut influencer ce comportement. Alors, une nouvelle recherche sur les volières peut aider à améliorer ce type d'élevage.

ANNEXE I

MESURE DES ÉMISSIONS DANS LA LITTÉRATURE

Tableau A-I-1 Émissions de polluants atmosphériques
au Canada, 1990 à 2015

Année	Oxydes de soufre	Oxydes d'azote	Composés organiques volatils	Ammoniac	Monoxyde de carbone	Particules fines
1990	0	0	0	0	0	0
1991	-7	-4	2	-1	-2	-2
1992	-11	-2	2	2	-3	-5
1993	-14	0	5	3	-1	-5
1994	-21	5	5	7	-3	-3
1995	-16	7	5	12	-6	-7
1996	-16	10	5	16	-8	-7
1997	-17	17	2	18	-10	-6
1998	-19	19	2	18	-9	-13
1999	-22	22	-3	18	-11	-13
2000	-22	20	-5	22	-13	-15
2001	-22	14	-12	22	-19	-17
2002	-24	12	-12	25	-20	-19
2003	-25	11	-14	23	-23	-21
2004	-26	5	-16	27	-28	-23
2005	-29	1	-20	26	-35	-24
2006	-35	-3	-24	24	-39	-24
2007	-37	-4	-26	24	-42	-21
2008	-43	-7	-27	21	-43	-18
2009	-52	-14	-32	18	-46	-25
2010	-55	-12	-32	16	-47	-20
2011	-58	-14	-35	15	-50	-19
2012	-59	-18	-34	19	-52	-15
2013	-59	-20	-34	23	-53	-16
2014	-61	-20	-33	21	-53	-16
2015	-66	-22	-36	22	-54	-18

Tableau A-I-2 Émissions en NH₃ en kt entre 1990 et 2015

en domaine agricole

Année	Production de la moisson	Production d'animaux	Autres
1990	77	281.5263	39.89084
1991	74	282.2204	39.28713
1992	79	288.9	39.62931
1993	82	289	41
1994	88	295.3307	43.18508
1995	91	310.9018	42.45454
1996	99	318.762	44.48385
1997	104	319.9728	45.56551
1998	103	321.9754	46.30098
1999	101	322.3178	47.34678
2000	106	327.9285	49.78941
2001	101	338.2431	46.15351
2002	100	342.3544	55.07529
2003	105	343.8216	42.3041
2004	106	357.9143	41.01688
2005	99	362.7793	41.03762
2006	99	354.4646	38.01072
2007	116	341.425	36.6908
2008	121	327.9634	34.82767
2009	119	315.9639	33.11302
2010	120	308.9342	32.66586
2011	124	303.1866	32.16113
2012	141	302.9637	31.09866
2013	153	303.954	31.43857
2014	149	303.4025	31.4054
2015	155	299.9717	30.35409

ANNEXE II

Conversion de l'azote à l'intérieur de l'œuf de g par kg d'œuf en g par poule par jour

Les résultats d'azote obtenus sont un kg d'œuf. Il faut le convertir en g/poule/jour.

Tout d'abord on a :

Tableau A-II-1 Poids des œufs mesurés au cours des quatre expériences effectuées
pour les trois systèmes des cages

	Semaine	CC	CA	V
Poids (g)	1	56.0	55.6	53.5
	4	58.1	57.2	56.9
	7	60.4	59.9	59.6
	10	61.4	61.8	61.3
	Total	59.0	58.	57.8

Alors on a :

Tableau A-II-2 Calcul de conversion pour le poids des œufs

N (g/kg d'œuf)	Total	19.4A	19.0A	19.1A
Pour un kg d'œufs on a :		$1000/59=16.94$ œufs	$1000/58.6=$ 17.06	$1000/57.8=$ 17.30
Taux de ponte		100 poules donnent 96.6 œufs	100 poules donnent 96.3 œufs	100 poules donnent 77.2 œufs
		1.12	1.11	1.10
N en g/poule/j		1.08	1.06	0.84

ANNEXE III

RÉSULTATS DES EXPÉRIENCES

Tableau A-III-1 Composition totale de l'intérieur des œufs
pour les trois systèmes des cages

Paramètres	Semaine	Type de cage			SEM	Niveau significatif		
		CC	CA	V		C	S	Cx S
MS (%)	1	22.6Aa	22.7Aa	22.3Aa	0.2	0.0001	<0.0001	0.6016
	4	23.4Ab	23.4Ab	22.8Bab	0.2			
	7	24.2Ac	23.7ABbc	23.2Bbc	0.2			
	10	24.5Ac	24.2ABc	23.7Bc	0.2			
	Total	23.7A	23.5A	23.0B	0.1			
N (g kg ⁻¹)	1	19.0Aa	18.9Aab	19.1Aa	0.4	0.4275	0.0044	0.6690
	4	19.2Aa	18.0Ba	18.5ABa	0.4			
	7	19.6Aa	19.4Ab	19.4Aa	0.4			
	10	19.9Aa	19.6Ab	19.3Aa	0.4			
	Total	19.4A	19.0A	19.1A	0.3			
P (mg kg ⁻¹)	1	1766Aa	1794Aa	1784Aa	29	0.0606	<0.0001	0.4855
	4	1900Ab	1932Ab	1871Ab	29			
	7	2016Ac	1985ABbc	1917Bb	29			
	10	2088Ac	2052Ac	2017Ac	29			
	Total	1942A	1941A	1897B	14			

Tableau A-III-1(Suite)

Paramètres	Semaine	Type de cage			SEM	Niveau significatif		
		CC	CA	V		C	S	Cx S
K (mg kg ⁻¹)	1	1510Aa	1498Aa	1464Aa b	17	0.4986	<0.000 1	0.562 9
	4	1481Aa	1470Aa	1480Aa	17			
	7	1463Aa	1462Aa	1441Aa b	17			
	10	1407Ab	1392Ab	1419Ab	17			
	Total	1465A	1455A	1451A	10			
Ca (mg kg ⁻¹)	1	539.3A	533.8A	529.8A	10.0	0.0008	<0.000 1	0.252 4
	4	643.3A	620.8AB	609.0A	10.0			
	7	642.5A	589.5B	595.5B	10.0			
	10	636.5A	613.8AB	597.0B	10.0			
	Total	615.4A	589.4B	582.8B	5.6			
Mg (mg kg ⁻¹)	1	117.3Aa	119.3Aa	118.8A a	1.5	0.4424	0.0006	0.096 9
	4	118.0Aa	117.5Aab	121.5A a	1.5			
	7	117.8ABa	113.8Ab	119.0B a	1.5			
	10	115.0Aa	114.3Ab	112.5A b	1.5			
	Total	117.0A	116.2A	117.9A	1.0			

[illegible]

Figure A-III-1 Composition de la moulée chez les poules pondeuses
au cours de l'expérience

Tableau A-III-2 Mesure des émissions en ammoniac en ppm
pour les trois systèmes des cages

Moyenne de E_NH3_P	TTM		
Week	Battery	Enriched	Aviary
0			
1	33.6767	45.1867	127.67
2	55.9133	62.6062	973.03
3	57.4271	38.9689	924.92
4	60.8789	35.8499	831.45
5	62.9661	37.3277	979.21
6	60.5378	36.1472	661.48
7	68.8988	37.435	800.83
8	66.7822	39.2316	771.64
9	61.796	36.4271	805.83
10	70.9951	55.3197	715.53

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- A.Gac, F.Béline, T.Bioteau, K.Maguet. 2006. *A French inventory of gaseous emissions (CH₄, N₂O, NH₃) from livestock manure management using a mass-flow approach*.
- ASAE Standards. 1995. « ».
- Bengoa, Xavier, Vincent Rossi, Sebastien Humbert, Thomas Nemecek, Jens Lanshe et Patrick Mouron. 2014. *Methodological guidelines for the life cycle inventory of agricultural products*.
- Canada, Agriculture et Agroalimentaire. 2017a. « L'industrie canadienne des oeufs de consommation et de transformation ». < <http://www.agr.gc.ca/fra/industrie-marches-et-commerce/information-sur-les-marches-par-secteur/volaille-et-ufs/information-sur-le-marche-de-la-volaille-et-des-oeufs-industrie-canadienne/oeufs-de-consommation-et-de-transformation/?id=1384971854396> >.
- Canada, Gouvernemnt du. 2017b. « Inventaire pollution et émission ». < <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/pollution-atmospherique/publications/inventaire-emissions-polluants-atmospheriques/chapitre-2-6.html> >.
- Citepa. 2015. « Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France: séries sectorielles et analyses étendues. ». < https://www.citepa.org/fr/activites/inventaires-des-emissions/secten#Contribution_ss-secteurs >.
- Fournel, S, F Pelletier, S Godbout, R Lagacé et JJR Feddes. 2012. « Odour emissions, hedonic tones and ammonia emissions from three cage layer housing systems ». *Biosystems engineering*, vol. 112, n° 3, p. 181-191.
- Hinz, Torsten, Tatjana Winter et Stefan Linke. 2010. « Luftfremde Stoffe in und aus verschiedenen Haltungssystemen für Legehennen–Teil 1: Ammoniak ». *Landbauforsch*, vol. 60, n° 3, p. 139-150.
- Koerkamp, PWG Groot, JHM Metz, GH Uenk, VR Phillips, MR Holden, RW Sneath, JL Short, RPP White, J Hartung et J Seedorf. 1998. « Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe ». *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 70, n° 1, p. 79-95.
- Mahmoudi, Yosra. 2016. « Impacts du type de logement en élevage de poules pondeuses sur les performances zootechniques et le bien-être animal ».
- MAPAQ. 2014. *Portrait sommaire de l'industrie laitière québécoise 2014*.

- Pelletier, Frédéric. 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 ».
- Shepherd, Timothy A, Yang Zhao, Hong Li, John P Stinn, Morgan D Hayes et Hongwei Xin. 2015. « Environmental assessment of three egg production systems—Part II. Ammonia, greenhouse gas, and particulate matter emissions ». *Poultry science*, vol. 94, n° 3, p. 534-543.
- Steinfeld, Henning, Pierre Gerber, Tom Wassenaar, Vincent Castel, Mauricio Rosales et Cees De Haan. 2006. « Livestock's long shadow ». *FAO, Rome*, vol. 2006.
- Tauson, R. 1998. « Health and production ».
- Xin, Hongwei, Yi Liang, Akihiro Tanaka, Richard S. Gates, Kenneth D. Casey Eileen F. Wheeler, Albert J. Heber, Ji-Qin Ni et Hong Li. 2003. « AMMONIA EMISSIONS FROM U.S. POULTRY HOUSES: PART I – MEASUREMENT SYSTEM AND TECHNIQUES ».
- Zhao, Yang, Timothy A Shepherd, Hong Li et Hongwei Xin. 2015. « Environmental assessment of three egg production systems—Part I: Monitoring system and indoor air quality ». *Poultry science*, vol. 94, n° 3, p. 518-533.
- zootechnies, Association québécoise des agronomes en. 2012. « PRODUCTION AVICOLE ». < <http://www.aqaz.ca/production-animale/production-avicole/> >.

