

Université de Montréal

**L'impact des systèmes de logement alternatifs sur la santé
et les performances des poules pondeuses**

par Éloïse Denis

Département de sciences cliniques
Faculté de médecine vétérinaire

Mémoire présenté à la Faculté de médecine vétérinaire
en vue de l'obtention du grade de *Maîtrise ès sciences* (M. Sc.)
en sciences vétérinaires option sciences cliniques

Août 2019

© Éloïse Denis, 2019

Université de Montréal
Département de sciences cliniques, Faculté de médecine vétérinaire

Ce mémoire intitulé

**L'impact des systèmes de logement alternatifs sur la santé et les performances des poules
pondeuses**

Présenté par

Éloïse Denis

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes

Gustavo Zamberlam

Président-rapporteur

Martine Boulianne

Directrice de recherche

Alexandra Harlander

Codirectrice

Stéphane Godbout

Codirecteur

Marianne Villettaz Robichaud

Membre du jury

Résumé

Alors que les producteurs d'œufs canadiens font la transition des cages conventionnelles vers les systèmes de logement alternatifs, il est important de déterminer l'impact de ceux-ci sur le bien-être et les performances des poules pondeuses. L'objectif de cette étude était d'évaluer la prévalence de déviation du bréchet, de fracture du bréchet, de dermatite du coussinet plantaire et l'état du plumage dans les fermes commerciales du Québec, Canada. Le taux de ponte, la mortalité cumulée, la consommation alimentaire, l'épaisseur de la coquille, le poids de l'œuf, la force de la coquille, l'unité Haugh et la prévalence d'œufs sales et craqués ont été utilisés pour déterminer la performance du troupeau. L'utilisation de la thermographie infrarouge comme outil diagnostique pour les fractures du bréchet et les dermatites du coussinet plantaire a également été évaluée. Les données révèlent que les poules maintenues en volières présentent une prévalence de fracture du bréchet ($P=0,011$) et une mortalité ($P=0,0049$) plus élevée, en plus de produire des œufs avec une épaisseur de coquille supérieure comparativement aux poules maintenues en cages enrichies ($P=0,0049$). Une faible consommation alimentaire était corrélée avec une prévalence élevée de poules présentant une perte de plumes ($P < 0,05$) et une consommation alimentaire élevée était corrélée avec un poids d'œufs élevé ($P < 0,05$). Les systèmes de logement n'ont pas influencé les autres paramètres étudiés. Globalement, les volières impactent négativement les fractures du bréchet, les dermatites du coussinet plantaire ainsi que la mortalité et la thermographie infrarouge n'est pas un outil diagnostique fiable.

Mots-clés: Système de logement alternatif, poule pondeuse, santé, performance, thermographie infrarouge

Abstract

As Canadian egg farmers transition their flocks from conventional cages to alternative housing systems, it is important to evaluate the impact of the latter on the performance and welfare of laying hens. To this end, the present study investigates the prevalence of keel bone deviation, keel bone fracture, footpad dermatitis and feather coverage in commercial flocks in Quebec, Canada, housed in enriched cages and aviaries. Mean egg production, cumulative mortality, feed intake, shell thickness, egg weight, shell strength, Haugh unit, and the prevalence of cracked or dirty eggs were used as measures of flock performance. The present study also investigates the use of infrared thermography as a diagnostic tool for keel bone fractures and footpad dermatitis in hens. Our data show that hens housed in aviaries have a significantly higher prevalence of keel bone fracture ($P=0.011$) and cumulative mortality ($P=0.0049$) but that the egg shells of aviary hens are significantly thicker than their counterparts in enriched cages ($P=0.0049$). While thermal imaging could not distinguish between hens with and those without fractures, footpad temperatures were significantly higher in hens with severe dermatitis ($P<0.01$). Furthermore, a low feed intake positively correlated with damaged feather coverage ($P<0.05$), while high feed intake correlated with high egg weight ($P<0.05$). The other parameters studied were not influenced by the type of housing. Overall, aviary housing negatively impacted keel bone fractures, footpad dermatitis and mortality and infrared thermography is not a valid diagnostic tool for keel fracture and footpad dermatitis in hens.

Keywords: alternative housing system, laying hen, welfare, performance, infrared thermography

Table des matières

Résumé.....	3
Abstract.....	4
Table des matières.....	5
Liste des tableaux.....	8
Mémoire.....	8
Article.....	8
Liste des figures.....	9
Mémoire.....	9
Article.....	9
Liste des sigles et des abréviations.....	10
Remerciements.....	12
Introduction.....	13
Recension des écrits.....	17
1. Production d’œufs de consommation au Canada.....	17
1.1 Portrait de l’industrie canadienne.....	17
1.2 Gestion de la production.....	18
1.3 Performances référentielles.....	20
2. Logements des oiseaux.....	20
2.1 Systèmes des poulettes en élevage.....	20
2.2 Systèmes des poules pondeuses utilisés au Canada.....	22
2.2.1 Système de cages conventionnelles.....	23
2.2.2 Système de cages enrichies (aménagées).....	24
2.2.3 Volières.....	26
2.2.4 Libre parcours.....	28
2.3 Raisons de la diversité des systèmes présents.....	29
2.3.1 L’abolition des cages conventionnelles.....	29
2.3.2 La demande pour les œufs de poules élevées en liberté.....	30
3. Bien-être.....	31
3.1 Définition.....	31

3.1.1 Cinq libertés	32
3.1.2 Approches du bien-être	32
3.1.3 Adaptabilité des animaux.....	33
3.2 Évaluation du bien-être	35
3.3 Bien-être en élevages commerciaux	36
4. Impacts des systèmes de logements	38
4.1 Effets sur les performances	38
4.1.1 Production d’œufs	38
4.1.2 Autres performances zootechniques	39
4.2 Effets sur le bien-être	41
4.2.1 Comportements	41
4.2.1.1 Comportements naturels	41
4.2.1.2 Comportement de picage de plumes	42
4.2.2 Santé.....	44
4.2.2.1 Musculo-squelettique.....	44
Anomalie du bréchet.....	45
4.2.2.2 Tégumentaire	50
4.3 Effets sur la qualité des œufs	53
4.3.1 Propreté et intégrité des œufs.....	53
4.3.2 Qualité de la coquille et interne des œufs	54
5. Thermographie	55
Hypothèses et objectifs de recherche	58
Article	59
Abstract	60
Introduction.....	61
Materials and Methods.....	63
Results.....	67
Discussion	69
Conclusions.....	77
Acknowledgments.....	77
References.....	84

Discussion.....	89
Conclusion	102
Bibliographie.....	103
Annexe 1 : Résultats des troupeaux de Dekalb blanche	115

Liste des tableaux

Mémoire

Tableau 1: Niveau d'expression de comportements en fonction du système de logement des poules pondeuses	42
Tableau 2: Moyenne (\pm EC) du taux de ponte (hen-day egg production), de la mortalité cumulée et de la consommation alimentaire en cages enrichies et en volière à 6 différents âges	115
Tableau 3: Moyenne (\pm EC) de l'épaisseur de la coquille, du poids de l'œuf, de la force de la coquille et de l'unité Haugh en cages enrichies et en volière à 2 différents âges.....	117
Tableau 4: L'analyse de la courbe ROC pour les fractures du bréchet, les dermatites du coussinet plantaire gauche et les dermatites du coussinet plantaire droit.....	118

Article

Table 1: Prevalence ($\% \pm$ SD) of keel bone deviations, keel bone fractures, footpad dermatitis and damaged feather coverage from enriched cages (EC) and aviaries (A) at 8 different ages	80
Table 2: Mean (\pm SD) of hen-day egg production, cumulative mortality and feed intake from enriched cages (EC) and aviaries (A) at 8 different ages.....	81
Table 3: Mean (\pm SD) of egg weight, shell strength, Haugh unit, and shell thickness and prevalence ($\% \pm$ SD) of cracked egg from enriched cages (EC) and aviaries (A) at 4 different ages	82
Table 4: ROC curve analysis of keel bone fractures, left footpad dermatitis and right footpad dermatitis.....	83

Liste des figures

Mémoire

Figure 1: Cages conventionnelles.	24
Figure 2: Cages enrichies.....	25
Figure 3: Système sur parquet à un étage	26
Figure 4: Système de volière à plusieurs étages	27
Figure 5: Adaptabilité des animaux	34
Figure 6: Relation entre le bien-être et la productivité animale.....	37
Figure 7: Déviation du bréchet	46

Article

Figure 1: Thermal imaging sampling tool	78
Figure 2: Thermal image of the keel bone	79
Figure 3: Thermal image of footpads.....	79

Liste des sigles et des abréviations

Etc. : Et cætera

J (d) : Jour (day)

kgf : Kilogramme-force

ppm : Partie par million

ROC : Receiver Operating Characteristic

SD : Standard Deviation

SEM : Standard Error of the Mean

*À ma mère qui m'appuie dans tout ce que j'entreprends
et à mon père qui sait toujours trouver les bons mots quand il le faut*

Remerciements

Je voudrais tout d'abord remercier Dre Martine Boulianne, ma directrice de maîtrise, qui m'a donné l'envie et l'opportunité de poursuivre mes études universitaires. Son soutien ainsi que ses précieux conseils ont été nécessaires à la réussite de ce projet. Je lui serai éternellement reconnaissante de m'avoir amené à ce niveau de dépassement de soi.

J'aimerais également remercier mes codirecteurs, Dre Alexandra Harlander et Dr Stéphane Godbout, pour leur contribution. Chacun m'a apporté une expertise qui me manquait et qui, j'en suis certaine, me servira dans le futur.

Merci à mon comité-conseil et à mon jury pour leur regard neuf essentiel à l'amélioration de ce projet, que je considère comme mon bébé.

Il m'est aussi important de reconnaître la Fédération des producteurs d'œufs du Québec pour leur support logistique et administratif indispensable. Merci à Denis Frenette et Nathalie Gaulin. Un merci spécial à Angèle Hudon-Tanguay pour la participation à la prise de données.

Mes remerciements sincères à Dr Guy Beauchamp pour les analyses statistiques. Sa générosité, son temps et son aide furent indispensables à mon apprentissage du mystérieux monde des statistiques.

Un merci d'exception à Lila Maduro pour l'aide apportée durant la récolte de données. La qualité de son travail ainsi que son instinct remarquable ont fait d'elle une alliée incomparable lors de ma maîtrise.

J'aimerais remercier Nicolas Deslauriers, mon collègue devenu mon complice au cours de notre parcours à la maîtrise. Sans son appui, sa personnalité, et son amour, les dernières années auraient été des années de solitude remplies de barbantes pauses café.

Je veux exprimer mon immense gratitude aux producteurs participants. Leur confiance et leur bonté ont été au-delà de ce que j'avais pu imaginer et ce fut une réelle chance d'avoir été accueilli si chaleureusement chez eux.

Je souhaite finalement remercier ma famille et mes amis, qui savent qui ils sont, pour m'avoir accompagné dans ce parcours, non sans embuche, mais au combien enrichissant.

Introduction

L'intérêt des consommateurs pour leur alimentation ne cesse d'augmenter, particulièrement en ce qui concerne l'origine de leur nourriture et le traitement réservé aux animaux de ferme. Au cours des dernières années, les consommateurs ont fait pression sur l'industrie des œufs pour permettre aux poules pondeuses une plus grande liberté de mouvement, et ainsi, améliorer leur bien-être grâce à de meilleures conditions de logement (Petrik et al., 2015). Par conséquent, les restaurateurs et transformateurs ont augmenté leur demande pour des œufs produits par des poules logées en liberté. Ces diverses demandes ont conduit à l'adoption d'une nouvelle politique, soit l'élimination progressive des cages conventionnelles d'ici 2036, décision qui a été prise par les Producteurs d'œufs du Canada en 2016. À l'heure actuelle, 60 % des poules au Québec et 71 % des poules au Canada sont hébergées dans des cages conventionnelles (Fédération des producteurs d'œufs du Québec, 2019c; Producteurs d'œufs du Canada, 2019), ce qui signifie que la majorité des producteurs devront choisir un autre système de logement dans les prochaines années. Avant de prendre une telle décision, il est important de mieux comprendre ces systèmes pour assurer une transition idéale.

Parmi les logements alternatifs, les producteurs peuvent choisir parmi trois systèmes distincts, soit les systèmes de cages enrichies, de volières et de libre parcours. Les cages enrichies doivent fournir un espace de 750 cm² par oiseau et être équipées de perchoirs et d'une zone de nidification. Les volières peuvent être divisées en deux groupes, les volières à un et à plusieurs niveaux, et doivent fournir une surface de 1900 cm² et de 929 cm² par oiseau respectivement (Conseil National pour les Soins aux Animaux d'Élevage, 2017). Les volières sont également équipées de perchoirs et de zones de nidification. Les libres parcours sont semblables aux volières, mais les poules doivent avoir accès à l'extérieur. Chaque type de logement présente ses forces et ses faiblesses. Par exemple, les systèmes sans cages offrent la possibilité d'exprimer des comportements naturels tels la prise de bain de poussière et le picorage (Lay et al., 2011). Cependant, des taux de mortalité plus élevés ont été observés dans ces systèmes, et ce, en raison d'une plus grande prévalence de maladies bactériennes, parasitaires et virales, en plus d'un taux de cannibalisme élevé (Fossum et al., 2009). Les

systèmes sans cages entraînent également une augmentation de la consommation alimentaire et une production d'œufs plus faible (Elson and Croxall, 2006; Yilmaz Dikmen et al., 2016).

L'évaluation de la santé des troupeaux de poules peut se faire à l'aide de plusieurs critères. Parmi ceux-ci, les indicateurs de bien-être peuvent être utilisés comme base de mesure. Les anomalies du bréchet, les dermatites du coussinet plantaire et l'emplumement des poules sont parmi les indicateurs les plus fréquemment utilisés dans la littérature, possiblement à cause de leur facilité d'évaluation (Lay et al., 2011; Hartcher and Jones, 2017).

Les anomalies du bréchet incluent les déviations, résultant d'une pression continue sur le bréchet, et les fractures, résultant de collisions entre les poules et les installations du système de logement (Casey-Trott et al., 2015). En raison de la conception des logements, ces conditions de bréchet sont généralement plus fréquentes dans les systèmes sans cages, en particulier les fractures. Puisque les fractures du bréchet sont douloureuses (Sandilands et al., 2009; Nasr et al., 2012b) et affectent négativement la production et la qualité des œufs (Nasr et al., 2012a; Nasr et al., 2013), il est crucial d'évaluer l'impact des logements alternatifs dans un contexte québécois sur la prévalence de cette blessure puisque cela n'a encore jamais été fait.

En plus des problèmes musculo-squelettiques, les problèmes de pattes sont aussi présents dans les différents logements, comme c'est le cas pour les dermatites du coussinet plantaire. Cette dernière est une inflammation de la surface du coussinet des pattes des poules. La litière humide est la cause la plus fréquemment observée, ce qui explique pourquoi cette condition est plus répandue dans les systèmes à base de litière, tels les volières et les libres parcours (Shepherd and Fairchild, 2010; Lay et al., 2011). En plus des pertes économiques engendrées, la dermatite du coussinet plantaire provoque de la douleur et si elle s'infecte et progresse, elle peut mener à de l'arthrite, de l'anorexie et éventuellement à la mort de l'oiseau. Cette pathologie est donc un autre bon indicateur de bien-être.

La perte de plumes découle généralement du picage des plumes ou de l'abrasion causée par le logement en cage. C'est également un indicateur souvent utilisé pour déterminer la condition de bien-être des poules (Zhao et al., 2013). Non seulement la perte de plumes a un impact sur le bien-être, mais elle augmente également la consommation alimentaire des oiseaux puisque ceux-ci tenteront de compenser la perte de température corporelle qui accompagne cette

perte de plumes (Su et al., 2006; Yilmaz Dikmen et al., 2016). L'alimentation représente une partie importante des coûts de production (Matthews and Sumner, 2015). Le maintien d'un bon emplumement chez les poules est donc bénéfique à la fois pour leur bien-être et pour la productivité de l'entreprise agricole.

La thermographie infrarouge est un outil d'imagerie utilisé pour déterminer la température de surface des objets. Cette technologie a gagné en popularité en médecine vétérinaire, car elle est objective, non invasive et permet la détection précoce de maladies et de blessures (Caldara et al., 2014; Ben Sassi et al., 2016). Plusieurs études ont confirmé cet énoncé en démontrant la fiabilité de la thermographie pour la détection, par exemple, de mammite chez la vache laitière (Berry et al., 2003) ou de dermatite du coussinet plantaire chez la dinde (Moe et al., 2018). Plus spécifiquement chez la pondeuse, la thermographie serait un outil approprié pour évaluer l'emplumement (Zhao et al., 2013) et les dermatites du coussinet plantaire (Wilcox et al., 2009). Nasr et al. (2012a) ont également détecté une différence de température dans la région du bréchet entre les poules avec et sans fracture. La thermographie semble donc être un outil prometteur pour le diagnostic des fractures du bréchet et des dermatites du coussinet plantaire chez les poules.

En Europe, les cages conventionnelles sont interdites depuis 2012. Par conséquent, plusieurs recherches ont été menées sur les systèmes de logement alternatifs, mais peu d'études ont été menées au Canada. Le climat du Canada différent de celui des pays d'Europe a possiblement un impact autre sur les conditions environnementales retrouvées au pondoir, comme le taux d'humidité de la litière. Ce dernier pourrait influencer la prévalence de dermatite du coussinet plantaire, d'où l'importance de poursuivre la recherche au Canada. De nombreux projets de recherche sur les logements ont également été réalisés dans des environnements de recherche contrôlés. Il est important d'évaluer le bien-être et les performances des poules directement sur les fermes commerciales canadiennes afin de déterminer les conséquences réelles de ces nouvelles pratiques en matière de logement.

Selon la littérature, la santé et les performances des poules pondeuses maintenues en cages enrichies sont meilleures que celles maintenues en volières, et ce, pour l'ensemble des indicateurs de bien-être présentés ci-dessus, soit les anomalies du bréchet, les dermatites du coussinet plantaire et l'emplumement. De plus, il est posé que l'utilisation de l'imagerie

thermique est un outil fiable pour déterminer le statut de santé des poules pondeuses. Les objectifs de cette étude étaient donc de déterminer l'impact des cages enrichies et des volières québécoises sur la santé et les performances des poules pondeuses, plus précisément sur les déviations du bréchet, les fractures du bréchet, les dermatites du coussinet plantaire, l'emplumement, les performances zootechniques et la qualité des œufs, ainsi qu'évaluer l'utilisation de la thermographie comme outil de diagnostic des fractures du bréchet et des dermatites du coussinet plantaire chez les pondeuses.

Recension des écrits

1. Production d'œufs de consommation au Canada

1.1 Portrait de l'industrie canadienne

La production des œufs de consommation est l'une des cinq productions sous la gestion de l'offre au Canada. Autrement dit, tout exploitant souhaitant produire et mettre en vente des œufs doit posséder un droit de produire. En 2018, il y avait 1 143 producteurs d'œufs de consommation canadiens ayant chacun en moyenne 22 479 pondeuses. Ainsi, c'est 25,2 millions de poules qui étaient en production dans l'ensemble du Canada. Parmi les provinces canadiennes, l'Ontario est au premier rang de la production suivi par le Québec. En 2019, ces deux provinces détenaient respectivement 35,7 % et 20,3 % des contingents de production canadiens. En regroupant toutes les provinces, une moyenne de 650 millions de douzaines d'œufs est produite par année (Producteurs d'œufs du Canada, 2019). Au cours de l'année 2018, le Canada a exporté 1 509 347 douzaines d'œufs frais, conservés et cuits ainsi que 5 237 835 kg d'œufs transformés. Les importations quant à elles s'élevaient à 53 649 336 douzaines d'œufs frais, conservés et cuits ainsi que 8 781 025 kg d'œufs transformés (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2019c).

Au Québec, en 2018, les 157 producteurs québécois ont produit 1 657 733 628 œufs de consommation grâce aux 5 205 142 poules pondeuses dénombrées. L'autosuffisance de la production au Québec a donc atteint 86 %. Le quota moyen par entreprise était de 32 188 poules pondeuses et chacune de celles-ci a produit environ 318 œufs par année. Une douzaine d'œufs blancs de calibre gros rapportait en 2018 1,96 \$ aux producteurs et était vendue 2,88 \$ au détail. En 2018, plus d'un cinquième de la production québécoise était destiné au marché de la transformation (Fédération des producteurs d'œufs du Québec, 2019c).

L'industrie canadienne des œufs est en croissance depuis plusieurs années et ceci peut être expliqué par la perception positive des consommateurs quant aux bienfaits de la consommation d'œufs pour la santé. En effet, en 2018, la vente d'œufs au détail a augmenté de

6 % pour atteindre une consommation annuelle de 21,12 douzaines d'œufs par habitant (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2019a; Producteurs d'œufs du Canada, 2019).

1.2 Gestion de la production

La production des œufs de consommation se fait en plusieurs étapes. Il est toutefois possible de les diviser en trois volets ; l'élevage des poulettes, la période de ponte et la mise en marché des œufs.

Les poulettes sont les futures pondeuses qui seront utilisées pour la production des œufs. Leur élevage commence une fois leur transfert du couvoir en élevage et se poursuit durant 19 semaines. Environ 20 % des producteurs d'œufs du Québec élèvent eux-mêmes leurs poulettes afin d'avoir un contrôle plus complet sur leur production (N. Gaulin, communication personnelle, 21 novembre 2019). Lors de cette première étape, plusieurs conditions d'élevage doivent être respectées afin d'assurer un bon développement des oiseaux. Par exemple, le système de logement choisi, soit les cages ou les parquets, aura un impact important sur le reste de la production. Différents guides ont été développés à cet effet selon la race de poules utilisée. En règle générale, la température de l'éleveuse après la réception des poussins doit être maintenue entre 33 et 36 °C durant les trois premiers jours afin d'assurer une température corporelle des animaux adéquate. La luminosité et la durée de la photopériode doivent également être élevées afin de permettre aux oiseaux de se familiariser avec leur environnement et de trouver les sources d'alimentation. L'humidité relative doit se trouver entre 60 % et 70 % et les gaz, comme l'ammoniac, le dioxyde de carbone et le monoxyde de carbone, doivent être contrôlés sans quoi les pondeuses risquent le développement de maladies respiratoires (David et al., 2015). Des programmes de vaccination, d'alimentation et de luminosité sont mis en place dans le but de préparer les poulettes à la ponte. Durant l'ensemble de la période d'élevage, il est important de porter une attention particulière aux conditions qui pourraient affecter la productivité future des pondeuses. Par exemple, pour des performances optimales, les poulettes doivent avoir un poids entre elles le plus uniforme possible avant la ponte (Hy-Line, 2016; Lohmann Tierzucht, 2016; Bovan, s.d.).

Entre 16 et 19 semaines d'âge, les poulettes sont transférées des éleveuses aux pondoires et entament la période de ponte. La durée de ponte dure généralement un an avec un pic de ponte

vers l'âge de 32 à 35 semaines. Ces poules pondeuses peuvent être gardées en cages de ponte ou dans des systèmes sans cages. Peu importe le système choisi, l'environnement ambiant doit être contrôlé. La température visée avant le pic de ponte est entre 21 et 24 °C après quoi elle peut être élevée à 27 °C. Un minimum de 18 °C doit toutefois être maintenu. L'humidité doit être maintenue entre 40 % et 70 %. Le taux de ventilation dépend de la race des oiseaux sélectionner pour la production. Elle peut atteindre 0,17 m³/minutes/oiseaux et 0,21 m³/minutes/oiseaux pour les races légères et lourdes respectivement. Pour éviter des problèmes de santé aux oiseaux, comme le développement de maladies respiratoires, le taux d'ammoniac, de dioxyde de carbone et de monoxyde de carbone ne peut dépasser 25 ppm, 5 000 ppm et 50 ppm respectivement (Hy-Line, 2016; Lohmann Tierzucht, 2016; Bovan, s.d.). Pour la santé des travailleurs, la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (2019a; 2019b; 2019c) réglemente l'exposition maximale au gaz ainsi : 8 heures à 25 ppm ou 15 minutes à 35 ppm pour l'ammoniac, 8 heures à 5 000 ppm ou 15 minutes à 30 000 ppm pour le dioxyde de carbone et 8 heures à 35 ppm ou 15 minutes à 200 ppm pour le monoxyde de carbone.

Chaque jour, les producteurs récoltent les œufs et les gardent au frais, dans une chambre froide à une température n'excédant pas 13 °C, jusqu'à leur envoi au poste de classement où ils sont nettoyés, mirés et classés selon la qualité interne, la coquille et le poids de l'œuf (Éditeur officiel du Québec, 2019; Fédération des producteurs d'œufs du Québec, 2019a). Cette étape est nécessaire avant la mise en marché des œufs. En 2017, on dénombrait 195 postes de classement des œufs au Canada, dont 14 au Québec (Agriculture et Agroalimentaire Canada, 2019b; Fédération des producteurs d'œufs du Québec, 2019a). Il existe quatre catégories dans lesquelles les œufs peuvent être classés, soit Canada A, Canada B, Canada C et Canada œufs tout-venant. La forme et position du jaune, l'épaisseur de l'albumen, la taille et profondeur de la chambre à air, la présence de caillots sanguins ainsi que la propreté, l'intégrité et la forme de la coquille sont des exemples de critères observés lors de la classification. Les œufs retrouvés en épicerie sont ceux de catégories A et possèdent tous une mention de calibre jumbo, extra gros, gros, moyen, petit ou très petit selon leur poids. Les œufs de catégorie B et C sont destinés à la transformation. Il y a présence sur le marché d'une grande variété d'œufs. En plus des œufs blancs et bruns de différents calibres, le marché offre des œufs de spécialité. Parmi ceux-ci, il y

a entre autres les œufs biologiques, enrichis en oméga-3, enrichis en vitamines ainsi que les œufs de poules en liberté et en élevage confort (Fédération des producteurs d'œufs du Québec, 2019b).

1.3 Performances référentielles

Afin d'assurer une production efficace et optimale, les producteurs se doivent de faire un suivi quotidien de leur élevage. Les conditions ambiantes ainsi que les performances de leur troupeau sont compilées de façon plus ou moins rigoureuse selon le choix des producteurs. Les données accumulées peuvent par la suite être comparées à des données référentielles. Plusieurs outils de références ont été développés à cet effet. Les guides d'élevage en font partie.

Il existe différents guides de production selon les races de pondeuses utilisées en fermes commerciales (Hy-Line, 2016; Lohmann Tierzucht, 2016; Bovan, s.d.). Ces guides proposent des lignes directrices sur différents aspects de l'élevage des poulettes et des pondeuses. Parmi ces lignes directrices, on retrouve notamment des recommandations quant à la gestion des programmes lumineux, la température, la qualité de l'air, le développement des poules, la nutrition et le contrôle des maladies. De plus, des standards de performances zootechniques, incluant le taux de mortalité, la consommation alimentaire, le poids des poules et le taux de ponte, ainsi que des performances de qualité des œufs, comme le poids, la force de la coquille et l'unité Haugh, sont présentés. Plusieurs graphiques facilitant le suivi sont également fournis, et ce, pour les différents systèmes de production. De cette façon, les producteurs peuvent se fier aux données référentielles de ces guides pour déterminer l'état de leur production en se basant sur les critères de production les plus importants.

2. Logements des oiseaux

2.1 Systèmes des poulettes en élevage

Une fois sortis du couvoir, les poussins sont livrés dans les élevages de poulettes possédant des systèmes avec ou sans cages. Peu importe le système choisi, celui-ci doit répondre aux exigences du code de bonnes pratiques pour les soins et manipulations des poulettes et pondeuses. Ce code stipule entre autres les exigences et recommandations quant à la conception

et à l'équipement que nécessite chaque système (Conseil National pour les Soins aux Animaux d'Élevage, 2017). Les poulettes y resteront pour une durée qui varie entre 16 et 19 semaines avant d'être transférées dans un pondeoir où elles seront dorénavant considérées comme des pondeuses. Les premières semaines de vie des poulettes engendrent des effets durables et importants sur la santé, le bien-être et les performances des futures pondeuses (Conseil National pour les Soins aux Animaux d'Élevage, 2017). L'élevage ne doit donc pas être négligé. Plusieurs études ont évalué l'impact que peut susciter le transfert des poulettes vers le pondeoir sur les comportements, les performances et le bien-être des oiseaux en fonction du logement et de la régie présente en élevage.

Certaines études ont montré des performances similaires entre les oiseaux élevés sur parquet et en cages concernant la production d'œufs, le gain moyen quotidien et la conversion alimentaire à la suite de leur transfert en système de pondeoir en cages (Craig et al., 1988; Jin and Craig, 1988; Anderson and Adams, 1994; Roll et al., 2008). La qualité des œufs et de la coquille était cependant meilleure lorsque les oiseaux étaient élevés en cages plutôt que sur parquet (Anderson and Adams, 1994; Roll et al., 2008). La mortalité quant à elle était semblable entre les systèmes d'élevage (Jin and Craig, 1988; Roll et al., 2008) ou même plus grande chez les poules élevées sur parquet (Weitzenburger et al., 2005). L'élevage des poulettes sur parquet représente toutefois un avantage puisque les microorganismes présents dans la litière stimulent le développement immunitaire des oiseaux, améliorant la réponse immunitaire contre les maladies infectieuses (Walstra et al., 2010).

Pour effectuer certains comportements, les oiseaux doivent passer par une période d'apprentissage sans quoi ceux-ci ne pourront s'adapter adéquatement à leur environnement de ponte. Par exemple, une poulette n'ayant jamais eu de perchoirs dans son logement d'élevage ne saura pas automatiquement qu'il lui est possible de se déplacer dans plus de deux dimensions. Cet apprentissage se fait également plus facilement lorsque les oiseaux sont jeunes (Appleby and Duncan, 1989). En effet, les oiseaux ayant eu accès à des perchoirs à un jour d'âge dans l'étude de Gunnarsson et al. (2000) prenaient moins de temps à atteindre la nourriture située à des étages supérieurs une fois âgés de 16 semaines comparativement à ceux qui avaient eu accès aux perchoirs à huit semaines d'âge. Cet apprentissage est particulièrement important pour les poulettes destinées aux pondeoirs en systèmes de volière. Parmi les combinaisons possibles,

l'élevage de poulettes en cages suivi de leur transfert en système sans cages doit être évité puisqu'elles auront de la difficulté à retrouver dans leur environnement les ressources alimentaires, ce qui pourra mener à la déshydratation et l'émaciation des oiseaux (Tauson, 2005). De plus, ces oiseaux auront tendance à pondre au sol et seront exposés à des contaminations pour lesquelles leur système immunitaire n'aura pas été préparé. Autrement dit, pour bénéficier d'une transition la plus efficace possible, il est important de faire correspondre l'environnement des éleveuses à celui des pondeuses (Van de Weerd and Elson, 2006).

2.2 Systèmes des poules pondeuses utilisés au Canada

Il existe différents systèmes de logement des poules pondeuses au Canada. Chacun d'entre eux présente des avantages et des inconvénients. Peu importe le système choisi, certaines exigences doivent être remplies. Le bâtiment et ses installations doivent être facilement nettoyables et assurer la sécurité et la santé des volailles. Afin de garantir une bonne santé, les poules doivent avoir accès en tout temps à la nourriture et l'eau de qualité et quantité suffisante. Chaque oiseau doit donc avoir un espace à la mangeoire d'au moins 7 cm et un nombre réglementaire d'abreuvoirs par groupe de poules, variant selon le type d'abreuvoirs, doit être disponible. L'espace de logement alloué aux pondeuses varie en fonction du type de logements utilisé, mais de façon générale, les volailles maintenues sur un plancher totalement couvert de litière ont des besoins supérieurs en matière d'espace que celles élevées sur un plancher composé de lattes ou de grillage (Conseil National pour les Soins aux Animaux d'Élevage, 2017).

La gestion de l'environnement des poulaillers doit être rigoureuse afin d'assurer la santé des pondeuses. La ventilation permet de gérer la température, l'humidité, les gaz ainsi que le taux de poussière des bâtiments et doit donc assurer un apport d'air frais et des conditions d'hygiène favorisant la santé et le bien-être des poules. Plusieurs exigences encadrent également la gestion de la température, de l'éclairage, du bruit et des pratiques d'élevage afin de garantir une santé et des performances optimales (Conseil National pour les Soins aux Animaux d'Élevage, 2017).

2.2.1 Système de cages conventionnelles

Le logement des poules en cages conventionnelles est le système le plus utilisé au Canada (Figure 1). En 2018, 60 % des poules du Québec et 71 % des poules du Canada étaient maintenues dans ce type de système, alors que le reste des poules étaient logées dans des systèmes alternatifs (Fédération des producteurs d'œufs du Québec, 2019c; Producteurs d'œufs du Canada, 2019). Ce logement est constitué de cages grillagées dont les planchers sont inclinés permettant ainsi aux œufs de rouler en dehors de la cage et d'être récoltés facilement. Ces cages sont empilées pour former un système de plusieurs étages. Le nombre d'oiseaux par cage est variable, pouvant passer de quatre à huit. Peu importe le nombre de poules par groupe, 432 cm² et 484 cm² doivent être alloués aux poules blanches et brunes respectivement. Pour les systèmes installés avant décembre 2003, cet espace peut être de 413 cm² et 452 cm² pour les poules blanches et brunes (Fédération des producteurs d'œufs du Québec, s.d.). Les poules ont accès aux aliments grâce à une mangeoire située à l'extérieur de la cage et l'eau est généralement fournie à l'aide d'abreuvoirs à l'intérieur du logement. Le fumier s'accumule sur une courroie située sous chaque rangée de cages et peut alors être acheminé au centre ou au bout des rangées pour être entreposé (Conseil National pour les Soins aux Animaux d'Élevage, 2017).



Figure 1: Cages conventionnelles. © 2017 par Martine Boulianne. Reproduit avec permission.

2.2.2 Système de cages enrichies (aménagées)

En 2017, 26 % des poudeuses du Québec étaient maintenues dans ce système de logement alternatif (Fédération des producteurs d'œufs du Québec, 2018). Bien qu'il y ait des similitudes avec les cages conventionnelles, le système de cages enrichies comporte des différences notables, soit une densité animale plus faible et un enrichissement de l'environnement de ponte (Figure 2). Les cages enrichies sont de dimension supérieure aux conventionnelles et peuvent regrouper une douzaine à une centaine de poules, offrant à chaque poule une surface de 750 cm² au total. Il doit y avoir au moins 45 cm entre le plancher et le plafond de chaque niveau. De plus, chaque cage possède des équipements, comme des nids et des perchoirs, permettant aux poudeuses d'exprimer certains comportements naturels. Les aires de nidification comprises dans les différents systèmes doivent être fermées sur au moins trois côtés grâce à des rideaux ou des parois pleines, ne doivent pas comprendre d'abreuvoirs, de mangeoires ou de perchoirs et doivent être séparées d'au moins 15,2 cm de l'espace utilisable des mangeoires. Les nids peuvent être individuels, habituellement préférés par les poules, ou

collectifs. La compétition pour ces nids varie selon plusieurs facteurs comme la taille des groupes ou les races de poules. En plus des nids, les poules ont accès à des perchoirs. Ceux-ci doivent être positionnés de façon à réduire la contamination des mangeoires et des oiseaux par les fientes ainsi qu'à réduire les risques de blessures aux poules. Leur diamètre doit être de 1,9 cm afin d'assurer l'équilibre des poules. Chaque oiseau doit disposer d'un espace au perchoir de 15 cm et de 65 cm² d'espace de nid. La récolte du fumier et la disposition des mangeoires et abreuvoirs sont semblables à celles retrouvées dans les systèmes de cages conventionnelles (Conseil National pour les Soins aux Animaux d'Élevage, 2017).

Malgré les améliorations qu'apportent les cages enrichies au niveau du bien-être des poules, un sondage effectué par Maurice Doyon, professeur au Département d'économie alimentaire et des sciences de la consommation de l'Université Laval, et ses collaborateurs a révélé que les consommateurs québécois n'étaient pas prêts à déboursier davantage pour l'achat d'œufs produits dans des cages enrichies (Hamann, 2015). Le problème viendrait principalement du fait que le terme « cage » rebute les consommateurs (Doyon et al., 2016). Lorsque le système de cages enrichies leur est expliqué, ceux-ci sont davantage disposés à payer un surplus pour ces œufs. Le terme employé pour définir ce système est donc crucial. Bien que les cages soient belles et bien présentes, il semble préférable d'employer le terme « système enrichi » ou encore « système aménagé » auprès du public.



Figure 2: Cages enrichies. [Photographie inédite]. © 2018 par Éloïse Denis.

2.2.3 Volières

En 2017, 18 % des poules du Québec étaient maintenues en liberté à l'aide de systèmes de logement telles les volières (Fédération des producteurs d'œufs du Québec, 2018). Contrairement aux systèmes précédents, les pondeuses logées en volières ne sont pas regroupées en cages. Elles sont rassemblées à l'intérieur d'un bâtiment et peuvent se déplacer en toute liberté. Il est possible de faire la distinction entre les volières à un niveau, communément appelé parquet (Figure 3), et à plusieurs niveaux (Figure 4). Incluant le sol, les volières ne peuvent avoir plus de quatre étages. Ce type de logement peut contenir plusieurs milliers de poules selon la grandeur du bâtiment. Afin d'empêcher les pondeuses de se regrouper dans un coin et de s'empiler, les volières comprennent plusieurs couloirs possédant tous des sections qui séparent le bâtiment de l'avant à l'arrière. Les poules peuvent donc se déplacer d'un couloir à l'autre en restant toutefois dans une même section (Conseil National pour les Soins aux Animaux d'Élevage, 2017).



Figure 3: Système sur parquet à un étage. [Photographie inédite]. © 2018 par Éloïse Denis.



Figure 4: Système de volière à plusieurs étages. [Photographie inédite]. © 2018 par Éloïse Denis.

En excluant les nids, l'espace alloué à chaque poule dépend du nombre de niveaux et de la constitution du sol des volières. Les élevages sur parquet, soit à un niveau sur litière, offrent $1\,900\text{ cm}^2$ d'espace par poule et les logements dont le plancher est une combinaison de grillage, litière et lattes offre 929 cm^2 d'espace par poule, et ce, peu importe le nombre de niveaux. Tout comme pour les systèmes enrichis, les poules ont accès à des nids et des perchoirs qui doivent respecter les mêmes exigences, sauf pour l'espace de nids qui doit être d'au moins $83,2\text{ cm}^2$ par poules. De plus, les perchoirs situés en hauteur ne doivent pas être à plus de 1 m du sol ou du perchoir le plus proche. Une distance minimale de 19 cm doit séparer les perchoirs des murs et du plafond, des perchoirs superposés à la verticale ou des autres structures. Dans le cas où les perchoirs adjacents seraient à moins de 19 cm d'espace vertical, ils doivent être distancés d'au moins 30 cm horizontalement afin de permettre aux poules de se percher simultanément (Conseil National pour les Soins aux Animaux d'Élevage, 2017). La litière présente dans ce

type de système doit être gérée de façon à maintenir le taux de poussière ou d'humidité suffisamment bas pour éviter des problèmes de santé comme des troubles respiratoires et des blessures aux pattes. Donner accès à la litière permet cependant l'expression de comportements naturels tels la prise de bains de poussière et le picorage. En élevage commercial, la litière est majoritairement constituée d'un mélange de fientes des oiseaux et de copeaux de bois comme substrat initial. Des courroies situées sous les différents niveaux des volières permettent de récolter les fientes et de maintenir la propreté des oiseaux présents aux étages inférieurs. Les volières favorisent le comportement d'exploration puisque les oiseaux doivent se déplacer afin de trouver les différentes ressources alimentaires et équipements. La régie dans ces logements nécessite une attention particulière sur certains aspects. Par exemple, afin d'éviter la ponte au sol, les producteurs doivent, les premiers jours suivant l'arrivée des poules au poulailler, montrer aux pondeuses l'emplacement des nids en plaçant celles-ci près des aires de nidifications le soir venu. L'environnement complexe des volières nécessite plus d'apprentissages de la part des poulettes. C'est pour avoir un meilleur contrôle sur cet apprentissage que bon nombre de producteurs canadiens élèvent eux-mêmes leurs poulettes (Van Staaveren et al., 2018).

2.2.4 Libre parcours

L'élevage en liberté peut se faire strictement à l'intérieur, comme c'est le cas en volière, ou avec accès à l'extérieur. Ce type de système, nommé libre parcours, correspond à un système sans cages où les pondeuses ont accès à un espace extérieur avec présence de végétation. Parmi le 18 % des poules du Québec maintenues en liberté en 2017, certaines d'entre elles étaient logées dans ce type de système (Fédération des producteurs d'œufs du Québec, 2018). Des trappes, d'au moins 35 cm de hauteur et de 40 cm de largeur, doivent être spécialement aménagées à cet effet. La surface extérieure disponible pour les volailles doit être clôturée afin d'offrir une protection contre les prédateurs ainsi qu'offrir une structure qui protège les poules des conditions environnementales. Bien que l'accès à l'extérieur soit obligatoire en libre parcours, des moyens pour restreindre cet accès doivent être prévus lorsque la santé ou le bien-être des oiseaux est à risque. L'entretien de l'aire de parcours est crucial dans ce type de système pour la protection des volailles. Les exigences pour l'espace intérieur sont les mêmes que celles des volières pour l'allocation d'espace et l'équipement (Conseil National pour les Soins aux Animaux d'Élevage, 2017). Ces logements sont présents en moins grand nombre au Québec,

mais sont quand même utilisés par certains producteurs, principalement pour la production d'œufs biologiques.

2.3 Raisons de la diversité des systèmes présents

2.3.1 L'abolition des cages conventionnelles

Le 5 février 2016, les Producteurs d'œufs du Canada ont annoncé l'abolition des cages conventionnelles d'ici 2036. La majorité des producteurs du Canada devront alors choisir de nouveaux systèmes de logement. Ceux-ci peuvent décider de maintenir l'élevage des poules en cages, à l'aide des systèmes enrichis, ou de se tourner vers un système d'élevage en liberté. La pression des consommateurs pour des systèmes de production moins restreints offrant aux poules une plus grande liberté a fortement encouragé cette nouvelle politique (Petrik et al., 2015).

En 2016, 82 % des poules du Canada étaient maintenus dans les systèmes conventionnels, alors que les 18 % restant provenaient de poules élevées en systèmes alternatifs (Producteurs d'œufs du Canada, 2019). Au Québec, ce nombre s'élevait à 15,5 % (Larivière, 2016). Afin de respecter la date butoir de 2036, l'installation de nouvelles cages conventionnelles est interdite depuis le mois de juillet 2016. De plus, l'industrie s'est engagée à ce qu'au moins 50 % des poules en production soient passées des cages conventionnelles à des systèmes alternatifs d'ici 2024 et 85 % d'ici 2031 (Producteurs d'œufs du Canada, 2016). Selon le rapport annuel 2018 des Producteurs d'œufs du Canada (2019), 29 % des poules canadiennes sont déjà maintenues dans des systèmes de logement alternatifs. Le marché, l'élevage des poulettes, l'accessibilité économique pour les consommateurs ainsi que plusieurs autres facteurs ont dû être pris en considération pour déterminer le moment de la mise en place de cette nouvelle politique (Producteurs d'œufs du Canada, 2016). La restructuration de la majorité des élevages comprend la modification de l'ensemble des équipements et nécessite souvent la construction de nouvelles infrastructures. Ainsi, une période de 20 ans a été considérée nécessaire pour une transition réussie.

Le code de pratiques pour le soin et la manipulation des poulettes et poules (Conseil National pour les Soins aux Animaux d'Élevage, 2017) dicte les exigences et recommandations

à suivre lors de cette transition. Par exemple, les producteurs qui posséderont encore des poules en cages conventionnelles d'ici le 1^{er} juillet 2031 devront accorder à leurs oiseaux un espace minimal supérieur, soit de 580,6 cm².

2.3.2 La demande pour les œufs de poules élevées en liberté

En plus de l'abolition des cages conventionnelles, la demande grandissante pour les œufs provenant de poules élevées en liberté contribue à la diversité des systèmes de logement au Canada. En effet, plusieurs chaînes de restaurants ont annoncé vouloir s'approvisionner en œufs de poules élevées en liberté uniquement. Les restaurants McDonald's, Tim Horton's, Subway et Burger King s'engagent à le faire d'ici 2025 alors que Starbucks, Harvey's, Swiss Chalet, Kelsey, Wendy's et East Side Mario's présents sur le territoire canadien ont le même objectif, mais pour 2020 (Addady, 2016; Freelancer, 2016).

En plus des chaînes de restauration, plusieurs membres de la division de l'alimentation du Conseil canadien du commerce de détail (CCCD) ont annoncé leur intention de s'approvisionner à 100 % d'œufs de poules élevées en liberté d'ici 2025. Parmi ces membres, on retrouve plusieurs grandes compagnies d'épicerie comme Loblaws, Metro, Sobeys et Walmart. La compagnie Hellmann's, qui utilise 331 millions d'œufs par année pour ses produits transformés, s'est également prémunie de cette politique d'approvisionnement pour 2020 (Walsh, 2017).

L'engagement d'offrir des œufs de poules en liberté aux consommateurs entraîne bien évidemment une différence au niveau du prix du produit. Effectivement, la production d'une douzaine d'œufs dans les systèmes en liberté occasionne 36 % de frais additionnels comparativement aux systèmes de cages conventionnelles (Matthews and Sumner, 2015). Ainsi, au Canada, le prix en épicerie pour une douzaine d'œufs de poules en liberté peut être le double que pour une douzaine d'œufs de poules en cages conventionnelles (Smart, 2016).

Comme mentionné, la demande des œufs de poules en liberté est en croissance et nécessitera plusieurs élevages ayant des systèmes de logement en liberté pour approvisionner les différents restaurants et compagnies alimentaires.

3. Bien-être

3.1 Définition

Quoique le bien-être animal soit une notion bien ancrée dans la population canadienne actuelle, il n'en a pas toujours été ainsi. La perception qu'ont les humains des animaux a évolué avec le temps pour éventuellement mener à la notion de bien-être. Autrefois, alors que la plupart des courants de pensée concernant la relation entre les humains et les animaux portaient sur les dissimilitudes entre ces espèces, Bentham concentrait sa réflexion sur leur ressemblance, autrement dit la capacité des animaux à souffrir (Bentham, 1789; Hodos and Campbell, 1969). Au fil du temps, l'ensemble des réflexions ont conduit à la conclusion qu'il existe effectivement des similarités entre les humains et les animaux et que la meilleure façon de déterminer ces points communs était d'étudier les différentes espèces le plus objectivement possible (Dewsbury, 1978).

Les différents principes et théories qui ont été proposés au cours des dernières décennies ont finalement mené à une définition du bien-être selon laquelle toute souffrance animale inutile devrait être évitée. Le terme bien-être est essentiellement employé pour les animaux domestiques ou d'élevage, autrement dit, d'animaux utilisés pour combler un besoin humain (alimentaire, vestimentaires, médicale, etc.). Ce concept n'est effectivement pas utilisé pour les animaux en milieu naturel. Le bien-être est un continuum allant de très bon à très pauvre (Fraser, 1990). Cette notion, maintenant bien présente dans notre perception des animaux, peut facilement être subjective. Autrement dit, la conception du bien-être pour une personne peut être totalement différente pour une autre. C'est pourquoi plusieurs définitions ont été proposées afin de déterminer le plus objectivement possible ce qui qualifie un animal dans un état de bien-être. Parmi ces définitions, celle des cinq libertés est la plus couramment employée comme référence. Il est également possible d'aborder le bien-être sous trois différentes approches; le fonctionnement biologique, les états affectifs et la vie naturelle des animaux. Finalement, le bien-être peut être présenté en fonction de l'adaptabilité des animaux à leur environnement.

3.1.1 Cinq libertés

Les cinq libertés sont un concept initialement amené en 1966 par le comité Brambell, qui avait pour objectif de faire enquête sur le bien-être des animaux d'élevage (Fraser, 1990). Dans ce rapport, le comité stipulait que les animaux devaient avoir une liberté de mouvement qui leur permettait de se lever, se coucher, se tourner, se toiletter et s'étirer sans difficulté (Conklin, 2014). En 1993, le Farm Animal Welfare Committee (FAWC) adapta ces cinq libertés pour en faire cinq nouvelles normes applicables à tous les systèmes d'élevage (Webster, 2001). Ces nouvelles libertés stipulent que l'animal d'élevage doit être :

- 1) Libre de la soif, de la faim et de la malnutrition
- 2) Libre d'inconfort
- 3) Protégé et soulagé de la douleur, de la maladie et des blessures
- 4) Libre d'exprimer la plupart des comportements normaux et naturels de leur espèce
- 5) Libre de la peur et de la souffrance mentale

Ce sont ces cinq nouvelles libertés qui sont maintenant mondialement reconnues comme référence en matière de bien-être.

3.1.2 Approches du bien-être

Pour déterminer adéquatement le bien-être animal, il est possible de se baser sur plusieurs critères. Ceux-ci peuvent également être regroupés en différentes catégories selon l'aspect du bien-être animal dont il est question. Ces regroupements permettent d'aborder le concept de bien-être sous trois grandes approches; le fonctionnement biologique, les états affectifs et la vie naturelle des animaux (Fraser et al., 1997).

Le fonctionnement biologique vise d'abord et avant tout la santé. Une bonne connaissance anatomique et physiologique est nécessaire afin de déterminer les moments où la santé de l'animal est atteinte (Fraser et al., 1997). La douleur et l'état de stress sont également compris dans cette catégorie. Puisque la santé animale est un concept large, il est possible de la séparer en fonction de l'aspect anatomique touché. Autrement dit, la santé peut notamment être respiratoire, intestinale, musculo-squelettique, tégumentaire et reproductive. Si l'un de ces systèmes est affecté, le fonctionnement biologique de l'animal est compromis et le bien-être de

l'animal réduit. En effet, un bon fonctionnement biologique est directement lié au respect des première et troisième libertés. Ainsi, un animal souffrant de blessures ou de maladies ne peut être dans un état de bien-être idéal, de même qu'un animal dont les besoins primordiaux d'alimentation ne sont pas satisfaits.

L'approche par l'état affectif fait référence aux « sentiments » que peut éprouver un animal. Bien qu'il soit impossible de déterminer si un animal est heureux, triste ou bien jaloux, une autre gamme d'émotions peut être perceptible. Parmi celles-ci, on retrouve la peur, la souffrance mentale, la frustration, le confort et le contentement. Ainsi, l'approche du bien-être par l'état affectif porte essentiellement sur l'absence de souffrance chez les animaux et sur la promotion des expériences positives et plaisantes (Fraser et al., 1997). Les deuxième et cinquième libertés présentées ci-dessus se rapportent spécifiquement aux états affectifs. L'évaluation de ces états est plus difficile que pour les fonctions biologiques. Généralement, les comportements exprimés par les animaux servent de point de départ.

Finalement, l'approche du bien-être par la vie naturelle est le principe selon lequel les animaux devraient vivre selon leur nature (Fraser et al., 1997). Malgré la domestication des animaux d'élevage, certains comportements naturels ont persisté. Ce sont ces comportements que les animaux tenteront d'exprimer dans leur environnement d'élevage. Chez les poules pondeuses, le grattage, la prise de bains de poussière et le perchage sont des exemples de conduites naturelles toujours présentes chez ces animaux. La satisfaction de ces comportements naturels est, selon la quatrième liberté du FAWC, un élément clé du bien-être.

3.1.3 Adaptabilité des animaux

En 1997, Fraser et ses collaborateurs ont suggéré une façon d'aborder le principe de bien-être en se basant sur l'adaptabilité des animaux à leur environnement (Fraser et al., 1997). Selon eux, les animaux peuvent voir leur bien-être compromis dans trois situations (Figure 5). La première est lorsqu'un animal possède des habiletés qui ne servent pas dans un environnement donné. Par exemple, une poule qui n'a pas accès à un perchoir alors qu'elle possède cette aptitude naturellement. La deuxième est lorsqu'un animal se retrouve dans un environnement pour lequel il n'est pas adapté. La troisième est lorsqu'un animal possède les habiletés nécessaires à son environnement, mais que celles-ci sont insuffisantes ou inadéquates.

Pour illustrer cette dernière situation, on peut penser à la capacité qu'ont les animaux à contrôler leur température. Toutefois, en temps très chaud ou froid, cette capacité devient insuffisante et le bien-être des animaux est alors compromis.

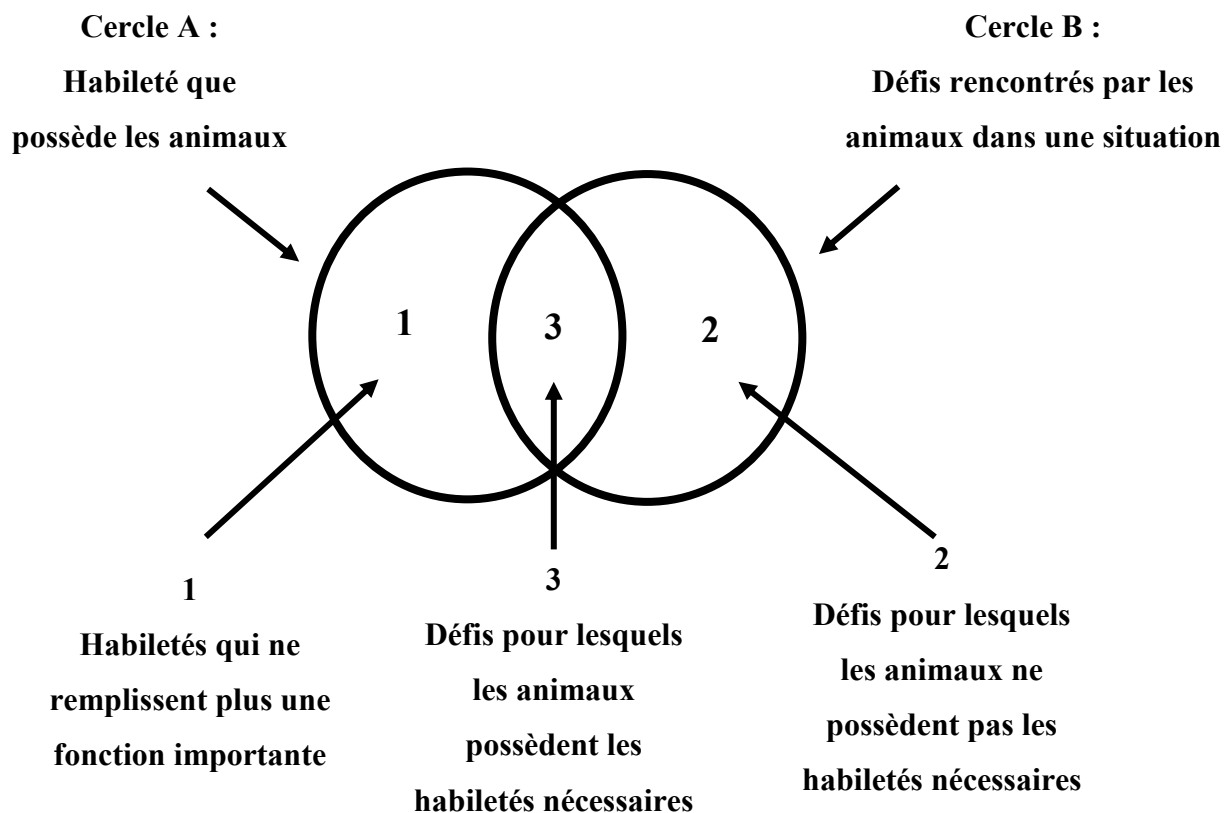


Figure 5: Adaptabilité des animaux. Tiré de « A Scientific Conception of Animal Welfare that Reflects Ethical Concerns », par D. Fraser et al., 1997, The Humane Society Institute for Science and Policy, Animal Studies Repository. © D. Fraser. Adapté avec permission.

3.2 Évaluation du bien-être

Pour être capable de se positionner sur l'état de bien-être des animaux, il faut évaluer celui-ci. Les critères sur lesquels se base cette évaluation doivent être les plus objectifs possible et être fondés sur des principes scientifiques, sinon il serait presque impossible de prendre une décision concernant les animaux de façon unanime et appropriée. L'évaluation du bien-être permet de donner des indicateurs concernant les correctifs à apporter à un élevage ainsi que de déterminer si une rectification a amené un réel changement positif sur le bien-être.

Il existe plusieurs critères mesurables permettant de faire l'évaluation du bien-être des animaux. Les chercheurs du milieu proposent l'utilisation de différents aspects de la vie animale, passant de la santé physique, au stress, à la souffrance, etc. Peu importe les critères sélectionnés pour l'évaluation, il est important de récolter une variété de mesures différentes afin d'effectuer une évaluation adéquate. Parmi les critères retrouvés, plusieurs auteurs s'entendent sur la santé physique, les mesures physiologiques ainsi que les mesures comportementales comme étant de bons outils pour déterminer l'état de bien-être (Dawkins, 1983; Broom, 2007; Appleby et al., 2011). Dawkins (1983) propose également la productivité comme critère d'évaluation.

Les performances, comme le nombre d'œufs produits, le gain de poids et le nombre de petits par portée, peuvent donner des indices quant à l'état de bien-être des animaux. Bien qu'il existe une relation entre les performances et le bien-être, plusieurs autres facteurs ont des impacts sur la productivité. C'est pourquoi il est crucial de considérer des aspects autres que la productivité seule. D'ailleurs, plusieurs chercheurs préfèrent ne pas s'y fier lors des évaluations.

La santé physique est un excellent indicateur de bien-être. La présence de maladies et de blessures a des impacts directs sur la souffrance, le confort, et la vigueur des animaux. Cette relation entre l'état physique et de bien-être peut parfois être sous-estimée (Dawkins, 1983; Broom, 2007; Appleby et al., 2011).

Les mesures physiologiques représentent la réponse adaptative d'un être vivant à la suite d'une perturbation quelconque (Appleby et al., 2011). Celles-ci incluent entre autres la fréquence cardiaque, la température corporelle et les taux d'hormones (Broom, 2007). La mesure du cortisol sanguin, par exemple, est souvent utilisée comme indicateur de stress (Appleby et al., 2011). Plusieurs autres mesures physiologiques comme celle-ci ont un lien

direct avec le bien-être des animaux. Avec ce critère d'évaluation, il peut toutefois être difficile de déterminer le niveau de changement physiologique nécessaire pour conclure que le bien-être est compromis (Dawkins, 1983; Appleby et al., 2011).

Finalement, l'évaluation des comportements est l'un des indicateurs les plus utilisés, possiblement en raison de la facilité de la prise de mesure, soit la simple observation. Dans une situation donnée, l'animal agit d'une certaine façon afin de changer ou de contrôler son environnement (Appleby et al., 2011). Parmi la panoplie de mesures possibles, les comportements de préférence, naturels et anormaux sont généralement les plus souvent employés (Dawkins, 1983; Broom, 2007; Appleby et al., 2011). Les comportements préférentiels peuvent être déterminés en plaçant un animal dans une situation où celui-ci doit choisir entre plusieurs alternatives. Il est donc possible de présumer que l'alternative choisie serait favorable au bien-être de l'animal (Appleby et al., 2011). L'expression de comportements naturels, telle l'action de picorer, de se percher et de prendre des bains de poussière chez les volailles, est un indicateur pertinent au niveau de l'évaluation du bien-être. Les comportements anormaux quant à eux indiquent un bien-être affecté. Par exemple, la stéréotypie, comportements répétitifs sans but ou fonction observable, serait en effet une façon pour les animaux de compenser un manque de stimulation, de ressource ou une façon de gérer la peur, l'isolation et le confinement (Dawkins, 1983; Broom, 2007; Appleby et al., 2011).

Peu importe les critères mesurés, il peut être ardu de déterminer la limite au-delà de laquelle le bien-être est compromis. Toutefois, la diversité de la prise de mesures vient enrichir et faciliter l'évaluation et permet de conclure objectivement quand une situation devient intolérable pour l'animal (Fraser, 1990).

3.3 Bien-être en élevages commerciaux

Les élevages sont en fait des entreprises qui ont pour objectif de répondre à un besoin humain où les animaux jouent le rôle de matière première. Ainsi, leur valeur est directement reliée à leur productivité (McInerney, 2004). Toutefois, puisqu'il est question d'êtres vivants, il est impossible de mettre de côté l'aspect bien-être des animaux et de se concentrer uniquement sur l'aspect économique de ces entreprises. Il existe d'ailleurs une forte corrélation entre la productivité et le bien-être animal (Figure 6).

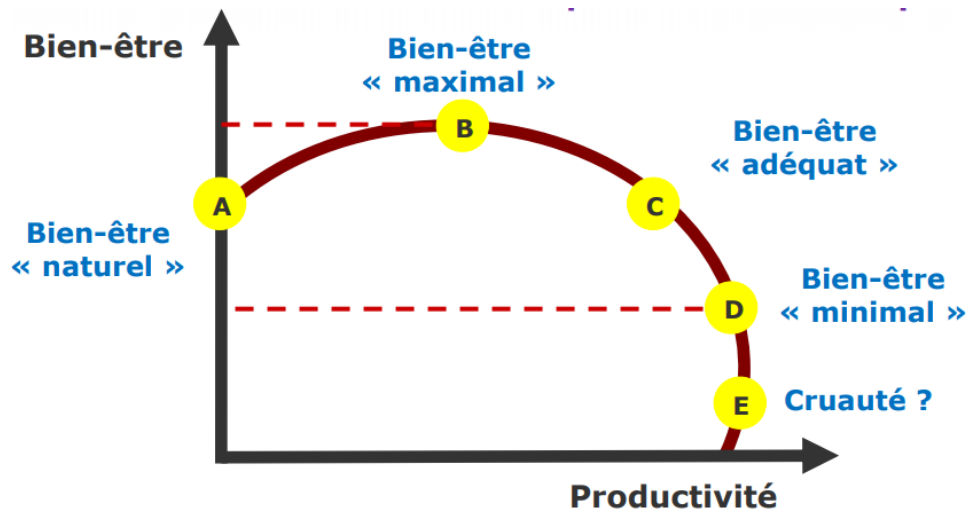


Figure 6: Relation entre le bien-être et la productivité animale. Tiré de « Animal welfare, economics and policy: Report on a study undertaken for the Farm & Animal Health Economics Division of Defra », par J. McInerney, 2004. Adapté par D-M Gouin. Université Laval, Département d'économie agroalimentaire et des sciences de la consommation. © D-M. Gouin. Reproduit avec permission.

Le point A de la figure 6 est une référence initiale où aucun effort n'est mis afin d'exploiter la productivité de l'animal. Une fois en conditions d'élevage, les animaux sont maintenus dans des conditions plus contraignantes, mais le contrôle de leur santé y est amélioré. Ainsi, en les nourrissant et en les protégeant des prédateurs et des maladies, on améliore le bien-être des animaux tout en augmentant leur productivité. Après un certain point (B), les efforts effectués pour améliorer la productivité des animaux auront pour effet de réduire le bien-être (C) jusqu'à atteindre un état de bien-être minimal (D). Si le point de cruauté (E) est atteint, les animaux ne peuvent plus maintenir leur santé physique et le système de production s'effondre (McInerney, 2004).

Il est important de tenir compte de cette relation lorsqu'il est question de production animale commerciale. Bien que la productivité soit capitale pour la pérennité d'une entreprise agricole, le bien-être des animaux joue un rôle majeur dans celle-ci.

4. Impacts des systèmes de logements

Les systèmes de logements présentés dans les sections précédentes possèdent des caractéristiques diversifiées. Le logement parfait n'existe pas puisque chacun entraîne des avantages et des inconvénients. Chaque système offre quelque chose de différent aux poudeuses et a des répercussions concrètes sur les performances et le bien-être des oiseaux ainsi que sur la qualité des œufs.

4.1 Effets sur les performances

4.1.1 Production d'œufs

Le taux de ponte peut être calculé de deux façons; « hen-day egg production » ou « hen-housed egg production ». La première prend en compte la production d'œufs par rapport au nombre réel de poules présentes chaque jour dans l'élevage alors que la deuxième le fait par rapport au nombre de poules mises au pondoir en début d'élevage. La majorité du temps, la production d'œufs est exprimée en « hen-day egg production » et c'est ce qui sera présenté dans cette section.

Parmi les études effectuées, plusieurs ont conclu que la production d'œufs en systèmes de cages était plus élevée (Tauson et al., 1999; Elson and Croxall, 2006; Englmaierová et al., 2014). Elson and Croxall (2006) ont observé un pic de ponte pour les systèmes en cage entre 89 et 98 % alors qu'il n'atteignait que 72 à 82 % dans les systèmes sans cages. Cette différence entre les deux modes de production est restée constante jusqu'à la fin du cycle de ponte. La production en systèmes de cages était supérieure à 90 % dans l'étude de Englmaierová et al. (2014) comparativement à un système de volière et parquet où la production se situait en deçà de 80 %. Les auteurs ont suggéré qu'un certain nombre d'œufs en système de volière avaient probablement été détruits ou mangés par les poules et non comptés dans la production puisqu'ils avaient été pondus au sol. La production d'œufs est toutefois semblable entre les cages conventionnelles et les cages enrichies (Guesdon and Faure, 2004; Tactacan et al., 2009; Englmaierová et al., 2014; Yilmaz Dikmen et al., 2016). Ces résultats suggèrent qu'offrir un environnement enrichi aux poules n'a pas d'effet négatif sur la production totale d'œufs. Mostert et al. (1995) ont toutefois remarqué que la production en cages conventionnelles était supérieure

à celle en libre parcours, mais similaire à celle sur parquet. Cependant, Yilmaz Dikmen et al. (2016) ont conclu que la production était plus élevée en libre parcours qu'en systèmes de cages conventionnelles et enrichies sans toutefois proposer une explication. Finalement, Ahammed et al. (2014) n'ont observé aucune différence de production entre les systèmes de cages conventionnelles, de volière et sur parquet.

Malgré la diversité des observations publiées, la majorité des études concluent que la production d'œufs en cages enrichies et conventionnelles est similaire et que, dans plusieurs cas, cette production est supérieure à celle des poules en liberté. Toutefois, bon nombre de facteurs comme la race, le niveau d'activité des poules et la conception des systèmes, viennent influencer ces performances (Guesdon and Faure, 2004; Vits et al., 2005; Elson and Croxall, 2006; Englmaierová et al., 2014).

4.1.2 Autres performances zootechniques

Outre la production d'œufs, d'autres performances zootechniques devraient être évaluées afin de déterminer le bon fonctionnement d'un élevage. L'une des plus importantes est probablement le taux de mortalité. Encore une fois, les études rapportent des conclusions contradictoires quant aux systèmes de logement permettant l'obtention de meilleurs résultats. Cependant, il a été démontré que le taux de mortalité dans les systèmes de poules en liberté, comme les parquets, les volières et le libre parcours, est supérieur comparativement à celui observé dans les systèmes de cages (Tauson et al., 1999; Elson and Croxall, 2006; Sherwin et al., 2010; Petrik et al., 2015). Mostert et al. (1995) ont même conclu que les poules maintenues sur parquet et en libre parcours avaient 3,5 fois plus de chance de mourir comparativement à celles en cages conventionnelles. Les causes de mortalité chez les poules en liberté sont les maladies bactériennes, parasitaires et virales en plus de la présence de cannibalisme entre les oiseaux (Mostert et al., 1995; Abrahamsson and Tauson, 1998; Fossum et al., 2009). Dans l'étude de Fossum et al. (2009), le cannibalisme ainsi que les maladies bactériennes, parasitaires et virales étaient présents dans 18,6%, 72,8 %, 17,8 % et 11,6 % des troupeaux évalués respectivement. De plus, la présence de prédateurs en libre parcours augmente les risques de mortalité et est une cause spécifique à ce type de système. L'étude de Yilmaz Dikmen et al. (2016) a étonnamment démontré une plus grande mortalité en cages enrichies comparativement

à celle en libre parcours. Ce haut taux était principalement dû au cannibalisme cloacal. En comparant uniquement les logements en cages, les études ont démontré une mortalité supérieure en cages enrichies (Yilmaz Dikmen et al., 2016), une mortalité plus élevée en cages conventionnelles (Guesdon and Faure, 2004) ou aucune différence de mortalité entre ces deux systèmes (Tactacan et al., 2009). Finalement, en comparant les cages conventionnelles, les parquets et les volières, Ahammed et al. (2014) n'ont vu aucune différence significative au niveau du taux de mortalité, mais ont conclu que le cannibalisme était la cause de mortalité la plus présente. Bien que différentes causes de mortalités aient été soulignées, celle-ci est influencée par un grand nombre de facteurs (Tactacan et al., 2009; Ahammed et al., 2014). Il est ainsi difficile de déterminer l'impact réel des systèmes sur cet indicateur de performance. Toutefois, la mortalité reste un bon indicateur de bien-être et des efforts devraient être mis afin de la minimiser (Elson and Croxall, 2006; Nicol et al., 2006; Sherwin et al., 2010). Pour améliorer la situation dans les systèmes sans cages, une bonne gestion du pondoïr et des mesures préventives, telles des programmes de biosécurité et de vaccination devraient être mises en place (Fossum et al., 2009; Kaufmann-Bart and Hoop, 2009). De plus, la réduction du cannibalisme, en ajoutant du matériel ou des objets permettant aux poules de picorer par exemple, serait une bonne solution (Lay et al., 2011).

Sachant que l'alimentation des poules est un facteur important au niveau du rendement et des coûts de production (Matthews and Sumner, 2015), plusieurs études ont comparé l'impact des logements sur cet indicateur de performance. La consommation alimentaire en cages conventionnelles et enrichies est généralement similaire (Tactacan et al., 2009; Yilmaz Dikmen et al., 2016). Ce n'était toutefois pas le cas dans l'étude de Englmaierová et al. (2014) où elle était supérieure en cages enrichies comparativement à celle en cages conventionnelles, où la densité animale était plus élevée. Les poules en liberté ont tendance à consommer plus de moulée compte tenu de leur plus grand niveau d'activité (Elson and Croxall, 2006; Yilmaz Dikmen et al., 2016). Leur liberté de mouvement et la dispersion des ressources alimentaires entraînent les oiseaux à se déplacer davantage et augmente leur besoin énergétique. Malgré cela, Ahammed et al. (2014) n'ont pas observé de différence significative dans la consommation alimentaire des oiseaux maintenus en cages et ceux en liberté.

Cette consommation alimentaire peut se refléter dans le poids des poules, comme c'est le cas pour l'étude de Yilmaz Dikmen et al. (2016) où les poules en liberté, qui avaient une plus grande consommation alimentaire, avaient également un poids plus élevé comparativement aux poules en cages. Ce n'est cependant pas toujours le cas. Le niveau d'activité des poules en liberté est tel qu'il est possible qu'elles soient plus légères même si leur consommation est supérieure (Elson and Croxall, 2006; Petrik et al., 2015). Sherwin et al. (2010) rapportent un poids similaire entre les poules en cages conventionnelles et en libre parcours, mais plus élevé comparativement aux poules en cages enrichies et sur parquet. Ces résultats laissent croire que le poids des poules est influencé par des facteurs autres que le simple niveau d'activité.

4.2 Effets sur le bien-être

4.2.1 Comportements

4.2.1.1 Comportements naturels

Parmi les nombreux comportements effectués par les pondeuses, certains sont considérés comme naturels. Par définition, ces comportements sont ceux qui seront exprimés dans des conditions naturelles (Bracke and Hopster, 2006). Bien que les poules pondeuses d'aujourd'hui aient été domestiquées, certains de ces comportements ont persisté. Parmi eux, on retrouve entre autres l'action de se percher, de gratter, de s'isoler pour pondre et de prendre des bains de poussière. Comme mentionné dans les sections précédentes, l'expression de ces comportements chez les oiseaux est directement liée à leur bien-être et dépend de facteurs tels la génétique et les expériences vécues précédemment. De plus, les systèmes dans lesquels les poules sont maintenues ont une grande influence compte tenu de l'espace et des équipements qui seront offerts aux pondeuses (Lay et al., 2011).

L'expression de la majorité des comportements est plus élevée en cages enrichies comparativement en cages conventionnelles (Tableau 1). La densité plus faible ainsi que l'ajout d'équipement d'enrichissement, comme des perchoirs et des nids, dans ce type de logement explique ce résultat. De plus, la liberté de mouvement dont disposent les oiseaux en systèmes de liberté permet une expression encore plus élevée des comportements. Toutefois, cette liberté

permet aux poules de s'adonner à des comportements non désirés, tels le picage de plume et le cannibalisme.

Tableau 1: Niveau d'expression de comportements en fonction du système de logement des poules pondeuses

	Cages conventionnelles	Cages enrichies	Parquets	Volières	Libre parcours
Picorer	+	++	+++	+++	++++
Bain de poussière	+	++	++++	++++	++++
Nidification	+	+++	++++	++++	++++
Percher	+	++	+++	+++	+++
Picage de plumes et cannibalisme	++	++/+++	++++	++++	++++

Niveau d'expression : + = aucun ou incomplet, ++ = relativement bas, +++ = modéré, ++++ = relativement haut ou complet

Adapté de Lay et al. (2011)

4.2.1.2 Comportement de picage de plumes

Le picage de plumes est un comportement redirigé, autrement dit, un comportement qui en remplace un autre qui ne peut être satisfait (Sedlackova et al., 2004; Dixon et al., 2008; Ekesbo, 2011). Deux hypothèses ont été émises pour expliquer la présence de ce comportement redirigé, soit l'impossibilité pour les poules de picorer ou de prendre des bains de poussière (Sedlackova et al., 2004; Dixon et al., 2008; Ekesbo, 2011). Plusieurs facteurs augmentent la prévalence du picage de plumes chez les pondeuses, comme les déficiences nutritionnelles et une forte intensité lumineuse du pouloir. De plus, les poules brunes ont une tendance plus élevée à exprimer ce comportement. Le temps a également un impact puisqu'en début de la ponte, une plus grande fréquence de picage est observée, mais les conséquences deviennent plus sérieuses avec l'âge (Sedlackova et al., 2004; Decina et al., 2019).

Il existe deux formes de picage de plumes. La première consiste en un léger picage du bout des plumes sans qu'il y ait arrachement de celles-ci. La deuxième forme est un picage sévère résultant par l'endommagement du plumage ou la perte de plumes (Sedlackova et al., 2004; Dixon et al., 2008; Meyer et al., 2013). Il ne faut donc pas supposer que chaque coup de

bec donné aura des conséquences sur la perte de plume des poules. Sherwin et al. (2010) ont quantifié la prévalence de chaque type de picage ainsi que l'état du plumage des poules dans différents types de logements. Ils ont conclu que le taux de picage léger en libre parcours était plus élevé que celui en cages et sur parquets. Toutefois, la proportion de poules avec des plumes endommagées et la sévérité des dommages était plus faible pour les poules en libre parcours. Le taux de picage sévère, quant à lui, était plus élevé dans les systèmes sur parquet. Les poules sur parquet présentaient la plus haute proportion et la plus sérieuse perte de plumes comparativement aux poules des autres systèmes. Le picage sévère et non le picage léger est donc la cause des dommages faits au plumage des pondeuses. Pour contrer ces dommages causés par le picage, il est d'usage de couper une portion du bec des poules (Fraser, 1980).

Plusieurs études ont confirmé que le cannibalisme et le picage de plumes étaient les principales causes de mortalité dans les élevages de pondeuses (Mostert et al., 1995; Abrahamsson and Tauson, 1998; Fossum et al., 2009; Lay et al., 2011). C'est pourquoi l'état du plumage des poules est couramment utilisé comme indicateur de bien-être. Grand nombre d'études ont comparé l'état du plumage des pondeuses provenant de différents systèmes de logements. Bien que les chercheurs s'entendent pour dire que la perte de plumes chez les oiseaux augmente avec le temps (Sherwin et al., 2010; Petrik et al., 2015; Decina et al., 2019), les conclusions quant au type de logement permettant la meilleure conservation du plumage divergent. Comme le picage de plume semble supérieur dans les systèmes de poules en liberté, il est concevable d'observer un meilleur état du plumage chez les poules en cages (Tauson et al., 1999; Elson and Croxall, 2006; Sherwin et al., 2010). Toutefois, certaines études ont observé une dégradation du plumage plus élevée chez les pondeuses en cages (Blatchford et al., 2016; Yilmaz Dikmen et al., 2016). Cette cause de la perte de plumes est généralement associée à l'abrasion causée par le logement en cages et non aux agressions, comme c'est le cas pour les systèmes en liberté (Yamak and Sarica, 2012; Blatchford et al., 2016). Une conception d'équipements appropriée est donc nécessaire. Finalement, d'autres chercheurs n'ont pas vu de différence dans l'emplumement des poules lorsque comparant les divers systèmes de cages entre eux ou encore en comparant les systèmes de logement en cages aux systèmes en liberté (Tactacan et al., 2009; Petrik et al., 2013).

La perte de plumes s'accompagne d'une perte de température corporelle. Pour compenser cette perte de température, les poules augmentent leur consommation alimentaire. C'est pourquoi il existe une corrélation négative entre la qualité de l'emplumement et la consommation alimentaire (Tauson et al., 1999; Glatz, 2001; Sedlackova et al., 2004; Yamak and Sarica, 2012). Autrement dit, plus la perte de plumes est élevée, moins la qualité de l'emplumement est bonne et plus grande est la consommation alimentaire des pondeuses. Dans l'étude de Glatz (2001), cette consommation était 16 % plus élevée chez les poules avec un mauvais état de plumage. Le coût de l'alimentation des oiseaux peut donc augmenter de façon considérable lorsque l'emplumement est pauvre (Glatz, 2001; Sedlackova et al., 2004). De plus, Yamak and Sarica (2012) ont observé une meilleure production d'œufs chez les poules conservant une bonne qualité d'emplumement. Toutefois, le poids de ces œufs était plus faible que ceux provenant de poules avec une qualité d'emplumement inférieure. Un taux de mortalité inférieur a également été observé chez les poules avec un meilleur emplumement (Heerkens et al., 2015).

Pour des raisons de bien-être et de performances, il est essentiel de maintenir la qualité de l'emplumement des pondeuses au maximum en tentant de réduire les causes de perte de plumes. Une bonne conception des équipements, ainsi qu'une réduction du picage par l'enrichissement de l'environnement, sont des solutions à considérer, peu importe le système de logements (Lay et al., 2011).

4.2.2 Santé

La santé est un aspect crucial du bien-être des animaux. On peut aborder la santé sous différents angles; soit la santé du système reproducteur, musculo-squelettique, tégumentaire, respiratoire, etc. Toutefois, avec la diversification des systèmes de logement, certains aspects de la santé sont devenus plus préoccupants et c'est pourquoi l'accent a été mis sur ceux-ci dans cette section.

4.2.2.1 Musculo-squelettique

Les principaux problèmes liés à la santé musculo-squelettique sont l'ostéoporose, la fatigue de la pondeuse en cage et les anomalies du bréchet. L'ostéoporose est définie par la perte

de la minéralisation des os entraînant la réduction de la force osseuse (Whitehead and Fleming, 2000; Lay et al., 2011). Dans les cas extrêmes, celle-ci peut se transformer en fatigue de la pondeuse en cage et peut engendrer la paralysie et la mort de l'animal. L'inactivité des poules restreintes dans leurs mouvements et déplacements est la cause première des problèmes d'ostéoporose. Ainsi, cette condition est majoritairement retrouvée chez les poules logées en cages (Whitehead and Fleming, 2000; Lay et al., 2011). Bien évidemment, la faiblesse osseuse joue un rôle sur les incidences de déviation et de fracture du bréchet. La prévalence de ces dernières préoccupe particulièrement l'industrie. Cette section porte donc essentiellement sur ce type de blessures et sur la meilleure compréhension de l'impact qu'ont les divers systèmes de logement sur celles-ci.

Anomalie du bréchet

Les dommages au bréchet font partie des blessures musculo-squelettiques que peuvent encourir les pondeuses. Le bréchet est un os mesurant entre 9 et 12 cm et est une extension du sternum qui se poursuit tout le long de la ligne médiane du sternum et s'allonge médialement, perpendiculairement au plan des côtes (Casey-Trott et al., 2015). Un bréchet intact est droit, sans lésions, déviation ou creux et sans aucune autre anomalie (Butterworth et al., 2009). Il est possible de distinguer deux types de blessures liées au bréchet, soit les déviations et les fractures (Casey-Trott et al., 2015). Dans le premier cas, un bréchet est considéré comme dévié lorsque sa structure n'est plus complètement droite (Figure 7) (Casey-Trott et al., 2015; Heerkens et al., 2016). Contrairement aux fractures, les déviations ne surviennent pas tout d'un coup. Elles se développent à la suite d'une pression continue sur l'os provoquant son remodelage (Tauson et al., 1999; Stratmann et al., 2015). Les fractures, dommage plus important, sont définies par la présence d'une courbe prononcée ou par la fragmentation de l'os du bréchet (Casey-Trott et al., 2015; Riber et al., 2018). Il existe deux types de fractures, les nouvelles et les vieilles. Les nouvelles fractures ne montrent aucun signe de la formation d'un cal osseux, donc de guérison (Sandilands et al., 2009; Sherwin et al., 2010). Elles surviennent généralement lors du dépeuplement et de l'abattage. Les vieilles fractures quant à elles se définissent par la formation d'un cal osseux et se produisent tout au long de la ponte (Sandilands et al., 2009).



Figure 7: Déviation du bréchet. [Photographie inédite]. © 2018 par Éloïse Denis.

La palpation est la technique la plus employée pour déterminer la présence de ces blessures compte tenu de son faible coût, sa facilité d'utilisation et sa validité (Casey-Trott et al., 2015). La technique décrite par Wilkins et al. (2004) est la plus souvent utilisée et consiste à passer deux doigts de chaque côté du bréchet afin de détecter déviation ou déformation. Cette dernière survient après une fracture afin de solidifier l'os brisé et forme alors un cal facilement palpable (Petrik et al., 2015; Heerkens et al., 2016). Bon nombre de chercheurs ont utilisé la palpation pour détecter la présence d'anomalie au niveau du bréchet (Wilkins et al., 2011; Nasr et al., 2013; Petrik et al., 2015; Heerkens et al., 2016). D'autres techniques plus invasives et coûteuses existent, comme les nécropsies, l'échographie et la radiographie (Casey-Trott et al., 2015).

Les systèmes dans lesquels les poules sont logées ont un impact important sur l'apparition de dommages au bréchet. Au niveau des déviations, les systèmes extensifs semblent jouer un rôle important dans le développement de ces anomalies. En effet, Tauson et al. (1999) ont conclu que les déviations étaient retrouvées principalement dans les systèmes sur parquet et volière, contrairement aux systèmes de cages conventionnelles. Elson and Croxall (2006) ont

fait les mêmes conclusions quant à l'incidence de déviation du bréchet en volière et jugeaient les cages enrichies préférables à ce niveau. La proportion de poules en volière avec déviation du bréchet a atteint 59,8 % dans l'étude de Heerkens et al. (2016). Bien que moins fréquentes, les déviations du bréchet en cages enrichies peuvent également se produire (Elson and Croxall, 2006; Habig and Distl, 2013; Blatchford et al., 2016; Casey-Trott et al., 2017). En cages enrichies, Habig and Distl (2013) et Casey-Trott et al. (2017) ont observé une prévalence de déviation du bréchet chez les poules de 28 % et 41 % respectivement. Les causes de déviations les plus souvent mentionnées sont les perchoirs. L'accès à des perchoirs permet aux poules de satisfaire un comportement naturel, mais apporte en retour des complications pour la santé musculo-squelettique. L'utilisation intensive de ceux-ci ainsi que la manière dont les poules vont se percher explique la majorité des problèmes de déviation observés dans les différents systèmes alternatifs (Elson and Croxall, 2006; Habig and Distl, 2013; Heerkens et al., 2016; Casey-Trott et al., 2017). De plus, la conception du perchoir influence aussi ce type de dommage (Butterworth et al., 2009; Pickel et al., 2011). Sachant que les déviations surviennent à la suite d'une pression continue sur le bréchet, la force osseuse des poules ainsi que leur poids jouent aussi un rôle important dans le développement de cette pathologie (Vits et al., 2005; Butterworth et al., 2009; Habig and Distl, 2013; Heerkens et al., 2016). Les poules brunes, par exemple, qui ont un poids plus élevé que les poules blanches, ont une prévalence de déviation du bréchet plus élevée. La densité d'élevage ne semble toutefois pas avoir d'impact sur le développement de la déviation (Habig and Distl, 2013).

La même tendance est observée pour les fractures du bréchet. Ainsi, la prévalence de fracture est également plus élevée dans les systèmes sans cages, soit les parquets, les volières et le libre parcours (Sherwin et al., 2010; Wilkins et al., 2011; Blatchford et al., 2016; Heerkens et al., 2016). La prévalence de fracture du bréchet est variable d'une étude à l'autre, mais elle se situe généralement entre 40 % et 70 % pour les poules logées sur parquet (Nicol et al., 2006; Sherwin et al., 2010; Wilkins et al., 2011; Petrik et al., 2015) et est supérieure à 80 % pour les poules en volière (Wilkins et al., 2011; Heerkens et al., 2016). Contrairement à ce qu'on peut soupçonner, les fractures du bréchet sont également présentes dans les systèmes de cages (Blatchford et al., 2016; Casey-Trott et al., 2017; Riber et al., 2018). Sa prévalence dans les systèmes de cages enrichies peut être légèrement plus élevée qu'en système de cages

conventionnelles, avoisinant 30 % comparativement à 20 % (Sherwin et al., 2010; Wilkins et al., 2011; Petrik et al., 2015). Les études de Sherwin et al. (2010) et de Casey-Trott et al. (2017) n'ont toutefois démontré aucune différence significative entre ces deux types de cages. En combinant les résultats des différents systèmes, Sherwin et al. (2010) ont déterminé que plus de la moitié des poules y avaient subi des fractures du bréchet. La prévalence de celles-ci en systèmes alternatifs a été jugée comme alarmante par plusieurs chercheurs (Sherwin et al., 2010; Wilkins et al., 2011; Heerkens et al., 2016). Petrik et al. (2015) ont observé une augmentation majeure de ces fractures entre 20 et 50 semaines d'âge alors que Gebhardt-Henrich and Frohlich (2015) ont fait la même observation lors du pic de ponte. Les sources de fractures sont différentes d'un système à l'autre. En système conventionnel, les oiseaux font peu d'exercice, comportement essentiel à une bonne santé osseuse, à cause de la mobilité réduite qu'offrent les cages (Sandilands et al., 2009). Ainsi, lors du dépeuplement ou du transport des poules, celles-ci subiront des fractures beaucoup plus facilement en raison du manque de force osseuse au bréchet (Vits et al., 2005; Sherwin et al., 2010; Heerkens et al., 2016; Riber et al., 2018). Les perchoirs sont également un facteur de risque à prendre en considération (Vits et al., 2005). Comme expliqué précédemment, on retrouve une plus grande prévalence de fracture du bréchet dans les systèmes de poules en liberté, comme les parquets et les volières. La liberté de mouvement dont disposent les oiseaux augmente les risques de collisions, et si celles-ci sont suffisamment fortes, elles peuvent provoquer une fracture du bréchet. Les collisions surviennent dans ces types de systèmes compte tenu de leur conception et de la complexité des structures et équipements (Sandilands et al., 2009; Wilkins et al., 2011; Heerkens et al., 2016; Riber et al., 2018). Sandilands et al. (2009) ont également soulevé d'autres facteurs de risque comme la densité animale, l'intensité lumineuse et le battement des ailes. Il a également été suggéré que les risques de fracture du bréchet étaient augmentés chez les poules présentant une déviation du bréchet. En effet, la déviation apporterait un déséquilibre qui affecterait le déplacement des oiseaux (Harlander-Matauschek et al., 2015). Il a été démontré que les fractures du bréchet pouvaient avoir des répercussions sur la production et le comportement des poules (Nasr et al., 2012a; Nasr et al., 2013). Les oiseaux avec un bréchet fracturé produisent moins d'œufs comparativement à ceux avec un bréchet intact, et ont un taux de ponte inférieur à 90 % comparativement à plus de 90 % chez les oiseaux avec bréchet intact. De plus, le poids des œufs et de la coquille est généralement moindre. L'absence de stress lié à la blessure chez les poules

sans fracture pourrait expliquer ces résultats. Nasr et al. (2012a) ont également observé que les poules sans fracture du bréchet étaient plus actives et passait moins de temps à dormir sur le plancher et qu'elles consommaient moins de moulée et d'eau (Nasr et al., 2013). L'augmentation de cette consommation chez les poules avec fractures du bréchet pourrait être expliquée par le stress causé par la blessure, le besoin plus grand en calcium nécessaire pour réparer la fracture ou encore le niveau de faim plus élevé des poules ayant de la difficulté à accéder aux ressources alimentaires. L'augmentation de la consommation d'eau quant à elle est probablement simplement liée à la plus grande consommation de moulée. Les fractures du bréchet peuvent donc avoir des impacts économiques importants et c'est pourquoi il est primordial de les prévenir (Casey-Trott et al., 2015).

Les fractures du bréchet causent de la douleur aux oiseaux (Sandilands et al., 2009; Nasr et al., 2012b; Nasr et al., 2013; Casey-Trott et al., 2015) et peuvent même entraîner la mort (Sandilands et al., 2009). Compte tenu de leur impact direct sur la santé squelettique et la souffrance des oiseaux, on peut conclure que les fractures du bréchet sont de bons indicateurs de bien-être (Wilkins et al., 2011; Nasr et al., 2012b; Nasr et al., 2013). Il y a peu d'information sur la douleur liée aux déviations du bréchet. Elson and Croxall (2006) suggèrent toutefois que les déviations n'ont probablement aucun impact sur le bien-être des oiseaux puisqu'aucune lésion de la peau n'est associée à cette condition. Ainsi, plusieurs chercheurs remettent en question la pertinence de cette anomalie comme indicateurs de bien-être. Cependant comme la plupart des oiseaux avec une déviation du bréchet développent éventuellement une fracture (Gebhardt-Henrich and Frohlich, 2015), il est pertinent d'évaluer la prévalence de cette condition.

Différentes hypothèses ont été soulevées afin de réduire les incidences de dommages au bréchet. Une meilleure conception des structures et des équipements adaptés sont les solutions les plus souvent proposées (Sandilands et al., 2009; Heerkens et al., 2016). Par exemple, un système de volière conçu pour promouvoir les déplacements plus courts favoriserait la protection du bréchet en cas de collisions puisque celles-ci seraient moins fortes. D'autre part, l'installation de perchoirs conçus pour réduire la pression émis sur le bréchet des poules permettrait de réduire les déviations. Une autre solution possible serait d'améliorer la force osseuse des oiseaux. La forte demande en calcium que nécessite la production d'œufs augmente

la fragilité des os et rend les poules susceptibles aux fractures (Casey-Trott et al., 2015; Riber et al., 2018). Il a été démontré que la qualité osseuse des poules en cages enrichies était supérieure à celles en cages conventionnelles (Tactacan et al., 2009) et encore meilleure chez les oiseaux en liberté (Sandilands et al., 2009; Wilkins et al., 2011). Toutefois, la relation existante entre la force osseuse et la prévalence de fracture du bréchet est complexe. Bien que l'exercice dont disposent les poules en liberté leur permette d'améliorer leur santé squelettique, les risques de collisions et de fractures en sont tout aussi augmentés (Wilkins et al., 2011). C'est pourquoi la conception de systèmes adaptés est cruciale. Une fois mise en place, la sélection génétique de poules ayant une bonne force osseuse serait un bon moyen pour prévenir davantage les dommages au bréchet (Sandilands et al., 2009).

4.2.2.2 Tégumentaire

Parmi les différents problèmes de pattes dont peuvent souffrir les poules, deux sont plus souvent étudiés, soit l'hyperkératose et les dermatites du coussinet plantaire. Celles-ci sont des conditions liées à la peau des oiseaux. Cependant, selon leur gravité, elles peuvent entraîner des infections et mener à des problèmes plus importants, comme des boiteries (Martland, 1985; Lay et al., 2011; Da Costa et al., 2014).

L'hyperkératose se définit comme une prolifération de la couche cornée de la peau des pattes de l'oiseau, plus précisément sur la surface plantaire (Lay et al., 2011; Heerkens et al., 2016). Elle se développe en raison de la pression accrue des pattes sur le plancher grillagé d'une cage ou des perchoirs (Lay et al., 2011). La pente du plancher grillagé des cages a également un rôle à jouer dans la prévalence de l'hyperkératose (Lay et al., 2011).

La dermatite du coussinet plantaire, aussi appelé pododermatite et dermatite de contact, est une inflammation des coussinets entraînant la décoloration de la peau, des nécroses et des ulcères (Shepherd and Fairchild, 2010; Lay et al., 2011; Heerkens et al., 2016). Le terme « bumblefoot » est utilisé en anglais pour décrire une dermatite très sévère, comme c'est le cas d'une dermatite qui a subi une infection bactérienne (Lay et al., 2011; Heerkens et al., 2016). Il est possible de regrouper ces deux conditions ensemble afin de simplement faire la distinction entre les oiseaux avec et sans dermatite, peu importe la sévérité de celle-ci. La prévalence de

dermatite est un critère d'évaluation du bien-être couramment utilisé en Europe et aux États-Unis (Shepherd and Fairchild, 2010). La cause la plus souvent rapportée pour expliquer leur apparition est le taux élevé d'humidité de la litière (Wang et al., 1998; Shepherd and Fairchild, 2010; Lay et al., 2011). Pour expliquer cette association entre l'humidité de la litière et les lésions, Mayne (2005) a proposé que le contact continu entre les pattes et la litière humide ramollissait la peau des coussinets de la poule rendant ainsi celle-ci susceptible aux lésions. Le matériel utilisé pour la litière doit donc permettre une bonne absorption de l'humidité et avoir un temps de séchage raisonnable (Shepherd and Fairchild, 2010). La ventilation est le meilleur moyen de contrôler l'humidité de la litière dans les poulaillers. En effet, la ventilation permet un renouvellement de l'air laissant ainsi les gaz et l'humidité s'échapper du bâtiment d'élevage. Par temps froid, la ventilation en ferme est maintenue à un faible niveau afin d'éviter l'entrée d'air froid et ainsi limiter les coûts de chauffage, ce qui a malheureusement pour conséquence de maintenir l'humidité à l'intérieur. Ce haut taux d'humidité dans le bâtiment et la litière vient alors augmenter les risques de dermatites chez les oiseaux (Shepherd and Fairchild, 2010). La densité d'élevage et la conception des abreuvoirs sont aussi des facteurs importants à considérer dans le maintien d'une litière sèche.

En sachant ce qui provoque l'apparition de ces différents problèmes de pattes, il est plus facile de comprendre l'impact qu'ont les systèmes de logement des pondeuses sur le développement de ces pathologies squelettiques. Compte tenu de la présence de litière dans les systèmes de poules en liberté, il est courant d'observer l'apparition de dermatites sur parquet, en volière et en libre parcours. Plusieurs études ont comparé la prévalence de dermatites entre les systèmes et sont arrivées à la conclusion que cette pathologie était spécifique, ou du moins beaucoup plus fréquente, dans les systèmes sans cages (Shepherd and Fairchild, 2010; Lay et al., 2011; Blatchford et al., 2016; Yilmaz Dikmen et al., 2016). Yilmaz Dikmen et al. (2016) ont également conclu qu'il n'y avait pas de différences entre les systèmes de cages. Dans l'étude de Niebuhr et al. (2009), la prévalence de dermatites dans les systèmes sur parquet a atteint 38,75 %, et ce, comparativement au 28,8 % observé dans une étude en volière avec ou sans accès à l'extérieur (Heerkens et al., 2016). Au contraire, Sherwin et al. (2010) n'ont pas observé de différences significatives entre les systèmes de cages conventionnelles, de cages enrichies, sur parquets et de libre parcours pour la présence de dermatites chez les pondeuses. En ce qui

concerne l'hyperkératose, les études s'entendent généralement pour dire qu'elle survient principalement dans les systèmes de cages et est rarement observée dans les systèmes en liberté (Tauson et al., 1999; Nicol et al., 2006; Blatchford et al., 2016). Toutefois, Heerkens et al. (2016) ont observé que 42 % des poules maintenues en volière avaient développé de l'hyperkératose. Les chercheurs expliquent ce résultat par la prédisposition génétique qu'ont certaines races d'oiseaux à développer de l'hyperkératose ou par le maintien des oiseaux à l'intérieur.

Comme mentionné ci-dessus, la pression constante sur les pattes des poules et la présence d'une litière humide sont les principaux facteurs de risque associés à l'incidence d'hyperkératose et dermatite du coussinet plantaire. Toutefois, d'autres facteurs de risque ont été rapportés. La déficience en acides aminés et en vitamines aurait une influence sur le développement des dermatites (Shepherd and Fairchild, 2010). De plus, Elson and Croxall (2006) suggèrent également que les dermatites peuvent résulter d'une mauvaise conception de perchoir ou encore des perchoirs recouverts de fientes. Pickel et al. (2011) arrivent aux mêmes conclusions et recommandent l'utilisation de perchoirs de forme ovale pour la préservation des coussinets des poules. Finalement, la race, l'âge, le poids, les caractéristiques des systèmes et la gestion de l'environnement de la ferme sont tous des facteurs qui influencent la prévalence des problèmes de pattes (Niebuhr et al., 2009; Shepherd and Fairchild, 2010; Lay et al., 2011; Heerkens et al., 2016).

Il est normal de voir la condition des pattes se détériorer avec le temps (Nicol et al., 2006). L'ennui est que les dermatites occasionnent de la douleur et affectent le bien-être des poules. L'hyperkératose, quant à elle, ne semble pas avoir autant d'impact négatif sur le bien-être (Lay et al., 2011; Heerkens et al., 2016). En plus d'être une préoccupation au niveau de la santé et du bien-être des pondeuses, les dermatites peuvent engendrer des pertes économiques importantes causées par la condamnation de carcasses présentant cette condition (Shepherd and Fairchild, 2010; Agence canadienne d'inspection des aliments, 2019). C'est pourquoi il est important de réduire les facteurs de risque nommés ci-dessus au maximum. La conception d'un système de logement prévenant les problèmes de pattes, le maintien d'une bonne qualité de litière ainsi qu'une sélection génétique appropriée seraient de bonnes solutions pour prévenir le développement de pathologies initialement tégumentaires puis éventuellement articulaires chez les poules pondeuses (Shepherd and Fairchild, 2010; Lay et al., 2011; Heerkens et al., 2016).

4.3 Effets sur la qualité des œufs

4.3.1 Propreté et intégrité des œufs

Le poids de l'œuf est un paramètre régulièrement mesuré. D'une étude à l'autre, les résultats varient énormément et ne semblent pas montrer de différence significative (Holt et al., 2011). En effet, alors que certains chercheurs n'ont détecté aucune différence entre les systèmes en cages et en liberté (Tauson et al., 1999; Ahammed et al., 2014), d'autres oui. Par exemple, Englmaierová et al. (2014) ont observé un poids d'œufs plus élevé en cages enrichies et en volière comparativement aux œufs des poules logées en cages conventionnelles. Similairement, Hidalgo et al. (2008) ont noté un poids d'œufs supérieur en libre parcours comparativement à ceux pondus en cages conventionnelles. Dans le cas de ces deux dernières études, les œufs provenant de poules sur parquet avaient le poids le plus faible comparativement à tous les autres systèmes. De façon générale, les œufs provenant de cages conventionnelles et de cages enrichies ont un poids similaire (Guesdon and Faure, 2004; Tactacan et al., 2009).

En ce qui concerne la propreté des œufs, il est normal de voir davantage d'œufs sales dans les systèmes de poules en liberté (Tauson et al., 1999; Yilmaz Dikmen et al., 2016). Ce résultat peut être expliqué par la présence d'œufs pondus directement dans la litière (Abrahamsson and Tauson, 1998; Yilmaz Dikmen et al., 2016). Ceux-ci sont alors en contact direct avec les fientes et autres saletés, avec comme résultat l'augmentation du nombre d'œufs souillés. Afin de réduire le nombre d'œufs pondus au sol, il est recommandé d'élever les poulettes dans le même type de système où elles seront en production afin que celles-ci apprennent à pondre dans les nids le temps venu (Abrahamsson and Tauson, 1998). Contrairement à ce qu'on peut penser, on retrouve également des œufs sales en systèmes de cages. Dans l'étude de Tactacan et al. (2009), la prévalence d'œufs souillés était trois fois plus élevée en cages enrichies qu'en cages conventionnelles. Encore plus surprenant, Ahammed et al. (2014) ont rapporté que le pourcentage d'œufs sales était supérieur en cages conventionnelles comparativement à celui des œufs produits en volière et sur parquet. Les causes principales de ce problème sont le plus souvent la mauvaise conception des nids et l'endroit inadéquat de la ponte (Guesdon and Faure, 2004; Ahammed et al., 2014). Il a été observé que les poules poussaient dans des zones de la cage où il y avait présence de fientes, comme le tapis de grattage

(Tactacan et al., 2009). Force est de constater que peu importe le système, il est crucial d'offrir une conception de nid qui incitera les oiseaux à y pondre, d'assurer la propreté des équipements ainsi que d'optimiser la régie d'élevage (Abrahamsson and Tauson, 1998; Guesdon and Faure, 2004).

L'intégrité de la coquille des œufs est également essentielle pour assurer une production rentable. La prévalence d'œufs fêlés ou cassés est très variable entre les systèmes (Holt et al., 2011). Certains chercheurs n'ont pas observé de différences entre les systèmes étudiés (Hidalgo et al., 2008; Tactacan et al., 2009), alors que d'autres, comme Mostert et al. (1995), ont dénombré un plus grand nombre d'œufs craqués dans les systèmes en liberté. La plus grande prévalence d'œufs craqués en cages enrichies (Guesdon and Faure, 2004; Yilmaz Dikmen et al., 2016) ou en cages conventionnelles (Tauson et al., 1999) observée par d'autres équipes de recherche s'explique possiblement par la distance que doit parcourir l'œuf pour atteindre le convoyeur. Cette distance augmente les risques de collisions et donc de fêlure. En début de ponte, Ahammed et al. (2014) ont observé une prévalence d'œufs craqués supérieure en cage alors qu'en fin de ponte, cette prévalence était plus grande en volière. Une coquille mince, une conception de nid inadéquate et la ponte au sol sont les principaux facteurs de l'altération des œufs (Abrahamsson and Tauson, 1998; Guesdon and Faure, 2004; Ahammed et al., 2014). Ces causes doivent être mieux contrôlées afin de réduire les pertes.

4.3.2 Qualité de la coquille et interne des œufs

La qualité de la coquille comprend deux facteurs principaux soit la force et l'épaisseur de la coquille. La littérature à ce sujet présente des résultats contradictoires quant au système de logement offrant la meilleure qualité (Holt et al., 2011). Généralement, un œuf à coquille plus épaisse aura une plus grande force (Roberts, 2004), comme Ahammed et al. (2014) l'ont démontré pour les œufs produits en volière. Dans plusieurs études, l'épaisseur de la coquille était également plus élevée dans les systèmes de poules en liberté comparativement aux systèmes en cages (Mostert et al., 1995; Hidalgo et al., 2008; Englmaierová et al., 2014). Pour certains chercheurs toutefois, la force de la coquille était supérieure dans les systèmes en cages (Hidalgo et al., 2008; Englmaierová et al., 2014), alors qu'elle était similaire entre les cages conventionnelles et enrichies dans l'étude de Guesdon and Faure (2004).

La qualité interne de l'œuf est tout aussi importante et comprend grand nombre de paramètres mesurables, soit la force de la membrane vitelline, l'indice du jaune, la couleur du jaune, la viscosité du jaune, la hauteur de l'albumen et la viscosité de l'albumen (Holt et al., 2011). Parmi ces paramètres, l'unité Haugh est largement utilisée comme principale source d'évaluation de la qualité interne des œufs et c'est pourquoi plusieurs études ont jugé pertinent de déterminer l'impact des logements de poules sur cet aspect de l'œuf. L'unité Haugh (HU) est calculée à l'aide de la formule suivante, où H est la hauteur du blanc épais autour du jaune et W la masse de l'œuf :

$$HU = 100 \times \log (H - 1,7W^{0,37} + 7,6)$$

Il est largement reconnu dans l'industrie ovicole que plus l'unité Haugh est élevée, meilleure est la qualité de l'œuf (Nabel, 2016). Quelques études rapportent que l'unité Haugh est similaire entre les systèmes en cages conventionnelles, sur parquets et en libre parcours (Mostert et al., 1995; Hidalgo et al., 2008; Lewko and Gornowicz, 2011). Cependant, en général, lorsqu'une différence est observée, l'unité Haugh semble supérieure chez les œufs provenant des systèmes de cages conventionnelles comparativement aux cages enrichies et aux autres systèmes en liberté (Ahammed et al., 2014; Englmaierová et al., 2014).

5. Thermographie

Pour comprendre le principe de la thermographie, il faut tout d'abord savoir que tout objet émet un rayonnement infrarouge d'une longueur d'onde déterminée par la température de celui-ci (Caldara et al., 2014). Des outils tels les caméras thermiques ont été conçues pour lire ce rayonnement infrarouge et le convertir en signal électronique (Ben Sassi et al., 2016; FLIR, 2019). L'information recueillie par la caméra est ensuite transformée pour produire une image, nommée thermogramme, qui présente les multiples températures émises par un objet à l'aide d'un éventail de couleurs ou de nuances entre le noir et le blanc. Autrement dit, la thermographie rend la visualisation de la température et de ses variations possible (Caldara et al., 2014). Au cours de la dernière décennie, cette technologie s'est énormément développée et est maintenant utilisée dans plusieurs secteurs, tel le secteur industriel, médical et vétérinaire (Tolpinrud et al., 2017).

L'avantage de l'utilisation de la thermographie en milieu animalier est qu'elle est objective, non invasive et permet la détection précoce de certaines maladies et blessures (Caldara et al., 2014; Ben Sassi et al., 2016; McManus et al., 2016). Cette technologie a été utilisée en recherche dans plusieurs productions animales. Par exemple, Warriss et al. (2006) ont évalué les conditions environnementales où étaient maintenus les porcs en étudiant leur température corporelle grâce à la thermographie. Berry et al. (2003), quant à eux, ont conclu que la thermographie serait un outil prometteur pour la détection précoce des mammites chez les vaches laitières. Au contraire, une étude menée sur les flamants roses a conclu que la thermographie n'était pas un outil diagnostique fiable pour la détection de dermatites du coussinet plantaire en raison des grandes variations de température observées chez les animaux sains et blessés (Tolpinrud et al., 2017).

Plusieurs études ont également été effectuées chez la volaille. Moe et al. (2018) ont observé une relation négative entre la température des coussinets plantaires des dindes et la sévérité des dermatites et ont conclu que la thermographie était un outil valide pour la détection précoce des dermatites. Plus spécifiquement chez les poules pondeuses, certains chercheurs ont comparé l'utilisation de la thermographie pour évaluer l'état d'emplumement des pondeuses à la méthode visuelle standard (Cook et al., 2006; Zhao et al., 2013; Pichová et al., 2017). Ceux-ci ont conclu que cette technologie était très prometteuse et avait la capacité d'être plus objective pour quantifier l'état d'emplumement. En effet, la perte de plumes réduit l'effet isolant chez les oiseaux et entraîne une perte de chaleur plus importante qui peut être mesurée directement grâce à la thermographie (Cook et al., 2006). De plus, l'objectivité des mesures permet d'éviter les problèmes de reproductibilités liés à la présence de plusieurs évaluateurs, comme ça peut être le cas pour la méthode visuelle (Pichová et al., 2017). Selon Wilcox et al. (2009), la thermographie est également un bon outil de détection des dermatites du coussinet plantaire chez les poules puisqu'ils ont observé une corrélation entre cette méthode et la méthode visuelle standard, c'est-à-dire qu'une augmentation dans la sévérité des lésions s'accompagnait d'une hausse de température des pattes. La thermographie serait même plus sensible et permettrait une détection précoce de cette condition. La thermographie a également été étudiée pour la détection des fractures du bréchet de pondeuses par Nasr et al. (2012a). À la surprise des chercheurs, la température du bréchet était plus élevée chez les poules sans fracture. L'inutilisation des muscles

dans la région du bréchet durant le remodelage de l'os ainsi que la dégénération de ceux-ci pourrait expliquer ce résultat. Un constat différent aurait pu être effectué si les fractures avaient été récentes, au lieu de vieilles fractures déjà guéries.

Comme démontré, la thermographie semble être un outil efficace pour évaluer les conditions environnementales, ainsi que leurs répercussions sur les animaux, en plus d'être une méthode diagnostique fiable pour certaines maladies et blessures.

Hypothèses et objectifs de recherche

La première hypothèse du présent projet de recherche est que la santé et les performances des poules maintenues en cages enrichies sont meilleures que celles maintenues en volières. Pour confirmer cette hypothèse, l'objectif est d'évaluer l'impact de ces deux systèmes de logement alternatifs sur la santé et les performances des poules pondeuses, plus précisément sur la prévalence de déviations et fractures du bréchet, la prévalence de dermatites du coussinet plantaire, sur l'état d'emplumement, les performances zootechniques et la qualité des œufs.

La deuxième hypothèse de présent projet est que l'imagerie thermique est un outil fiable pour déterminer le statut de santé des poules pondeuses. L'objectif est donc d'évaluer l'utilisation de l'imagerie thermique comme outil diagnostique pour les fractures du bréchet et les dermatites du coussinet plantaire chez les poules pondeuses.

Article

Alternative housing systems have mixed impacts on welfare and performance of laying hens

Éloïse Denis*, Alexandra Harlander-Matauschek †, Stéphane Godbout‡ and Martine Boulianne*¹

*Chair in Poultry Research, Faculté de médecine vétérinaire, Université de Montréal, Saint-Hyacinthe, QC, Canada

†Animal Biosciences, University of Guelph, Guelph, ON, Canada

‡Research and Development Institute for the Agri-environment, Quebec, QC, Canada

¹ Corresponding author: martine.boulianne@umontreal.ca

3200 Sicotte street, Saint-Hyacinthe, Quebec, Canada, QC J2S 2M2

450-773-8521 # 8470

Abstract

As Canadian egg farmers transition their flocks from conventional cages to alternative housing systems, it is important to evaluate the impact of the latter on the performance and welfare of laying hens. To this end, the present study investigates the prevalence of keel bone deviation, keel bone fracture, footpad dermatitis and feather coverage in commercial flocks in Quebec, Canada, housed in enriched cages and aviaries. Mean egg production, cumulative mortality, feed intake, shell thickness, egg weight, shell strength, Haugh unit, and the prevalence of cracked or dirty eggs were used as measures of flock performance. The present study also investigates the use of infrared thermography as a diagnostic tool for keel bone fractures and footpad dermatitis in hens. Our data show that hens housed in aviaries have a significantly higher prevalence of keel bone fracture ($P=0.011$) and cumulative mortality ($P=0.0049$) but that the egg shells of aviary hens are significantly thicker than their counterparts in enriched cages ($P=0.0048$). While thermal imaging could not distinguish between hens with and those without fractures, footpad temperatures were significantly higher in hens with severe dermatitis ($P<0.01$) compared to those with mild to no dermatitis. Furthermore, a low feed intake positively correlated with damaged feather coverage ($P<0.05$), while high feed intake correlated with high egg weight ($P<0.05$). The other parameters studied were not influenced by the type of housing. Overall, aviary housing negatively impacted keel bone fractures, footpad dermatitis and mortality and infrared thermography is not a valid diagnostic tool for keel fracture and footpad dermatitis in hens.

Key Words: alternative housing system, laying hen, welfare, performance, infrared thermography

Introduction

Recent years have seen a sharp increase in consumers' interest in their diet, especially in the origin of their food and the way farm animals are treated. In response to the call of consumers to give laying hens more behavioral freedom and improve their welfare via housing conditions, large restaurants, retailer and downstream processors are requesting an increasing number of non-cage eggs. In 2016 and as a result of these demands, the Egg Farmers of Canada decided to phase-out conventional cages by 2036. Currently, 60 % of hens in Quebec and 71 % of hens in Canada are housed in conventional cages (Egg Farmers of Canada, 2019; Egg Farmers of Quebec, 2019), which means that the majority of producers will need to choose an alternative housing system in the next few years. Prior to making this decision, it is important to better understand the impacts of alternative systems on the welfare of the hens and egg production to ensure an ideal transition.

Among alternative systems, producers can choose between indoor housing (enriched cages or aviaries) and outdoor housing (free-range). Enriched cages must provide a space of 750 cm²/bird and be equipped with perches and nesting areas. Single-tier and multi-tier aviaries must provide space of 1 900 cm²/bird and 929 cm²/bird respectively. Aviaries are also equipped with perches and nesting areas, but unlike enriched cages, birds are not restrained to a limited space. Free-range systems are similar to aviaries, with the additional requirement of compulsory outdoor access. Each housing type has its strengths and weaknesses. For instance, cage-free systems offer opportunities to perform natural behaviors like foraging and dustbathing (Lay et al., 2011). However, these systems reportedly have greater mortality rates due to bacterial, parasitic and viral diseases, mainly cause by the presence of litter, in addition to higher cannibalistic behavior compared to caged birds (Fossum et al., 2009). Cage-free systems also lead to an increase in feed intake, due to higher activity level of birds, accompanied by a lower egg production (Elson and Croxall, 2006; Yilmaz Dikmen et al., 2016).

Keel bone abnormalities are a common occurrence in laying hens (Harlander-Matauschek et al., 2015). They include deviations and fractures, which result from continued pressure on the keel and collisions with housing elements, respectively (Casey-Trott et al., 2015). Given that there is more freedom of movement, these abnormalities are generally more

prevalent in non-cage systems, especially fractures. Indeed, keel fracture prevalence in cage-free housing can affect up to 52 to 73% of the flock (Lay et al., 2011). Preventing fractures is of importance to producers since they are not only painful to the animal (Sandilands et al., 2009; Nasr et al., 2012b) but also negatively affect egg production and quality (Nasr et al., 2012a; Nasr et al., 2013).

In addition to skeletal disorders, prevalence of foot problems also varies between housing systems, as it is the case for footpad dermatitis. The latter is an inflammation of the plantar surface of hens' footpads that is often studied in broiler birds, but that also affect laying hens. It is often reported to be caused by exposure to wet litter. Consequently, this condition is commonly associated with aviaries and free-range housing with littered surfaces relative to cages systems (Shepherd and Fairchild, 2010; Lay et al., 2011). In addition to economic loss due to condemnation of carcasses, footpad dermatitis leads to pain, which makes it a good welfare indicator.

Feather loss in laying hens is a widespread issue that is generally a result of feather pecking or cage wear. It is also an indicator often used to determine the welfare condition of hens (Zhao et al., 2013). Not only does feather loss have an impact on welfare, but it also increases feed consumption since birds try to compensate their higher heat loss (Su et al., 2006; Yilmaz Dikmen et al., 2016). Feed represents a large proportion of production cost (Matthews and Sumner, 2015). Therefore, maintaining a good feather coverage in hens is beneficial for both the animals and farm productivity.

Infrared thermography is an imaging tool used to determine the surface temperature of objects and has gained popularity in veterinary medicine since it is objective, non-invasive and allows early detection of certain diseases and injuries like mastitis and laminitis in dairy cows or arthritis in horses (Caldara et al., 2014; Ben Sassi et al., 2016; McManus et al., 2016). Some reports suggest that infrared thermography may be a suitable tool to assess feather coverage (Zhao et al., 2013) and footpad dermatitis in laying hens (Wilcox et al., 2009) since higher temperature were recorded in hens with poor feather coverage and footpad dermatitis. Nasr et al. (2012a) also detected a lower temperature in the keel area when hens had a fracture. As a such, thermography appears to be a promising tool for the diagnosis of keel bone fractures and footpad dermatitis in hens.

In Europe, conventional cages have been banned since 2012. Therefore, several studies have explored alternative housing systems, but few have been carried out in Canada (Van Staaveren et al., 2018; Decina et al., 2019; Neijat et al., 2019). Notably, most studies on the impact of housing types have been performed in controlled, laboratory environments (Tactacan et al., 2009; Habig and Distl, 2013; Yilmaz Dikmen et al., 2016). While this data is useful in its own right, it is equally important to assess hens' welfare and performance directly on commercial farms to validate data from controlled experiments and determine the real-life consequences of new housing practices.

The aim of this study was to evaluate the impact of enriched cages and aviaries on the welfare and performance of laying hens. To this end, we analyzed keel bone deviations, keel bone fractures, footpad dermatitis, feather coverage, zootechnical performance and egg quality. During the course of the present study, we also investigated the viability of infrared thermography as a diagnostic tool for keel fractures and footpad dermatitis in hens.

Materials and Methods

Flock Recruitment

This is a prospective longitudinal cohort study carried from 11-2017 to 07-2019 where 24 commercial laying flocks registered with Egg Farmers of Quebec were followed during their production period. Only White Lohmann layer flocks (LSL-lite) were included as they are the most commonly used breed in Quebec, Canada. For convenience, all flocks selected for this study were located within 250 km of the Faculté de médecine vétérinaire of the University of Montreal. Based on these criteria, owners were contacted by telephone and invited to join the research project on a voluntary basis. All flock owners respected the National Farm Animal Care Council's Code of Practice for laying hens. Any decisions about farm management was made by the owner as he or she saw fit. Hens were fed a corn- and soybean-based diet. With the exception of one flock housed in enriched cages, all other birds had their beaks trimmed when they were 1 day old at the hatchery using infrared technology.

Housing

A total of 12 enriched cages (EC) and 12 aviaries (A) flocks were selected. The dimension of the enriched cages and the number of birds per cage differed between flocks, but they were all equipped with plastic or metal perches, one nest box separated by a plastic curtain, nipple drinkers and a chain feeder. Each hen had a minimum of 750 cm², 65 cm² and 15 cm of total, nesting and perching space, respectively. Depending on the flock, birds in enriched cages were housed in multiple tiers, ranging from three to seven.

The aviary model varied between flocks, but all were equipped with plastic or metal perches, nest boxes separated by plastic curtains, nipple drinkers and chain feeders. Each hen had a minimum of 929 cm², 83.2 cm² and 15 cm of total, nesting and perching space, respectively. All aviaries had 3 tiers and were sectioned to separate birds and prevent pile ups. Litter made from manure accumulation were present in all aviaries. Daily eggs collections were done by a motorised belt and hens had access to food and water *ad libitum* in both housing types.

Assessment of keel bone, footpad and feather: macroscopic scoring

Each flock were visited when hens were 19, 23, 27, 31, 35, 45, 55 and 65 weeks old to assess keel bone deviations, keel fractures, dermatitis prevalence and feather coverage. During each visit, 12 hens were randomly selected from various rows, tiers and areas of the housing system in order to have a representative selection.

Keel bone deviations and fractures were assessed by palpation using a dichotomous scale (presence or absence), as described by Wilkins et al. (2004) and validated by Petrik et al. (2013). The technique involves running two fingers down the keel bone to detect abnormalities such as, the presence of an S shape, indicating a deviation, or the presence of a callous, indicating an old fracture.

Footpads were assessed using a visual scoring system. Footpad dermatitis was scored on an ordinal scale; 0 (no or very small superficial lesions, slight discoloration on a limited area, mild hyperkeratosis), 1 (discoloration of the footpad, superficial lesions, dark papillae) and 2 (ulcers or scabs, signs of hemorrhages or swollen footpads) (Elanco, 2010). While the ordinate scale was used, less than 6 % of birds had a score of 2. Due to the low prevalence, the data was statistically analyzed using a dichotomous scoring system; presence (1 and 2) or absence (0).

Feather coverage was assessed in four body areas; neck, back, breast and vent. The ordinal scoring system for feather coverage developed by Decina et al. (2019) was used for each area: 0 (intact feather cover, no or slight wear, only single feathers missing), 1 (damaged feathers (worn/deformed) or visible bald patch ≤ 2.05 cm) and 2 (at least one bald patch visible that is > 2.05 cm). The sum of the four areas was provided a number between 0 (intact feather coverage) and 8 (poor feather coverage) which was the total feather score. Hens with a total feather score between 1 and 8 were considered having a damaged feather coverage.

Performance

Data on egg production (hen-day egg production calculation), cumulative mortality and feed intake were taken from daily records maintained by the owners. Egg quality data were taken when hens were 35, 45, 55 and 65 weeks old. At these time points, 360 eggs were sampled at the egg grading station to visually assess the prevalence of cracked and dirty eggs. Shell thickness, egg weight, shell strength, and Haugh unit were determined from 20 eggs per flock using an egg tester (DET6000, Nabel Co. Ltd., Kyoto, Japan).

Assessment of keel bone and footpad: Infrared Thermography

A thermal imaging tool was specially design for this study in order to standardize measurements (Figure 1). A pierced metal pole was inserted into a milk crate, and a camera support was placed at a specific height for imaging. Thermal images of the keel bone (Figure 2) and the footpad (Figure 3) areas were taken with a FLIR E60bx thermal camera. Each bird was first held dorsally on the milk crate with the ventral surface of the keel facing the thermal camera and the feather covering pushed to the side. Three images of the keel were taken at a distance of 0.7 m. Then, the bird was placed ventrally with the plantar surfaces of the feet facing the camera. Three images of the footpads were taken at a distance of 0.415 m.

The thermal images were then analysed using the FLIR Tools software. To measure the mean temperature of the keel bone pictures, a line was drawn from the cranial border to the caudal border of the keel. For the footpad images, circles delimiting the footpads were drawn and the mean temperatures inside the circles were calculated by the software. Both left and right footpads were evaluated as only one of the footpads can be affected. Any picture with a non-

optimal keel or foot position for analysis was discarded, for a total of 371 pictures of keel bone and 846 pictures of footpad remaining.

Statistical Analyses

Statistical analyses were performed using SAS v. 9.4 (Cary, N.C.). The keel bone deviation prevalence, keel bone fracture prevalence, footpad dermatitis prevalence, damaged feather coverage prevalence, mean egg production, cumulative mortality and mean feed intake were subjected to arcsine square-root transformation. These were used in a linear mixed model where age and type of production were considered fixed effects, and flock identification nested within housing type was considered a random effect. A priori contrasts were then performed to compare the mean at week 19 with the mean at each of the following weeks in aviaries and enriched cages. Similarly, the means between the two production types were compared at each time point. For a priori contrasts, the alpha level was adjusted downward with the Benjamini-Hochberg sequential procedure. Unusual mortality due to disease (Enteritis) in one aviary led to the elimination of this farm in the analysis of the mortality rate. To determine the difference in feather damage between the body areas tested, a linear mixed model was used with age and body area (neck, back, breast and vent) as fixed effects, and the following random effects; flock identification, body area nested with flock and age nested with flock.

Egg analyses were performed in the same way as the analyses of welfare indicators and flock performance data, with the baseline age set to 35 weeks. The model also included two random effects: flock identification and age nested within flock.

For thermal imaging analysis, a linear mixed model was used with the prevalence of keel bone fractures or footpad dermatitis (classes not combined) as fixed effects and flock identification as a random effect. A priori contrasts were performed between pairs of means. A ROC (Receiver Operating Characteristic) curve analysis, including fracture prevalence or dermatitis (class 1 and 2 combined), was produced to determine cut-off temperatures for diagnosing prevalence. The sensibility and specificity of using temperature as a diagnostic tool to determine the condition of hens were calculated.

Linear regression was used to examine the association between feed intake and the prevalence of hens with damaged feather coverage, as well as the association between feed

intake and egg weight at each time point. Unless otherwise mentioned, means \pm 1 standard deviation (SD) are shown.

Results

The present study investigated multiple indicators of welfare and egg production in 12 commercial flocks of laying hens; 6 enriched cage facilities, 5 multi-tier aviaries and 1 single-tier aviary. Results have therefore a smaller statistical power than desired.

Prevalence of keel bone deviation, keel bone fracture, footpad dermatitis and damaged feather coverage are given in Table 1. The prevalence of keel deviations was significantly affected by age ($P < 0.0001$), but not by housing type ($P = 0.12$). It was also noted that there was no interaction between age and housing, and thus these two factors combined did not influence keel bone deviations ($P = 0.15$). Compared to the baseline of 19 weeks, keel bone deviations increased significantly at 45, 55 and 65 weeks in EC and at 55 and 65 weeks in A. Keel deviations were not, however, impacted by the housing type at any of the time points tested.

Unlike keel deviations, we found that keel fracture prevalence was affected both by age ($P < 0.0001$) and housing ($P = 0.011$); however, similarly to deviations, we observed no interaction between age and housing type on fractures ($P = 0.61$). Relative to week 19, fracture prevalence did not change significantly over time in EC. In contrast, the rate of fractures increased significantly at week 65 in A compared to the baseline. Fracture prevalence was significantly higher in A at 65 weeks than in EC. Moreover, keel bone fractures were found to be more prevalent in A than in EC when data from all ages were combined.

The level of footpad dermatitis varied with age ($P < 0.0001$), but not with housing ($P = 0.065$). We report an interaction between age and housing, suggesting a compounding effect of these factors on dermatitis in hens ($P = 0.0004$). Relative to week 19, dermatitis prevalence increased significantly at 27 and 31 weeks in EC and at 31, 35, 45 and 65 weeks in A. Prevalence was only significantly different between the two housing systems at 45 weeks, whereby hens in A suffered a higher rate of dermatitis.

The prevalence of damaged feather coverage was affected by age ($P < 0.0001$), but not by housing ($P = 0.42$). There was no interaction between age and housing when influencing

feather damage ($P = 0.96$). Compared to the week 19 baseline, damaged feather coverage increased significantly at 45, 55 and 65 weeks in both EC and A. There was no significant difference between housing type at any time. When considering all ages and both housing types, the body area with the poorest feather cover was the breast compared to the neck, back and vent. The other areas were similarly affected.

Results for egg production, cumulative mortality and feed intake are given in Table 2. Mean egg production was affected by age ($P < 0.0001$), but not by housing ($P = 0.27$). For both housing types, egg production increased significantly from the baseline to all ages tested. There was no significant difference between housing types at any time. The mean cumulative mortality was affected both by age ($P < 0.0001$) and housing ($P = 0.0049$). For both housing type, cumulative mortality increased from the baseline after hens passed 23 weeks of age. Notably, it was significantly higher in A than in EC at 35, 45, 55, 65 weeks, and when all ages were combined. Mean feed intake increased with age ($P < 0.0001$), but not with housing ($P = 0.79$). For both housing types, feed intake increased significantly from the baseline at week 19 at all ages. The type of housing did not impact the feed intake. No interaction was observed between age and housing when considering their effect on mean egg production, cumulative mortality and mean feed intake.

Eggs from the flocks under study were tested for their shell thickness, egg weight, shell strength, Haugh unit and for the prevalence of cracked eggs when hens were 35, 45, 55 and 65 weeks old and results are given in Table 3. Mean shell thickness was affected by both age ($P = 0.0008$) and housing ($P = 0.0048$). Relative to week 35, shell thickness did not differ significantly at any time in EC. In A, the thickness was statistically significantly lower at 65 weeks compared to 35 weeks. However, mean shell thickness was slightly higher in A than in EC when the values for all ages were combines. Mean egg weight was affected by age ($P = 0.022$), but not by housing ($P = 0.27$). In EC, the average egg weight at week 65 was significantly higher than at week 35. In contrast, the weights were similar throughout the sampling period in A. Mean shell strength was not affected by age ($P = 0.083$) or housing ($P = 0.58$). No differences in shell strength was observed across time. Mean Haugh unit was affected by age ($P = 0.019$) but not by housing ($P = 0.56$). No differences in Haugh unit was observed across time. While the mean percentage of cracked eggs increased over time in both

EC and A, this difference was not statistically significant. Moreover, the housing type did not impact the egg weight, shell strength, Haugh unit or the percentage of cracked eggs significantly. No interaction was observed between age and housing when considering their effect on shell thickness, egg weight, shell strength, Haugh unit and the prevalence of cracked eggs. It is noteworthy that, while we recorded occurrences of dirty eggs, there was not enough variation within the dataset to perform a statistical analysis.

There was no difference between the mean keel temperature of birds with (38.3±0.8 °C) and without (38.2±0.9 °C) a keel bone fracture. For left footpad dermatitis, the mean temperature of birds with severe dermatitis (score of 2; 35.2±2.1 °C) was higher than the mean temperature of birds with no detectable dermatitis (score of 0; 33.6±3.4 °C) and those with mild dermatitis (score of 1; 33.6±3.3 °C). Nevertheless, thermal imaging could not distinguish between birds with no dermatitis and mild dermatitis. In the case of right footpad dermatitis, the mean temperature of birds with a score of 2 (35.4±2.3 °C) was higher than the mean temperature of birds with a score of 0 (33.6±3.6 °C) or 1 (33.6±3.6 °C). Similarly to the left footpad measurements, imaging could not distinguish between birds with a score of 0 and a score of 1. The ROC curve analysis results are presented in Table 4. The cut-off temperature for keel fracture was 38.27 °C with equal or higher temperatures predicting a fracture. This yielded a sensitivity of 54.99 % and a specificity of 52.95 %. The cut-off temperatures for left and right footpad dermatitis were 33.1 °C and 34.83 °C, respectively. The sensitivity and specificity of the left footpad measurements were 67.1 % and 37.9 %, respectively, while those for right footpad measurement were 49.6 % and 55.8 %, respectively.

Analyses showed a negative linear relationship between feed intake and prevalence of birds with damaged feather coverage at 45 weeks ($P = 0.025$) and 65 weeks ($P = 0.046$). Furthermore, a positive linear relationship was found between feed intake and egg weight at 27 ($P = 0.002$), 31 ($P = 0.022$) and 35 weeks ($P = 0.0002$).

Discussion

As Canadian egg farmers transition to using housing systems, such as enriched cages, aviaries and free-range housing, it is important to understand the potential welfare and performance outcomes that accompany using alternative housing. To our knowledge, this is the

first study to be carried out on commercial farms in Quebec assessing the impact of alternative housing systems on the welfare and performance of laying hens. It is important to assess the prevalence of keel bone deviation and fracture, footpad dermatitis and feather damage directly on commercial farms to determine the real consequences of these new housing practices. Among the 32 farm's owner contacted, only 12 accepted to participate to the research; 6 flocks in enriched cages, 5 flocks in multi-tier aviary and 1 flock in single-tier aviary. Initially, a participation of 24 flocks was expected. Based on estimated prevalence of the welfare indicators, as well as data collection time, the assessment of 12 hens per visit was judge adequate.

While keel bone deviations were observed as early as 23 weeks in EC and 19 weeks in A, their prevalence only significantly increased relative to the 19 week baseline at 45 weeks in EC and at 55 weeks in A. Keel bone deviation is a result of continued pressure on the bone causing its remodeling (Tauson et al., 1999; Stratmann et al., 2015), which coincides with its increased prevalence later in life. Keel bone deviation prevalence was not significantly different between housing types at any time. It is worth mentioning that the keel bone deviation prevalence observed in this study is at a lower end compared to the literature (Habig and Distl, 2013; Casey-Trott et al., 2015; Petrik et al., 2015; Heerkens et al., 2016). It is widely accepted that brown hens have a genetic predisposition to keel bone deviations (Habig and Distl, 2013), which may explain the low rate observed in the present study which only included white hens. Elson and Croxall (2006) found a higher prevalence of keel bone deviation in hens housed in aviaries than those housed in enriched cages, similarly to Tauson et al. (1999), who reported a higher keel deviation prevalence in non cage systems compared to conventional cages. Knowing that continuous pressure on the keel bone leads to its remodeling, the intensive use of perches, their design and the way hens perch may explain the majority of keel deviation problems observed in alternative housing types (Pickel et al., 2011; Casey-Trott et al., 2015; Heerkens et al., 2016). The presence of perches in both enriched cages and aviaries used in this study may have largely contributed to the keel bone deviations that were observed.

Although keel bone fracture occurred in both housing types, the prevalence in our study is at the lower end compare to the literature, which is an important result to emphasize. When all ages were combined, keel bone fracture prevalence was higher in A than in EC. This is in agreement with previous studies that have reported a higher prevalence of keel fractures in non-

cage systems (Wilkins et al., 2011; Petrik et al., 2015; Heerkens et al., 2016). Traumatic injuries from collisions between hens and housing components are most often suggested as the cause of keel fractures (Sandilands et al., 2009; Wilkins et al., 2011; Stratmann et al., 2015). Because of their architecture, hens in aviaries have higher mobility and movements over longer distances which likely increases the risk of stronger collisions. Therefore, it may explain the higher keel fracture prevalence commonly found in this housing type, which has been reported around 80% or more, compare to 30 % in enriched cages (Sherwin et al., 2010; Wilkins et al., 2011; Heerkens et al., 2016). It is also highly likely that the movement of birds between the tiers of an aviary is a cause of fractures, especially in the absence of appropriate lighting conditions (Harlander-Matauschek et al., 2015). Incorporating ramps between the various tiers has been proposed to mitigate some of the collisions that may occur when hens transition between the tiers of aviaries (Harlander-Matauschek et al., 2015). Substituting metal perches for those made of wood or rubber, as the latter materials result in softer collisions, also has been proposed as a potential solution for reducing keel bone damage (Harlander-Matauschek et al., 2015; Stratmann et al., 2015). Some studies have demonstrated an increase in keel fracture prevalence when hens are between 20 and 50 weeks old (Petrik et al., 2015) and during peak production (Gebhardt-Henrich and Frohlich, 2015). This trend, however, could not be corroborated in the present study. When compared to week 19, the only statistically significant increase in fractures was observed much later in the laying cycle at 65 weeks in A. The low sampling size due to the reluctance of farmers to participate in the present study may be the cause for some of the discrepancies observed with previously published work.

Footpad dermatitis can be a real problem for hens' welfare. The most frequently mentioned cause for this condition is wet litter (Wang et al., 1998; Shepherd and Fairchild, 2010; Lay et al., 2011), which explain the high prevalence usually found in non-cages systems where litter is present (Shepherd and Fairchild, 2010; Lay et al., 2011; Heerkens et al., 2016). Nevertheless, footpad dermatitis can occur in cage systems where it is caused by poor perch design and fecally contaminated perches (Elson and Croxall, 2006; Pickel et al., 2011). Knowing the factors that stimulate the development of footpad dermatitis, the higher prevalence of dermatitis observed in aviaries was expected. Like mentioned earlier, litter made from manure accumulation were present in all aviaries, which would explain our findings. However, a

significantly higher prevalence of footpad dermatitis in A was found at 45 weeks only. The first possible explanation is that this difference between A and EC at this single time point is a coincidence. It is noteworthy that statistical analyses showed a result almost significant for the impact of housing on the development of footpad dermatitis ($P = 0.065$), which makes this hypothesis unlikely. A more valid explanation would be the small statistical power of the result and the moment of the year were data were collected on each farm. Shepherd and Fairchild (2010) mentioned a higher footpad dermatitis frequency in winter months, due to a reduced ventilation rate and ensuing humid litter. This hypothesis would also explain the absence of a general trend for footpad dermatitis in time for both systems. Further researches on litter humidity in aviaries and the moment of data collection is needed to better understand our findings.

While the prevalence of damaged feather coverage in A is similar to that reported by other studies, the prevalence in EC in our study is higher (Sherwin et al., 2010; Heerkens et al., 2015; Decina et al., 2019). When considering the overall feather coverage, we found no differences between the hens in EC versus A, similarly to Blatchford et al. (2016). This contradicts Yilmaz Dikmen et al. (2016) that reported better feather coverage in cage-free hens than in hens housed in enriched cages. Interestingly, yet others have reported the opposite; showing better feather coverage in hens housed in cage systems (Tauson et al., 1999; Elson and Croxall, 2006; Sherwin et al., 2010). This last observation may be heavily influenced by feather pecking as it is reported to be most common in non-cage systems (Fossum et al., 2009; Sherwin et al., 2010). On the other hand, cage wear, defined as the loss of plumage due to continuous and prolonged contact with the cage, is a significant contributor to feather loss in caged systems (Yamak and Sarica, 2012; Blatchford et al., 2016). The prevalence of damaged feather coverage increased significantly at the last three time points which may be attributed to the accumulation of damage over time, as postulated by others (Sherwin et al., 2010; Petrik et al., 2015; Decina et al., 2019). We also report that the body area with the poorest feather cover was the breast, compared to the neck, back and vent. Blatchford et al. (2016) suggested that type of cage influences which part of the body is most affected by feather loss. They also mention that the age at which sampling occurs may account for some of the differences observed between studies.

The literature on the impact of housing on egg production is divergent; some showing that caged systems result in higher production versus non-cage housing (Tauson et al., 1999; Elson and Croxall, 2006; Englmaierová et al., 2014) while others report the contrary (Ahammed et al., 2014; Yilmaz Dikmen et al., 2016). It has been proposed that some eggs laid on the floors of aviaries might be destroyed or eaten, thereby decreasing production. Hens' health and environment conditions are examples of factors that can also impact egg production (Nasr et al., 2012a; Lara and Rostagno, 2013; Nasr et al., 2013), which makes the assessment of housing systems' repercussions more difficult to accurately determine. However, based on the data gathered within this work, we report that housing did not impact production. Production in A in this study is 90 % or more, which is higher than the egg production of 80 % that was expected (Elson and Croxall, 2006; Englmaierová et al., 2014).

Consistent with most previous findings (Elson and Croxall, 2006; Sherwin et al., 2010; Petrik et al., 2015), we report a consistent and significantly higher cumulative mortality in A than in EC after 35 weeks. One study reports higher mortality within enriched cages relative to free-range systems and attribute it to secondary deaths caused by cloacal cannibalism (Yilmaz Dikmen et al., 2016). Yet another study (Ahammed et al., 2014) concluded that the mortality rate was similar between housing types. Several factors can influence mortality, like conditions and management during rearing and laying period, thus making it difficult to determine the real causes of mortality in each individual system (Tactacan et al., 2009; Ahammed et al., 2014), unless necropsies are regularly performed. Based on the literature, bacterial, parasitic and viral diseases, as well as cannibalistic behavior are all more frequently reported in cage-free systems, likely contributing to a higher mortality rate within them (Abrahamsson and Tauson, 1998; Fossum et al., 2009; Lay et al., 2011).

Feed represents a large proportion of the cost in egg production (Matthews and Sumner, 2015). It is therefore crucial to evaluate how feed consumption is affected by novel housing systems. Because cage-free hens are more active, their feed intake is generally superior to hens housed in cages (Elson and Croxall, 2006; Yilmaz Dikmen et al., 2016). Nevertheless, we observed no significant differences between the housing types at any time, thereby agreeing with previous work by Englmaierová et al. (2014) and Ahammed et al. (2014). While not

measured in the present study, comparing the activity level would shed more light onto the feed intake patterns that were observed.

To assess egg quality, plenty of characteristics can be use, each of which provides information about egg integrity, egg shell quality or internal egg quality. The current literature shows a large degree of variability in the effect of housing types on egg characteristics including egg weight, the percentage of cracked and dirty eggs, shell thickness, shell strength and Haugh unit, a widely used assessment of egg quality which takes the weight and the height of the thick albumen into account (Holt et al., 2011). While some studies report similar results between cage and non-cage systems in terms of egg weight (Tauson et al., 1999; Ahammed et al., 2014), prevalence of cracked eggs (Hidalgo et al., 2008) and Haugh unit (Mostert et al., 1995; Hidalgo et al., 2008), others find significant differences between housing types. In the current study, no significant differences were found in mean egg weight, mean shell strength, mean Haugh unit and the prevalence of cracked eggs between the two housing types tested. It has been postulated that similar feed intake combined with the comparable egg production within two housing systems will result in similar egg weights (Tactacan et al., 2009). Indeed, our data show that feed intake, egg production and egg weight values did not change between EC and A. The egg weight, shell strength and shell thickness data are consistent with the ones reported in Englmaierová et al. (2014), who also compared enriched cages to aviaries. In contrast, the previously published study reported a higher Haugh unit in enriched cages.

Collisions are the main source of cracks in eggs produced within enriched cages, as they need to travel a longer distance to reach the egg belt within these systems (Tauson et al., 1999; Guesdon and Faure, 2004; Yilmaz Dikmen et al., 2016). Eggs laid outside the nest are the main cause of the latter in aviaries (Ahammed et al., 2014). We observed a higher prevalence of cracked eggs within EC than previously reported (Tactacan et al., 2009; Yilmaz Dikmen et al., 2016). It is noteworthy that the nesting areas in EC of the participating farms are often placed at the back of the cage, forcing eggs to roll a long distance to reach the egg belt, which is located at the front of the cage. While prevalence of cracked eggs was similar between housing types, the mean shell thickness, regardless of age, was higher in A than in EC. Since thinner shell may result in a higher risk off cracked egg (Abrahamsson and Tauson, 1998), the absence of a superior prevalence of cracked egg in EC compared to A is surprising. Vits et al. (2005) suggests

that shell thickness decreases as egg production increases. Since egg production was similar in this study, the aforementioned correlation cannot explain the difference in shell thickness observed between the two housing types. It is also possible that egg size also impacts shell thickness, whereby the latter decreases as the former increases. Further experimentation would be required to confirm this theory. Shell formation is a complex, multi-factorial process. Since the egg shell is mainly composed of calcium carbonate, shell quality can suffer if the hen's calcium needs are not met (Roberts, 2004). A large portion of the calcium needed for egg shells is derived from the diet, but part of it is procured from bones, mainly the medullary bone. It is established that physical mobility increases bone formation and strength (Newman and Leeson, 1998; Fleming et al., 2006; Jahja et al., 2012). Consequently, it is possible that hens housed in aviaries, who are more active, are better able to mobilize calcium from bones compared to hens housed in enriched cages, resulting in greater shell thickness in the former group. A positive correlation between shell thickness and shell strength has been previously reported (Roberts, 2004). Although shell thickness is reportedly higher in non-cage systems (Mostert et al., 1995; Hidalgo et al., 2008; Englmaierová et al., 2014), multiple studies show that eggs from hens in cage system have a superior shell strength (Hidalgo et al., 2008; Englmaierová et al., 2014). In the current study, the thicker egg shell observed in A did not appear to improve other egg quality criteria, such as shell strength and the prevalence of cracked eggs, when compared to eggs from hens housed in EC.

In term of infrared thermography, there was no significant difference between the mean temperatures of birds with and without a detected keel bone fracture, which suggests that fractures do not result in a temperature change at the keel bone. It is noteworthy that fractures that are old and healed may not be sensitive to thermography. Unlike the present study, Nasr et al. (2012a) found hens with keel bone fractures to have a significantly lower temperature at the keel area possibly due to disuse and the potential degeneration of muscle in this zone. However, significantly higher temperatures were observed in hens with footpad dermatitis with a score of 2 relative to hens with scores of 0 and 1. Because footpad dermatitis is an inflammation of cutaneous and sub-cutaneous tissues, the higher blood flow to the affected area results in an elevated temperature in hens with severe lesions. Despite being successful at distinguishing severe dermatitis, our results suggest that infrared thermography is unable to detect mild footpad

dermatitis in hens. This finding disagrees with Wilcox et al. (2009), who concluded that infrared thermography is an effective tool to detect footpad dermatitis, even at a subclinical stage. As such, they concluded this method was more useful for early detection than visual inspections. In the present study, ROC curve analyses determined the cut-off temperatures that were used for diagnosis of keel bone fractures and footpad dermatitis. The poor sensibility and poor specificity for keel bone fractures and footpad dermatitis calculated using ROC analyses highlights the limits of infrared thermography as a diagnostic tool for this purpose. For example, keel bone temperature must be equal to or greater than 38.27 °C to be diagnosed as a fracture, but only 54.99 % of cases would properly be diagnosed using this criteria. Since birds have keel bone temperature greater than 38.27 °C for reasons unrelated to a fracture, hens without fractures would be only accurately identified in 52.95 % of cases. The same rational applies for footpad dermatitis. The main objective of a diagnostic tool is to determine, with a sufficient level of confidence, the presence of a disease or an injury. In the case of diagnosing keel bone fractures and footpad dermatitis, infrared thermography was not an appropriate tool for diagnostic purposes. As mentioned above, footpad dermatitis classes 1 and 2 were combined for the ROC analysis to improve the statistical power of the data. The result may be different if class 0 and 1 had been combined for the ROC analysis since there was a difference between the mean temperatures of class 2 and others.

We report a negative linear relationship between feed intake and the prevalence of birds with damaged feather coverage at weeks 45 and 65, suggesting that low feed consumption was observed in flocks where a high number of birds had damaged feather coverage. This may suggest that birds that have lost feathers consume less. This contradicts previous studies that report a higher feed intake in hens with the poorest feather coverage (Glatz, 2001; Jensen et al., 2005; Su et al., 2006; Yamak and Sarica, 2012). In this scenario, hens may consume increased amounts of feed in order to generate heat and compensated for the drop in body temperature that can accompany feather loss. Finally, a positive linear relationship was identified between feed intake and egg weight at weeks 27, 31 and 35, suggesting that a higher consumption of feed may allowed hens to lay heavier eggs. In Quebec, egg classification relies on egg weight. Heaviest the egg is, higher the price given to the egg farmers is going to be. Therefore, stimulate hens' feed intake could possibly result in better financial outcome.

Conclusions

Alternative housing systems such as enriched cages and aviaries provide hens with an enriched environment that includes perches and nesting areas, thereby allowing them to experience behavioral freedom. However, these improvements bring their share of challenges. Even though general welfare and performance were found to be similar in both housing systems, an increased prevalence of keel bone fractures, footpad dermatitis and mortality are of concern in aviaries. While keel bone fractures and footpad dermatitis did not have had an impact on production, they are cause of pain. The pain inflicted by these conditions is a welfare concern, making it necessary to find ways to mitigate them. Perches material, intensity of collisions, litter humidity and presence of excreta in housing system may be interesting avenues to study to this end. We also demonstrated that infrared thermography cannot accurately diagnose keel bone fractures and footpad dermatitis in hens, even though some temperature differences were observed between healthy and injured birds. Future studies should focus on determining the exact causes of keel bone fractures, footpad dermatitis and mortality in commercial environments in order to decrease their incidence.

Acknowledgments

This study was financially supported by the Egg farmers of Quebec (Quebec, Canada). The authors gratefully acknowledge the contribution of Nathalie Gaulin and Angèle Hudon-Tanguay (Egg farmers of Quebec, Quebec, Canada) in farm selection and egg measurements; Lila Maduro (Chair in Poultry Research, Veterinary College of the University of Montreal, Quebec, Canada) in data collection; Guy Beauchamp (Veterinary College of the University of Montreal, Quebec, Canada) in statistical analysis; and participating egg farmers in our study for giving access to their flocks and farm records.



Figure 1: Thermal imaging sampling tool

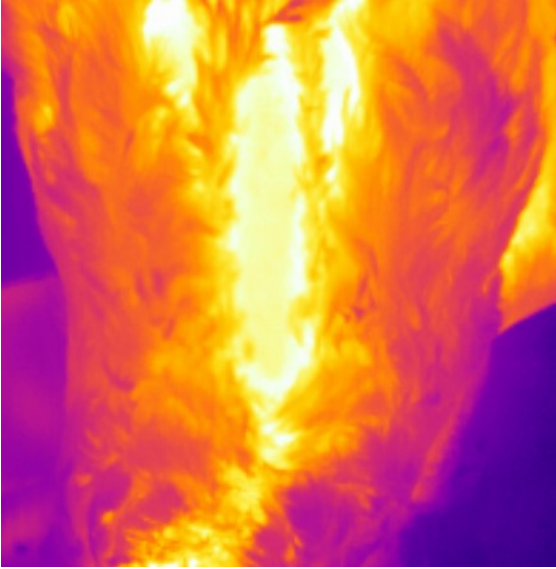


Figure 2: Thermal image of the keel bone

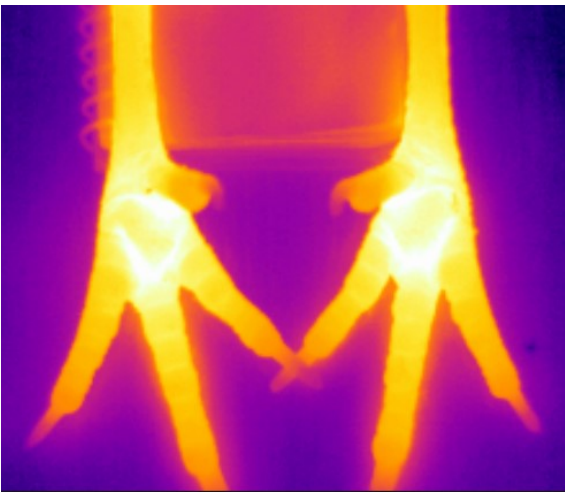


Figure 3: Thermal image of footpads

Table 1: Prevalence (% ± SD) of keel bone deviations, keel bone fractures, footpad dermatitis and damaged feather coverage from enriched cages (EC) and aviaries (A) at 8 different ages

Age (weeks)	Keel bone deviation		Keel bone fracture		Footpad dermatitis		Damaged feather coverage	
	EC	A	EC	A	EC	A	EC	A
19	0	2.78 ± 6.8	0	2.78 ± 4.3	0	1.39 ± 3.4	0	0
23	5.56 ± 6.8	2.78 ± 4.3	0	5.56 ± 6.8	16.67 ± 21.73	2.78 ± 6.8	0	1.39 ± 3.4
27	2.78 ± 6.8	6.94 ± 9.74	5.56 ± 10.09	9.72 ± 16.17	37.5 ± 31.51*	13.89 ± 18.76	2.78 ± 4.3	4.17 ± 6.97
31	4.17 ± 6.97	5.56 ± 6.8	8.33 ± 7.45	16.67 ± 14.9	31.94 ± 23.22*	51.39 ± 22*	12.5 ± 18.82	5.56 ± 6.8
35	5.56 ± 4.3	15.28 ± 9.74	12.5 ± 11.49	18.06 ± 11.08	13.89 ± 10.09	37.5 ± 28.26*	9.72 ± 12.27	8.33 ± 10.54
45	16.67 ± 13.94*	11.11 ± 12.55	1.39 ± 3.4	6.94 ± 9.74	5.556 ± 4.3	44.44 ± 24.53*	45.83 ± 26.74*	37.5 ± 24*
55	16.67 ± 12.91*	37.5 ± 17.28*	9.72 ± 6.27	15.28 ± 14.35	6.94 ± 8.19	27.78 ± 29.19	73.61 ± 24.39*	59.72 ± 35.52*
65	18.06 ± 9.74*	37.5 ± 20.92*	6.94 ± 3.4	36.11 ± 27.72*	8.33 ± 13.94	36.11 ± 29.66*	65.28 ± 29.07*	68.06 ± 31.37*
Age	< 0.0001		< 0.0001		< 0.0001		< 0.0001	
Housing	0.1211		0.0112		0.065		0.4177	
Age x housing	0.15		0.6126		0.0004		0.9617	

* For each variable, the asterisk indicates that the prevalence was significantly different from the prevalence at week 19.

Bold values indicate significant differences between housing types.

Table 2: Mean (\pm SD) of hen-day egg production, cumulative mortality and feed intake from enriched cages (EC) and aviaries (A) at 8 different ages

Age (weeks)	Hen-day egg production (%)		Cumulative mortality (%)		Feed intake (g/bird/d)	
	EC	A	EC	A	EC	A
19	18.9 \pm 11	16.80 \pm 11.6	0.04 \pm 0.03	0.3 \pm 0.42	74 \pm 12.4	80.1 \pm 6.5
23	94.9 \pm 1.6*	89.5 \pm 5.6*	0.15 \pm 0.1	0.5 \pm 0.4	99.3 \pm 4.5*	99.8 \pm 8*
27	97.2 \pm 0.9*	96.2 \pm 2.1*	0.28 \pm 0.13*	0.68 \pm 0.45*	106 \pm 3.7*	104.4 \pm 4.7*
31	97.6 \pm 0.4*	95.7 \pm 1.4*	0.4 \pm 0.19*	0.89 \pm 0.5*	106.2 \pm 4.9*	105.3 \pm 4*
35	97.5 \pm 0.6*	96.6 \pm 1.8*	0.51 \pm 0.23*	1.19 \pm 0.5*	106 \pm 3.2*	106.7 \pm 6.7*
45	96.1 \pm 0.7*	95.9 \pm 1.4*	0.93 \pm 0.19*	2 \pm 0.44*	105.1 \pm 7.3*	105.6 \pm 2.4*
55	94.6 \pm 0.8*	95.3 \pm 2.1*	1.53 \pm 0.22*	2.68 \pm 0.59*	105.4 \pm 5.1*	105.4 \pm 3.2*
65	92.7 \pm 1.7*	93.1 \pm 1.8*	2.2 \pm 0.39*	3.48 \pm 0.62*	104.2 \pm 8.1*	107.5 \pm 6.6*
Age	< 0.0001		< 0.0001		< 0.0001	
Housing	0.2655		0.0049		0.7864	
Age x housing	0.4794		0.5493		0.8215	

* For each variable, the asterisk indicates that the mean was significantly different from the prevalence at week 19. Bold values indicate significant differences between housing type.

Table 3: Mean (\pm SD) of egg weight, shell strength, Haugh unit, and shell thickness and prevalence ($\% \pm$ SD) of cracked egg from enriched cages (EC) and aviaries (A) at 4 different ages

Age (weeks)	Shell thickness (mm)		Egg weight (g)		Shell strength (kgf)		Haugh unit		Cracked egg (%)	
	EC	A	EC	A	EC	A	EC	A	EC	A
35	0.39 \pm 0.02	0.41 \pm 0.02	59.2 \pm 3.5	61.7 \pm 3.1	5.15 \pm 0.69	5.88 \pm 0.81	84.9 \pm 5.0	85.4 \pm 3.2	2.44 \pm 1.41	1 \pm 0
45	0.39 \pm 0.04	0.40 \pm 0.03	60.5 \pm 4.1	60.2 \pm 3.7	4.98 \pm 0.79	5.21 \pm 0.74	87.4 \pm 4.6	86.0 \pm 6.5	2.25 \pm 1.26	1.54 \pm 1.96
55	0.38 \pm 0.02	0.39 \pm 0.03	61.2 \pm 3.7	62.1 \pm 4.7	4.66 \pm 0.77	4.79 \pm 0.74	87.6 \pm 6.0	84.1 \pm 6.3	4.33 \pm 2.31	2.40 \pm 1.34
65	0.38 \pm 0.02	0.38 \pm 0.03*	62.4 \pm 4.1*	62.4 \pm 4.3	4.96 \pm 5.75	4.36 \pm 0.92	82.8 \pm 6.61	81.8 \pm 6.6	4.40 \pm 1.14	4.58 \pm 3.64
Age	0.0008		0.0218		0.0830		0.0192		0.0032	
Housing	0.0048		0.2667		0.5822		0.5646		0.2317	
Age x housing	0.3770		0.5353		0.1756		0.6632		0.4385	

* For each variable, the asterisk indicates that the mean was significantly different from the prevalence at week 35.

Bold values indicate significant differences between housing type.

Table 4: ROC curve analysis of keel bone fractures, left footpad dermatitis and right footpad dermatitis

	Cutoff temperature (°C)	Area under the curve (SEM)	Sensibility (%)	Specificity (%)
Keel bone fracture	38.27	0.556 (0.043)	54.99	52.95
Left footpad dermatitis	33.1	0.532 (0.024)	67.1	37.9
Right footpad dermatitis	34.83	0.538 (0.026)	49.6	55.8

References

- Abrahamsson, P., and R. Tauson. 1998. Performance and egg quality of laying hens in an aviary system. *J. Appl. Poult. Res.* 7:225-232. doi 10.1093/japr/7.3.225
- Ahammed, M., B. J. Chae, J. Lohakare, B. Keohavong, M. H. Lee, S. J. Lee, D. M. Kim, J. Y. Lee, and S. J. Ohh. 2014. Comparison of aviary, barn and conventional cage raising of chickens on laying performance and egg quality. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 27:1196-1203. doi 10.5713/ajas.2013.13394
- Ben Sassi, N., X. Averos, and I. Estevez. 2016. Technology and Poultry Welfare. *Animals* 6:62. doi 10.3390/ani6100062
- Blatchford, R. A., R. M. Fulton, and J. A. Mench. 2016. The utilization of the Welfare Quality(R) assessment for determining laying hen condition across three housing systems. *Poult. Sci.* 95:154-163. doi 10.3382/ps/pev227
- Caldara, F., I. Nääs, and R. Garcia. 2014. Infrared Thermal Image for Assessing Animal Health and Welfare. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 2:66-72. doi 10.14269/2318-1265/jabb.v2n3p66-72
- Casey-Trott, T., J. L. Heerkens, M. Petrik, P. Regmi, L. Schrader, M. J. Toscano, and T. Widowski. 2015. Methods for assessment of keel bone damage in poultry. *Poult. Sci.* 94:2339-2350. doi 10.3382/ps/pev223
- Decina, C., O. Berke, N. van Staaveren, C. Baes, T. Widowski, and A. Harlander-Matauschek. 2019. An Investigation of Associations Between Management and Feather Damage in Canadian Laying Hens Housed in Furnished Cages. *Animals* 9:135. doi 10.3390/ani9040135
- Egg Farmers of Canada. 2019. Annual Report 2018. https://www.eggfarmers.ca/wp-content/uploads/2019/03/2018_Egg-Farmers-of-Canada-Annual-Report.pdf
- Egg Farmers of Quebec. 2019. Annual report 2018-2019. <https://oeuf.ca/wp-content/uploads/2019/04/rapport-annuel-2018-2019.pdf>
- Elanco (2010). *Broiler Disease: Reference Guide*. Elanco.
- Elson, H., and R. Croxall. 2006. European study on the comparative welfare of laying hens in cage and non-cage systems. *Arch.Geflügelk.* 70:194-198.

Englmaierová, M., E. Tůmová, V. Charvátová, and M. Skřivan. 2014. Effects of laying hens housing system on laying performance, egg quality characteristics, and egg microbial contamination. *Czech J. Anim. Sci.* 59:345-352.

Fleming, R. H., H. A. McCormack, L. McTeir, and C. C. Whitehead. 2006. Relationships between genetic, environmental and nutritional factors influencing osteoporosis in laying hens. *Br. Poult. Sci.* 47:742-755. doi 10.1080/00071660601077949

Fossum, O., D. S. Jansson, P. E. Etterlin, and I. Vagsholm. 2009. Causes of mortality in laying hens in different housing systems in 2001 to 2004. *Acta Vet. Scand.* 51:3. doi 10.1186/1751-0147-51-3

Gebhardt-Henrich, S. G., and E. K. Frohlich. 2015. Early Onset of Laying and Bumblefoot Favor Keel Bone Fractures. *Animals : an open access journal from MDPI* 5:1192-1206. doi 10.3390/ani5040406

Glatz, P. 2001. Effect of poor feather cover on feed intake and production of aged laying hens. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 14:553-558.

Guesdon, V., and J. M. Faure. 2004. Laying performance and egg quality in hens kept in standard or furnished cages. *Anim. Res.* 53:45-57. doi 10.1051/animres:2003045

Habig, C., and O. Distl. 2013. Evaluation of bone strength, keel bone status, plumage condition and egg quality of two layer lines kept in small group housing systems. *Br. Poult. Sci.* 54:413-424. doi 10.1080/00071668.2013.792405

Harlander-Matauschek, A., T. B. Rodenburg, V. Sandilands, B. W. Tobalske, and M. J. Toscano. 2015. Causes of keel bone damage and their solutions in laying hens. *Worlds Poult. Sci. J.* 71:461-472. doi 10.1017/S0043933915002135

Heerkens, J. L., E. Delezie, T. B. Rodenburg, I. Kempen, J. Zoons, B. Ampe, and F. A. Tuytens. 2016. Risk factors associated with keel bone and foot pad disorders in laying hens housed in aviary systems. *Poult. Sci.* 95:482-488. doi 10.3382/ps/pev339

Heerkens, J. L. T., E. Delezie, I. Kempen, J. Zoons, B. Ampe, T. B. Rodenburg, and F. A. M. Tuytens. 2015. Specific characteristics of the aviary housing system affect plumage condition, mortality and production in laying hens. *Poult. Sci.* 94:2008-2017. doi 10.3382/ps/pev187 %J Poultry Science

- Hidalgo, A., M. Rossi, F. Clerici, and S. Ratti. 2008. A market study on the quality characteristics of eggs from different housing systems. *Food Chem.* 106:1031-1038. doi 10.1016/j.foodchem.2007.07.019
- Holt, P. S., R. H. Davies, J. Dewulf, R. K. Gast, J. K. Huwe, D. R. Jones, D. Waltman, and K. R. Willian. 2011. The impact of different housing systems on egg safety and quality. *Poult. Sci.* 90:251-262. doi 10.3382/ps.2010-00794
- Jahja, A., W. Bessei, M. Grashorn, S. Muji, and I. Stuhec. 2012. Effect of physical activity of laying hens on bone condition. *Arch.Geflügelk.* 77:171-178.
- Jensen, P., L. Keeling, K. Schutz, L. Andersson, P. Mormede, H. Brandstrom, B. Forkman, S. Kerje, R. Fredriksson, C. Ohlsson, S. Larsson, H. Mallmin, and A. Kindmark. 2005. Feather pecking in chickens is genetically related to behavioural and developmental traits. *Physiol. Behav.* 86:52-60. doi 10.1016/j.physbeh.2005.06.029
- Lara, L. J., and M. H. Rostagno. 2013. Impact of Heat Stress on Poultry Production. *Animals* 3:356-369. doi 10.3390/ani3020356
- Lay, D., R. Fulton, P. Hester, D. Karcher, J. Kjaer, J. Mench, B. Mullens, R. Newberry, C. Nicol, and N. O'sullivan. 2011. Hen welfare in different housing systems. *Poult. Sci.* 90:278-294.
- Matthews, W. A., and D. A. Sumner. 2015. Effects of housing system on the costs of commercial egg production. *Poult. Sci.* 94:552-557. doi 10.3382/ps/peu011
- McManus, C., C. B. Tanure, V. Peripolli, L. Seixas, V. Fischer, A. M. Gabbi, S. R. O. Menegassi, M. T. Stumpf, G. J. Kolling, E. Dias, and J. B. G. Costa. 2016. Infrared thermography in animal production: An overview. *Comput. Electron. Agr.* 123:10-16. doi <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.01.027>
- Mostert, B. E., E. Bowes, and J. Van Der Walt. 1995. Influence of different housing systems on the performance of hens of four laying strains. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 25:80-86.
- Nasr, M., J. Murrell, L. Wilkins, and C. Nicol. 2012a. The effect of keel fractures on egg-production parameters, mobility and behaviour in individual laying hens. *Animal Welf.* 21:127-135.
- Nasr, M. A., J. Murrell, and C. J. Nicol. 2013. The effect of keel fractures on egg production, feed and water consumption in individual laying hens. *Br. Poult. Sci.* 54:165-170. doi 10.1080/00071668.2013.767437

Nasr, M. A., C. J. Nicol, and J. C. Murrell. 2012b. Do laying hens with keel bone fractures experience pain? *PLoS One* 7:e42420. doi 10.1371/journal.pone.0042420

Neijat, M., T. M. Casey-Trott, S. Robinson, T. M. Widowski, and E. Kiarie. 2019. Effects of rearing and adult laying housing systems on medullary, pneumatic and radius bone attributes in 73-wk old Lohmann LSL lite hens¹. *Poult. Sci.* 98:2840-2845. doi 10.3382/ps/pez086 %J Poultry Science

Newman, S., and S. Leeson. 1998. Effect of housing birds in cages or an aviary system on bone characteristics. *Poult. Sci.* 77:1492-1496. doi 10.1093/ps/77.10.1492 %J Poultry Science

Petrik, M. T., M. T. Guerin, and T. M. Widowski. 2013. Keel fracture assessment of laying hens by palpation: inter-observer reliability and accuracy. *Vet. Rec.* 173:500. doi 10.1136/vr.101934

Petrik, M. T., M. T. Guerin, and T. M. Widowski. 2015. On-farm comparison of keel fracture prevalence and other welfare indicators in conventional cage and floor-housed laying hens in Ontario, Canada. *Poult. Sci.* 94:579-585. doi 10.3382/ps/pev039

Pickel, T., L. Schrader, and B. Scholz. 2011. Pressure load on keel bone and foot pads in perching laying hens in relation to perch design. *Poult. Sci.* 90:715-724. doi 10.3382/ps.2010-01025

Roberts, J. R. 2004. Factors affecting egg internal quality and egg shell quality in laying hens. *J. Poult. Sci.* 41:161-177.

Sandilands, V., C. Moinard, and N. H. Sparks. 2009. Providing laying hens with perches: fulfilling behavioural needs but causing injury? *Br. Poult. Sci.* 50:395-406. doi 10.1080/00071660903110844

Shepherd, E. M., and B. D. Fairchild. 2010. Footpad dermatitis in poultry. *Poult. Sci.* 89:2043-2051. doi 10.3382/ps.2010-00770

Sherwin, C. M., G. J. Richards, and C. J. Nicol. 2010. Comparison of the welfare of layer hens in 4 housing systems in the UK. *Br. Poult. Sci.* 51:488-499. doi 10.1080/00071668.2010.502518

Stratmann, A., E. K. Frohlich, A. Harlander-Matauschek, L. Schrader, M. J. Toscano, H. Wurbel, and S. G. Gebhardt-Henrich. 2015. Soft perches in an aviary system reduce incidence of keel bone damage in laying hens. *PLoS One* 10:e0122568. doi 10.1371/journal.pone.0122568

Su, G., J. B. Kjaer, and P. Sorensen. 2006. Divergent selection on feather pecking behavior in laying hens has caused differences between lines in egg production, egg quality, and feed efficiency. *Poult. Sci.* 85:191-197. doi 10.1093/ps/85.2.191

- Tactacan, G. B., W. Guenter, N. J. Lewis, J. C. Rodriguez-Lecompte, and J. D. House. 2009. Performance and welfare of laying hens in conventional and enriched cages. *Poult. Sci.* 88:698-707. doi 10.3382/ps.2008-00369
- Tauson, R., A. Wahlström, and P. Abrahamsson. 1999. Effect of two floor housing systems and cages on health, production, and fear response in layers. *J. Appl. Poult. Res.* 8:152-159. doi 10.1093/japr/8.2.152
- Van Staaveren, N., C. Decina, C. F. Baes, T. M. Widowski, O. Berke, and A. Harlander-Matauschek. 2018. A Description of Laying Hen Husbandry and Management Practices in Canada. *Animals* 8. doi 10.3390/ani8070114
- Vits, A., D. Weitzenburger, H. Hamann, and O. Distl. 2005. Production, egg quality, bone strength, claw length, and keel bone deformities of laying hens housed in furnished cages with different group sizes. *Poult. Sci.* 84:1511-1519. doi 10.1093/ps/84.10.1511
- Wang, G., C. Ekstrand, and J. Svedberg. 1998. Wet litter and perches as risk factors for the development of foot pad dermatitis in floor-housed hens. *Br. Poult. Sci.* 39:191-197. doi 10.1080/00071669889114
- Wilcox, C. S., J. Patterson, and H. W. Cheng. 2009. Use of thermography to screen for subclinical bumblefoot in poultry. *Poult. Sci.* 88:1176-1180. doi 10.3382/ps.2008-00446
- Wilkins, L. J., S. N. Brown, P. H. Zimmerman, C. Leeb, and C. J. Nicol. 2004. Investigation of palpation as a method for determining the prevalence of keel and furculum damage in laying hens. *Vet. Rec.* 155:547-549.
- Wilkins, L. J., J. L. McKinstry, N. C. Avery, T. G. Knowles, S. N. Brown, J. Tarlton, and C. J. Nicol. 2011. Influence of housing system and design on bone strength and keel bone fractures in laying hens. *Vet. Rec.* 169:414. doi 10.1136/vr.d4831
- Yamak, U., and M. Sarica. 2012. Relationships between feather score and egg production and feed consumption of different layer hybrids kept in conventional cages. *Arch.Geflügelk.* 76:31-37.
- Yilmaz Dikmen, B., A. Ipek, U. Sahan, M. Petek, and A. Sozcu. 2016. Egg production and welfare of laying hens kept in different housing systems (conventional, enriched cage, and free range). *Poult. Sci.* 95:1564-1572. doi 10.3382/ps/pew082
- Zhao, Y., H. Xin, and B. Dong. 2013. Use of infrared thermography to assess laying-hen feather coverage. *Poult. Sci.* 92:295-302. doi 10.3382/ps.2012-02629

Discussion

En ce temps où les producteurs d'œufs du Canada font la transition vers les systèmes de logement alternatifs, il est important de comprendre les répercussions potentielles que peuvent avoir ces systèmes sur le bien-être et les performances des poudeuses. À notre connaissance, cette étude cohorte longitudinale observationnelle qui s'est déroulée du 11-2017 au 07-2019 est la première à avoir évalué le bien-être et les performances des poules en fermes commerciales du Québec. Évaluer la présence de déviation du bréchet, de fracture du bréchet, de dermatite du coussinet plantaire et de plumage endommagé directement en fermes commerciales est crucial pour déterminer les réelles conséquences des nouveaux systèmes de logement. Parmi les 32 propriétaires de pondeur contactés, seulement 12 ont accepté de participer à la recherche, dont six possédaient des cages enrichies, cinq possédaient une volière à plusieurs niveaux et un possédait une volière à un niveau. Pour ne pas entraîner un biais, la sélection des troupeaux a été faite judicieusement. Par exemple, seulement un troupeau par ferme était admissible afin d'avoir des troupeaux les plus indépendants les uns des autres. De plus, des troupeaux de différentes tailles et régions ont été sélectionnés afin d'avoir un échantillon le plus représentatif possible des fermes du Québec. Initialement, une participation de 24 troupeaux, 12 en cages enrichies et 12 en volières, était attendue. Comme mentionné, le recrutement des producteurs se faisait par téléphone. Malgré une bonne préparation tant de la part de l'étudiante que de la représentante de la Fédération des producteurs d'œufs du Québec, un grand nombre de producteurs étaient réticents à participer et ont refusé l'invitation à se joindre au projet. Cette réticence venait principalement des producteurs ayant des systèmes de volières et il a été compris par la suite que ceux-ci craignaient que cette recherche ne révèle de moins bonnes conditions pour les poules logées en volières, ce qui aurait pu entacher la réputation de ces logements, en freiner l'expansion ou encore avoir des conséquences économiques pour ces producteurs. Il est donc espéré qu'en prenant connaissance de nos résultats, les producteurs d'œufs en volières seront rassurés quant à leur choix de système et d'autres seront enclins à participer aux études qui pourraient découler de ce projet. En ce basant sur la prévalence estimée des différents indicateurs de bien-être en plus du temps nécessaire à la collecte de données, l'évaluation de 12 poules par visite a été jugée adéquate.

Indicateur de bien-être

Pour évaluer la santé des troupeaux, les indicateurs de bien-être suivants ont été utilisés : déviation du bréchet, fracture du bréchet, dermatite du coussinet plantaire et emplumement.

Alors que les déviations du bréchet ont été observées dès 23 semaines et 19 semaines en cages enrichies et en volière respectivement, la prévalence a significativement augmenté de celle à 19 semaines en fin d'élevage seulement. Puisque cette anomalie du bréchet résulte d'un remodelage à la suite d'une pression continue sur celui-ci (Tauson et al., 1999; Stratmann et al., 2015), il est normal d'observer une prévalence supérieure plus tard dans la vie des poules. La prévalence de déviation du bréchet était similaire dans les deux systèmes peu importe l'âge et est plus faible que celle observée dans la littérature (Habig and Distl, 2013; Casey-Trott et al., 2015; Heerkens et al., 2016). Il est reconnu que les poules brunes ont une prédisposition génétique aux déviations du bréchet (Habig and Distl, 2013), ce qui peut expliquer le faible taux de déviations observé dans cette étude où seules des poules blanches étaient incluses. Elson and Croxall (2006) ont constaté une prévalence plus élevée de déviations du bréchet chez les poules logées en volières que chez celles logées en cages enrichies, de la même manière que Tauson et al. (1999) ont également constaté une prévalence plus élevée de cette condition dans les systèmes sans cages comparativement aux cages conventionnelles. Sachant qu'une pression continue sur le bréchet mène à son remodelage, l'utilisation intensive des perchoirs, leur conception et la manière dont les poules se perchent expliquent la majorité des problèmes de déviation du bréchet observés en systèmes de logement alternatifs (Pickel et al., 2011; Heerkens et al., 2016; Casey-Trott et al., 2017). Les perchoirs étant présents dans les cages enrichies et les volières, ceci explique pourquoi dans notre étude des déviations du bréchet ont été détectées chez les poules des deux systèmes.

Bien qu'il y eût présence de fractures du bréchet dans les deux systèmes, la prévalence de fracture dans cette étude est plus faible que celle observée dans la littérature, ce qui est un résultat important à souligner. Lorsque tous les âges étaient combinés, la prévalence des fractures du bréchet était plus élevée en volière qu'en cages enrichies. Cela concorde avec de nombreux chercheurs qui ont constaté une prévalence plus élevée de fracture du bréchet dans les systèmes sans cages (Sherwin et al., 2010; Wilkins et al., 2011; Heerkens et al., 2016). Les traumatismes engendrés par les collisions entre les poules et les composantes du logement sont les

causes les plus souvent proposées pour expliquer l'apparition de fractures du bréchet (Sandilands et al., 2009; Stratmann et al., 2015; Heerkens et al., 2016). En raison de leur conception, les poules en volières ont une mobilité supérieure et des déplacements plus importants ce qui augmente vraisemblablement les risques de collision plus forte. Ceci peut donc expliquer la prévalence plus élevée de fractures du bréchet couramment observée en volière, qui est plus de 80 % comparativement à 30 % en cages enrichies (Sherwin et al., 2010; Wilkins et al., 2011; Heerkens et al., 2016). Il est également probable que le déplacement des poules entre les multiples niveaux de la volière soit une cause de fracture, spécialement en l'absence de conditions d'éclairage appropriées (Harlander-Matauschek et al., 2015). Remplacer les perchoirs de métal pour ceux faits en bois ou caoutchouc serait une solution possible pour réduire les fractures du bréchet, puisque ces matériaux permettent une collision plus douce (Harlander-Matauschek et al., 2015; Stratmann et al., 2015). Certaines études ont démontré une augmentation de la prévalence de fractures du bréchet entre 20 et 50 semaines (Petrik et al., 2015) et pendant le pic de production (Gebhardt-Henrich and Frohlich, 2015), alors que ce n'était pas le cas dans cette étude. Comparée à la semaine 19, la seule augmentation significative observée était à 65 semaines en volière, c'est-à-dire beaucoup plus tard dans le cycle de ponte. Une puissance statistique faible en raison du nombre de troupeaux participants pourrait également expliquer en partie l'absence d'autres différences significatives.

La dermatite du coussinet plantaire peut créer de réels problèmes pour le bien-être des poules. La cause la plus souvent mentionnée de cette condition est la litière humide (Wang et al., 1998; Shepherd and Fairchild, 2010; Lay et al., 2011), ce qui explique la forte prévalence habituellement observée dans les systèmes sans cages où la litière est présente (Shepherd and Fairchild, 2010; Lay et al., 2011; Heerkens et al., 2016). Néanmoins, on retrouve également des dermatites du coussinet plantaire dans les systèmes de cages où elles sont causées par une mauvaise conception des perchoirs et des perchoirs contaminés par des fientes (Elson and Croxall, 2006; Pickel et al., 2011). Connaissant les facteurs qui stimulent le développement de cette condition, la prévalence plus élevée de dermatite du coussinet plantaire observée en volières était attendue. Comme mentionné précédemment, une litière composée de l'accumulation de fumier était présente dans toutes les volières, ce qui explique les résultats obtenus. Cependant, une différence significative entre les systèmes n'a été observée qu'à 45

semaines seulement. La première explication possible est que cette différence entre les cages enrichies et les volières à ce moment unique est une coïncidence. Il est important de souligner que les analyses statistiques ont montré un résultat presque significatif concernant l'impact du logement sur le développement de la dermatite du coussinet plantaire ($P = 0,065$), ce qui rend l'hypothèse du hasard peu probable. Une explication plus valable serait la faible puissance statistique des tests et le moment de l'année où les données de chaque ferme ont été collectées. Shepherd and Fairchild (2010) ont observé une fréquence plus élevée de dermatites du coussinet plantaire en hiver, en raison du taux de ventilation minimal et de la litière humide qui en résulte. Ainsi, les différences observées entre les systèmes aux autres temps ont été jugées non significatives, mais les résultats auraient peut-être été différents si l'échantillonnage avait été plus élevé ou que la collecte de données avait été faite à d'autres moments. Cette hypothèse expliquerait également l'absence d'une tendance générale quant au développement de la dermatite du coussinet plantaire dans le temps. Des recherches supplémentaires sur l'humidité de la litière en volières ainsi que sur le moment de la collecte des données sont nécessaires pour mieux comprendre les résultats obtenus.

Alors que la prévalence de plumage endommagé en volières est similaire à celle observée dans la littérature, la prévalence en cages enrichies dans cette étude est plus élevée (Sherwin et al., 2010; Heerkens et al., 2015; Decina et al., 2019). Globalement, aucune différence n'a été observée dans l'emplumement entre les poules des différents logements, pareillement à Blatchford et al. (2016). Cependant, la présente étude diverge de celle de Yilmaz Dikmen et al. (2016), où un meilleur emplumement a été retrouvé chez les poules dans les systèmes sans cages contrairement aux poules logées dans des cages enrichies. D'autres études ont démontré un meilleur emplumement chez les poules logées dans des systèmes de cages (Tauson et al., 1999; Elson and Croxall, 2006; Sherwin et al., 2010), ce qui pourrait s'expliquer par la prévalence plus élevée de picage de plumes observée dans les systèmes sans cages (Fossum et al., 2009; Sherwin et al., 2010). Bien que le picage soit une cause importante de la perte de plumes dans ces systèmes, l'abrasion causée par les cages est la cause la plus souvent observée pour la perte de plumes en systèmes de cages (Yamak and Sarica, 2012; Blatchford et al., 2016). La prévalence de poules ayant subi une perte de plumes a significativement augmentée à partir de 45 semaines, résultant possiblement de l'accumulation des dommages avec le temps, comme

postulé par d'autres (Sherwin et al., 2010; Petrik et al., 2015; Decina et al., 2019). Dans la présente étude, tous âges et types de logements confondus, la région du corps où l'emplumement était le plus détérioré était la poitrine, comparativement au cou, au dos et au cloaque. Blatchford et al. (2016) ont suggéré que la conception des cages et la région de la poule picorée pouvaient influencer le profil de la perte de plumes. Les chercheurs rapportent également que l'âge auquel l'échantillonnage a lieu peut expliquer les différences de résultats entre les études.

En comparant les résultats de chaque troupeau individuellement, une tendance a été observée quant aux fermes présentant des conditions de bien-être inférieures et supérieures. En système de cages enrichies, une ferme montre les meilleurs résultats pour les déviations du bréchet, les fractures du bréchet et l'emplumement, alors qu'une autre montre les pires résultats pour ces trois mêmes indicateurs. Dans le premier cas, le propriétaire du troupeau évalué a plusieurs années d'expérience en production avicole et possède plusieurs pondoirs. Leur expertise apprise au cours des années peut possiblement expliquer leurs résultats supérieurs à la moyenne. Dans le même ordre d'idée, le troupeau présentant de moins bons résultats pour les indicateurs de bien-être était le premier lot du propriétaire. Celui-ci n'avait jamais produit d'œufs auparavant. Ces résultats laissent croire qu'il y a une courbe d'apprentissage par laquelle passe chaque nouveau producteur. Les mêmes tendances ont été observées en système de volières. La seule volière à un niveau évaluée dans cette étude présentait les meilleurs résultats pour les déviations du bréchet, les fractures du bréchet et les dermatites du coussinet plantaire. La présence d'un seul niveau à fort possiblement réduit les risques de collisions sévères, et donc de fracture, puisque la distance entre le sol et le plus haut point de la volière est beaucoup plus faible que celle en volières à plusieurs niveaux. La faible utilisation des perchoirs ainsi que le faible taux humidité de la litière de ce troupeau sont probablement les causes de la prévalence inférieure des déviations du bréchet et des dermatites du coussinet plantaire. Le manque de données empêche de confirmer cette théorie toutefois.

Il se peut que l'environnement des poules ait joué un rôle sur la prévalence des indicateurs de bien-être. Des données sur les conditions ambiantes, comme la luminosité et la présence de planchers chauffants, ont été récoltées et pourraient amener des informations clés sur le développement de fracture du bréchet et de dermatites du coussinet plantaire

respectivement. Cependant, ces données n'ont pu être analysées dans le cadre de ce projet faute de temps et de ressources.

Bien qu'à première vue les volières semblent présenter un désavantage pour le bien-être des poules, spécifiquement en ce qui concerne les fractures du bréchet et les dermatites du coussinet plantaire, il faut souligner que des indicateurs très précis ont été mesurés dans cette étude. La santé des animaux comprend plusieurs éléments et puisque l'évaluation de tous était impossible, seuls ceux jugés les plus pertinents ont été considérés. Les conclusions quant au bien-être des poules auraient sans doute été différentes si la liberté de mouvement dans les systèmes et la capacité de poules à exprimer des comportements naturels dans ceux-ci avaient été mesurées. En se basant sur cette étude néanmoins, un meilleur contrôle des causes de fractures du bréchet et des dermatites du coussinet plantaire devrait être exercé en volières afin d'améliorer les conditions de santé des pondeuses. Il faut toutefois souligner que les prévalences de déviations et de fractures du bréchet étaient moins élevées que celles attendues et ces résultats sont très encourageants.

Performances zootechniques

La littérature sur les impacts des systèmes de logement sur la production d'œufs divergente. Certains ont observé que les systèmes en cages permettaient une production d'œufs plus élevée que les systèmes sans cages (Tauson et al., 1999; Elson and Croxall, 2006; Englmaierová et al., 2014), alors que d'autres ont observé le contraire (Ahammed et al., 2014; Yilmaz Dikmen et al., 2016). Il a été proposé que certains œufs pondus sur le sol des volières peuvent possiblement être détruits ou mangés, réduisant ainsi la production. La santé des poules et leur environnement sont des exemples de facteurs qui peuvent affecter la production d'œufs (Nasr et al., 2012a; Lara and Rostagno, 2013; Nasr et al., 2013), ce qui rend l'évaluation des répercussions des systèmes de logement plus difficile à déterminer avec exactitude. En se basant sur cette étude néanmoins, il semble que les systèmes de logement n'affectent pas la production d'œufs. La qualité de la régie pratiquée dans les fermes québécoises a sans doute également joué un rôle. Dans l'étude présente, la production en volière était supérieure à 90 %, ce qui est plus élevé que la production de 80 % attendue (Elson and Croxall, 2006; Englmaierová et al., 2014).

Pour le calcul de la mortalité, les données d'un des troupeaux en volière ont dû être écartées compte tenu du taux anormal de mortalité causé par la présence d'entérite possiblement nécrotique dans le troupeau. Ce troupeau apportait énormément de variation d'un point de vue statistique rendant donc préférable son élimination des analyses. À la suite de la révision des données, seule la mortalité montrait des résultats inhabituels et c'est pourquoi ce troupeau a été retiré des calculs de mortalité seulement, et non des analyses des autres critères de performance.

En accord avec plusieurs recherches (Elson and Croxall, 2006; Sherwin et al., 2010; Petrik et al., 2015), un taux de mortalité supérieur a été observé en volière comparativement aux cages enrichies à partir de 35 semaines. Une étude a rapporté une mortalité plus élevée en cages enrichies qu'en libre parcours, principalement en raison du nombre élevé de morts dû au cannibalisme cloacal (Yilmaz Dikmen et al., 2016). Néanmoins, une autre étude a conclu que le taux de mortalité était similaire entre les logements des poules (Ahammed et al., 2014). Plusieurs facteurs peuvent influencer la mortalité, comme les conditions environnantes et la régie durant l'élevage des poulettes et la période de ponte, rendant ainsi difficile la détermination des causes réelles de mortalité dans chaque système quand des nécropsies ne sont pas pratiquées (Tactacan et al., 2009; Ahammed et al., 2014). Selon la littérature, il est probable que la prévalence de maladies bactériennes, parasitaires et virales, en plus du cannibalisme plus élevé dans les systèmes sans cages puissent expliquer les différences observées entre les systèmes de logement (Abrahamsson and Tauson, 1998; Fossum et al., 2009; Lay et al., 2011).

L'alimentation représente une partie importante des coûts de production dans la production d'œufs (Matthews and Sumner, 2015). Il est donc crucial d'évaluer la consommation alimentaire des poules. En raison de leur niveau d'activité plus élevé, la prise alimentaire des poules logées en systèmes sans cages est généralement supérieure à celle des poules logées dans des cages (Elson and Croxall, 2006; Yilmaz Dikmen et al., 2016). Dans cette étude, il n'y avait pas de différence significative entre les types de logement, et ce, pour l'ensemble du cycle de production, résultats semblables à ceux obtenus par Englmaierová et al. (2014) et Ahammed et al. (2014). Bien que non mesurée dans la présente étude, une comparaison du niveau d'activité amènerait des précisions sur les tendances alimentaires observées.

À la lumière de ces résultats, on se rend compte que les performances issues des systèmes de volières sont aussi bonnes que celles des producteurs d'œufs en cages enrichies. La gestion

ainsi que les pratiques d'élevage présentent sur les fermes du Québec permettent d'obtenir le même genre de productivité, et ce, en systèmes de cages ou non. Toutefois, il ne faut pas négliger le taux de mortalité supérieur en volière puisque la mort d'une poule est généralement précédée de souffrance (Elson and Croxall, 2006).

Qualité des œufs

Pour évaluer la qualité des œufs, une variété de paramètres relatifs à l'intégrité de l'œuf, la qualité de la coquille ou la qualité interne de l'œuf peuvent être utilisés. La littérature montre une grande variabilité en matière d'impact qu'ont les systèmes de logement sur le poids des œufs, la prévalence d'œufs fêlés, la prévalence d'œufs sales, l'épaisseur de la coquille, la force de la coquille et l'unité Haugh, paramètre grandement utilisé prenant en compte le poids de l'œuf et la hauteur du blanc épais autour du jaune (Holt et al., 2011). Bien que certaines études aient rapporté des résultats similaires entre les systèmes avec et sans cages en matière de poids d'œuf (Tauson et al., 1999; Ahammed et al., 2014), de prévalence des œufs fêlés (Hidalgo et al., 2008) et d'unité de Haugh (Mostert et al., 1995; Hidalgo et al., 2008), d'autres ont constaté des différences entre les types de logement. Dans la présente étude, il n'y avait pas de différence significative entre les systèmes, peu importe l'âge, en ce qui concerne le poids moyen des œufs, la force moyenne de la coquille, l'unité Haugh moyenne et la prévalence des œufs fêlés. Il a été rapporté qu'une consommation alimentaire et une production d'œuf similaire entre les deux systèmes de logement menaient à un poids d'œuf comparable (Tactacan et al., 2009). En effet, les résultats de cette étude montrent que la consommation alimentaire, la production d'œufs et le poids des œufs étaient semblables entre les cages enrichies et les volières. Les données pour le poids des œufs, la force de la coquille et l'épaisseur de la coquille sont constantes avec ceux de Englmaierová et al. (2014), qui a aussi comparé les cages enrichies aux volières. Toutefois, ils ont observé une unité Haugh plus élevée pour les œufs produits en cages enrichies.

Les collisions sont la source principale des œufs fêlés en système de cages enrichies, puisque les œufs voyagent sur une plus longue distance pour atteindre la courroie à œufs (Tauson et al., 1999; Guesdon and Faure, 2004; Yilmaz Dikmen et al., 2016), alors qu'en volière, ce sont les œufs pondus en dehors des nids qui en sont la cause première (Ahammed et al., 2014). La prévalence d'œufs fêlés observée en cages enrichies dans notre étude était supérieure à celle précédemment rapportée (Tactacan et al., 2009; Yilmaz Dikmen et al., 2016).

Il est pertinent de préciser que les nids des cages enrichies de cette étude étaient régulièrement situés à l'arrière des cages, forçant les œufs à rouler sur une longue distance pour atteindre la courroie à œufs située à l'avant de la cage. Alors que la prévalence d'œufs fêlés était comparable entre les systèmes, l'épaisseur de la coquille, tous âges confondus, était supérieure pour les œufs produits en volières qu'en cages enrichies. Puisqu'une coquille mince peut mener à un risque d'œufs fêlés plus élevé (Abrahamsson and Tauson, 1998), l'absence d'une prévalence supérieure d'œufs fêlés en cages enrichies est surprenante. Vits et al. (2005) ont suggéré qu'une production d'œufs plus élevée pourrait être associée à une coquille d'œuf plus mince. Étant donné que la production d'œufs était similaire dans cette étude, cela ne peut expliquer notre résultat. Il est aussi possible que la taille de l'œuf ait un impact sur l'épaisseur de la coquille, où cette dernière diminue avec l'augmentation de la taille de l'œuf. D'autres expérimentations seraient nécessaires pour confirmer cette hypothèse. La formation de la coquille est un processus complexe influencé par plusieurs facteurs. Puisque la coquille d'œuf est principalement composée de carbonate de calcium, la qualité de la coquille peut être atteinte si les besoins en calcium de la poule ne sont pas rencontrés (Institut national de la recherche agronomique, 1970; NFIA, 1976). La majeure partie du calcium nécessaire à la coquille provient de l'alimentation, mais il y a tout de même un 10 à 20 % du calcium qui est prélevé des os, principalement de l'os médullaire (Institut national de la recherche agronomique, 1970; NFIA, 1976; Jahja et al., 2012). Sachant que la mobilité améliore la formation des os et leur solidité (Newman and Leeson, 1998; Fleming et al., 2006; Jahja et al., 2012), il est possible que les poules en volières, qui ont un plus grand niveau d'activité, aient plus de facilité à fournir cette partie de calcium provenant des os contrairement aux poules en cages enrichies. Ceci se traduirait donc possiblement par une épaisseur supérieure de la coquille. Une corrélation positive entre l'épaisseur et la force de la coquille a déjà été rapportée (Institut national de la recherche agronomique, 1970; Roberts, 2004). Bien qu'une coquille plus épaisse soit généralement observée en systèmes sans cages (Mostert et al., 1995; Hidalgo et al., 2008; Englmaierová et al., 2014), de nombreuses études ont montré une force de coquille supérieure pour les œufs produits en cages (Hidalgo et al., 2008; Englmaierová et al., 2014). Dans la présente étude, la plus grande épaisseur de coquille observée en volière ne semble pas améliorer d'autres critères de qualité, comme la résistance de la coquille et la prévalence d'œufs fêlés, puisqu'il n'y avait pas de différence statistique avec les œufs produits en cages enrichies.

La prévalence d'œufs sales n'a pas pu être analysée statistiquement en raison du manque de variation des données récoltées, problématique qui aurait possiblement été évitée par la participation d'un nombre plus élevé de troupeaux. Généralement, une plus grande prévalence d'œufs sales est retrouvée en systèmes sans cages compte tenu des œufs pouvant être pondus au sol sur la litière (Abrahamsson and Tauson, 1998; Tauson et al., 1999; Yilmaz Dikmen et al., 2016). Cependant, des études ont également observé la présence d'œufs sales dans les systèmes de cages (Tactacan et al., 2009), et ce, à une prévalence parfois plus élevée que celle observé dans les systèmes sans cages (Ahammed et al., 2014). Une mauvaise conception des cages et la ponte d'œufs dans des zones contaminées par des fèces, comme les tapis de grattage, en sont les principales raisons (Guesdon and Faure, 2004; Ahammed et al., 2014).

Il est évidemment important d'avoir une bonne productivité, mais la qualité du produit est tout aussi importante. En plus d'avoir une production d'œufs similaire, la qualité de ceux-ci est également semblable entre les systèmes. L'épaisseur de la coquille des œufs provenant des volières est l'unique chose qui se distingue des œufs produits en cages enrichies. On ne peut néanmoins pas conclure que les œufs en volière sont nécessairement de meilleure qualité puisque l'épaisseur ne semble pas apporter d'avantages dans notre étude.

Thermographie infrarouge

Il n'y avait pas de différence entre la température moyenne des oiseaux avec et sans fracture du bréchet, ce qui pourrait suggérer que ces fractures n'entraînent pas un changement marqué dans la température de surface des poules. Cependant, il est possible que les vieilles et guéries fractures du bréchet ne soient pas détectables à la thermographie. Contrairement à notre étude, Nasr et al. (2012a) ont constaté que les poules présentant des fractures du bréchet avaient une température significativement plus basse au niveau du bréchet en raison de la non-utilisation et la dégénérescence des muscles de cette région. Une température significativement plus élevée a été observée chez les poules atteintes de dermatite du coussinet plantaire ayant reçu une cote de 2. Comme la dermatite du coussinet plantaire est une inflammation des tissus cutanés et sous-cutanés, il est logique d'observer une température plus élevée du coussinet plantaire chez les poules atteintes de lésions graves. Malgré la capacité de la thermographie à distinguer les dermatites sévères, les résultats suggèrent que la thermographie infrarouge est incapable de détecter une dermatite du coussinet plantaire légère chez les poules. Cette conclusion est en

désaccord avec celle de Wilcox et al. (2009) où il a été conclu que la thermographie infrarouge était un outil efficace pour détecter la dermatite du coussinet plantaire, même à un stade subclinique, et était donc considérée comme plus utile pour la détection précoce de cette condition que la méthode d'inspection visuelle. Dans notre étude, l'analyse de la courbe ROC (Receiver Operating Characteristic) a déterminé le seuil de température permettant de diagnostiquer, avec la plus grande certitude possible, une fracture du bréchet et une dermatite du coussinet plantaire. Les faibles sensibilité et spécificité calculées pour la fracture du bréchet et la dermatite de coussinet plantaire montrent les limites qu'a la thermographie infrarouge en tant qu'outil de diagnostic. Par exemple, une poule ayant une température de bréchet égale ou supérieure à 38,27 °C serait diagnostiquée comme ayant une fracture du bréchet, alors que ce ne serait vrai que dans 54,99 % du temps. Étant donné que de nombreuses poules ont une température supérieure à 38,27 °C pour des raisons non liées à une fracture du bréchet, les poules sans fracture seraient correctement diagnostiquées que dans 52,95 % des cas. Le même raisonnement s'applique pour la dermatite du coussinet plantaire.

Un bon outil de diagnostic se doit de détecter avec un niveau de confiance suffisant la présence d'une maladie ou d'une blessure. Ainsi, comme l'a démontré la présente étude, la thermographie infrarouge n'est pas un outil approprié pour diagnostiquer une fracture du bréchet et une dermatite du coussinet plantaire. Il est important de noter toutefois que les dermatites du coussinet plantaire de classes 1 et 2 ont été combinées pour l'analyse de la courbe ROC afin d'améliorer le pouvoir statistique et classer les poules avec et sans lésions. Le résultat aurait pu être différent si les classes 0 et 1 avaient été combinées pour l'analyse puisqu'il y avait une différence de température des coussinets entre les poules ayant reçu une cote de 2 et les poules ayant reçu une autre cote.

Corrélation entre les variables

Une relation linéaire négative entre la consommation alimentaire et la prévalence d'oiseaux présentant une perte de plumes a été constatée aux semaines 45 et 65, ce qui laisse croire qu'une faible consommation alimentaire était observée dans les troupeaux où un nombre élevé de poules avaient un plumage endommagé. Ces résultats laissent donc sous-entendre que les oiseaux ayant perdu des plumes consomment moins. Cette conclusion est en désaccord avec plusieurs études ayant rapporté une consommation alimentaire supérieure chez les poules

présentant un plumage endommagé (Glatz, 2001; Jensen et al., 2005; Su et al., 2006; Yamak and Sarica, 2012). On peut l'expliquer par le besoin qu'on les poules de se réchauffer en consommant une plus grande quantité de nourriture pour compenser la perte de chaleur supérieure causée par un manque d'isolation. Le résultat de notre étude est donc à l'opposé de ce qui avait été prédit. Il est difficile de trouver un sens à nos résultats puisque la littérature démontre le contraire, mais une hypothèse peut être proposée. Les plumes sont principalement composées de kératine, une protéine riche en cystine, et il a été démontré qu'une déficience en cystine pouvait causer une réduction de la production de plumes (Leeson, 2005; Kleyn, 2013). Généralement, cette déficience provient de la surestimation de la digestibilité ou de la disponibilité de la cystine dans l'alimentation. Ainsi, il se peut que la faible consommation de certaines poules ait eu comme impact de réduire l'apport en cystine nécessaire à la production du plumage et c'est pourquoi ces poules avaient un moins bon emplumement. Une relation linéaire positive a également été constatée entre la consommation alimentaire et le poids des œufs aux semaines 27, 31 et 35, ce qui sous-entend qu'une consommation alimentaire supérieure permettrait aux poules de pondre des œufs plus lourds. Au Québec, la classification des œufs repose sur leur poids. Plus l'œuf est lourd, plus le prix donné aux producteurs d'œufs est élevé. Par conséquent, stimuler la consommation alimentaire des poules peut avoir des répercussions positives sur le plan financier.

Dans ce projet de recherche, une série de données n'a pas été présentée. En plus des 12 troupeaux de poules de race Lohmann blanche, deux troupeaux de race Dekalb blanche, dont un en système de cages enrichies et un en volière à plusieurs niveaux, ont été échantillonnés. La race de pondeuses la plus commune au Québec est la Lohmann blanche, c'est pourquoi celle-ci a été priorisée dans cette recherche. Au cours du projet toutefois, il a été jugé que le nombre de participants allait être insuffisant et le territoire d'échantillonnage a dû être élargi et des troupeaux d'autres races ont dû être inclus. Ainsi, deux troupeaux de race Dekalb blanche se sont ajoutés. Puisque les données avaient été récoltées sur deux races de pondeuses, il était préférable de comparer la compatibilité des données avant les analyses statistiques pour éviter de fausser les résultats. En effet, les races de poules ne sont pas exactement identiques, ce qui ne rend pas toujours leur comparaison possible. À la recommandation d'un statisticien, il a été décidé d'effectuer des analyses statistiques séparées compte tenu de la variation qu'entraînait

l'ajout des données des troupeaux de Dekalb blanche à celles des troupeaux de Lohmann blanche. Pour ne pas alourdir ce mémoire, il a été décidé de présenter ces résultats en annexe (Annexe 1). Il était toutefois indispensable d'en faire mention en raison de la participation généreuse des producteurs concernés. En comparant les résultats des deux races, il était en effet pertinent de séparer les analyses compte tenu des résultats divergents. Bien que les conclusions concernant la prévalence de déviations du bréchet, l'état d'emplumement des poules et la thermographie infrarouge sont les mêmes que celles des troupeaux de Lohmann blanche, plusieurs différences ont été remarquées entre les résultats des deux races. Les différences observées entre les systèmes de cette étude concernant la prévalence de fractures du bréchet, la prévalence de dermatites du coussinet plantaire et l'épaisseur moyenne de la coquille n'ont pas été remarquées dans les troupeaux de Dekalb blanche. Ces critères étaient semblables entre les deux systèmes étudiés à tous âges. De plus, à certains moments, la force de la coquille et l'unité Haugh étaient supérieures pour les œufs produits en volières, ce qui n'était pas le cas chez les poules Lohmann blanches.

Conclusion

Les systèmes de logement des poules pondeuses sont un sujet d'intérêt actuellement étant donné l'abolition des cages conventionnelles annoncée par les Producteurs d'œufs du Canada. Ce changement impliquera la restructuration de la majorité des fermes du Québec et entraînera des coûts importants. C'est pourquoi il est préférable de récolter un maximum d'information afin de favoriser une transition idéale.

Cette étude apporte un point de vue objectif sur l'impact des systèmes de logements alternatifs du Québec sur la santé et les performances des pondeuses. Cette étude n'avait pas comme objectif de déterminer le meilleur système alternatif, mais plutôt de caractériser le développement de certaines conditions dans ces logements pour ultimement mitiger ces pertes par des mesures préventives. Les résultats se sont révélés très encourageants. Contrairement à ce qui avait été prédit, les performances zootechniques ainsi que la qualité des œufs en volières sont pour la plupart aussi bonnes que celles en cages enrichies. Ces résultats indiquent que ces systèmes alternatifs s'équivalent sur plusieurs points et que les producteurs peuvent donc adopter un nouveau logement sans se soucier d'obtenir une production et une qualité moindre selon leur choix. Néanmoins, la mortalité plus élevée en volière ne doit pas être ignorée par les producteurs. Du point de vue de la santé des poules, les indicateurs de bien-être évalués dévoilent qu'une attention particulière devrait être portée sur la prévalence de fractures du bréchet et de dermatites du coussinet plantaire en système de volières. Cette meilleure compréhension de la situation était nécessaire pour permettre l'amélioration éventuelle du système. Même si ce projet de maîtrise a conclu que l'utilisation de la thermographie infrarouge n'était pas un bon outil de diagnostic pour les fractures du bréchet et les dermatites du coussinet plantaire, les différences de température entre certaines poules saines et blessées apportent des informations pertinentes et pourraient donner suite à des études plus approfondies sur le sujet.

Ces résultats de recherche ont apporté à l'industrie des œufs de consommation des informations essentielles sur ce que les systèmes alternatifs ont à offrir en matière de performance et de santé des poules. Sachant les défis auxquels ils auront à faire face, ces résultats permettront aux producteurs de faire un choix éclairé et permettront une transition idéale vers les systèmes de logement alternatifs.

Bibliographie

Abrahamsson, P., and R. Tauson. 1998. Performance and egg quality of laying hens in an aviary system. *J. Appl. Poult. Res.* 7:225-232. doi 10.1093/japr/7.3.225

Addady, M. (2016). Wendy's announces plans to use cage-free eggs. *Fortune*. Repéré à <http://fortune.com/2016/01/05/wendys-cage-free/>

Agence canadienne d'inspection des aliments. 2019. Guide pour l'examen ante-mortem. Repéré le 15 août 2019 à <http://www.inspection.gc.ca/aliments/exigences-et-documents-d-orientation-relatives-a-c/produits-de-viande-et-animaux-pour-alimentation-hu/guide-pour-l-examen-ante-mortem/fra/1545509458792/1545509480749>

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2019a. Consommation par habitant. Repéré le 4 février 2019 à <http://www.agr.gc.ca/fra/industrie-marches-et-commerce/renseignements-sur-les-secteurs-canadiens-de-l-agroalimentaire/volaille-et-ufs/information-sur-le-marche-de-la-volaille-et-des-oeufs-industrie-canadienne/indicateurs-de-l-industrie/consommation-par-habitant/?id=1384971854413>

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2019b. L'industrie canadienne des œufs de consommation et de transformation. Repéré le 4 février 2019 à <http://www.agr.gc.ca/fra/industrie-marches-et-commerce/renseignements-sur-les-secteurs-canadiens-de-l-agroalimentaire/volaille-et-ufs/information-sur-le-marche-de-la-volaille-et-des-oeufs-industrie-canadienne/oeufs-de-consommation-et-de-transformation/?id=1384971854396>

Agriculture et Agroalimentaire Canada. 2019c. Rapports sur le commerce international de la volaille et des œufs. Repéré le 1 février 2019 à <http://www.agr.gc.ca/fra/industrie-marches-et-commerce/renseignements-sur-les-secteurs-canadiens-de-l-agroalimentaire/volaille-et-ufs/information-sur-le-marche-de-la-volaille-et-des-oeufs-industrie-canadienne/importations-et-exportations/rapports-sur-le-commerce-international-de-la-volaille-et-des-oeufs/?id=1384971854405>

Ahammed, M., B. J. Chae, J. Lohakare, B. Keohavong, M. H. Lee, S. J. Lee, D. M. Kim, J. Y. Lee, and S. J. Ohh. 2014. Comparison of aviary, barn and conventional cage raising of chickens on laying performance and egg quality. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 27:1196-1203. doi 10.5713/ajas.2013.13394

- Anderson, K. E., and A. W. Adams. 1994. Effects of cage versus floor rearing environments and cage floor mesh size on bone strength, fearfulness, and production of single comb White Leghorn hens. *Poult. Sci.* 73:1233-1240. doi 10.3382/ps.0731233
- Appleby, M. C., and I. J. H. Duncan. 1989. Development of perching in hens. *Biol. Behav.* 14:157-168.
- Appleby, M. C., I. A. S. Olsson, and B. O. Hugues (2011). *Animal welfare*. (2nd edition. ° éd.). Wallingford, Oxfordshire, UK Cambridge, MA : CAB International.
- Ben Sassi, N., X. Averos, and I. Estevez. 2016. Technology and Poultry Welfare. *Animals* 6:62. doi 10.3390/ani6100062
- Bentham, J. (1789). *An introduction to the principles of morals and legislation*. . London: London : printed for T. Payne, and Son, at the Mews Gate.
- Berry, R. J., A. D. Kennedy, S. Tracey, B. L. Kyle, and A. L. Schaefer. 2003. Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection. *Can. J. Anim. Sci.* 83:687-693. doi 10.4141/A03-012
- Blatchford, R. A., R. M. Fulton, and J. A. Mench. 2016. The utilization of the Welfare Quality(R) assessment for determining laying hen condition across three housing systems. *Poult. Sci.* 95:154-163. doi 10.3382/ps/pev227
- Bovan. s.d. Bovans White : Product Guide Cage Production System. Repéré le 15 octobre 2017 à <https://www.bovans.com/en/product/bovans-white/>
- Bracke, M. B., and H. Hopster. 2006. Assessing the importance of natural behavior for animal welfare. *J. Agric. Environ. Ethics* 19:77-89.
- Broom, D. M. (2007). *Domestic animal behaviour and welfare*. (4th ed.. ° éd.). Cambridge, MA: Cambridge, MA : CABI.
- Butterworth, A., C. Arnould, T. G. C. M. van Niekerk, I. Veissier, L. Keeling, G. Overbeke, and V. Bedaux (2009). *Welfare Quality®*, *Assessment Protocol for Poultry (Broilers, Laying Hens)*.
- Caldara, F., I. Nääs, and R. Garcia. 2014. Infrared Thermal Image for Assessing Animal Health and Welfare. *J. Anim. Behav. Biometeorol.* 2:66-72. doi 10.14269/2318-1265/jabb.v2n3p66-72
- Casey-Trott, T., J. L. Heerkens, M. Petrik, P. Regmi, L. Schrader, M. J. Toscano, and T. Widowski. 2015. Methods for assessment of keel bone damage in poultry. *Poult. Sci.* 94:2339-2350. doi 10.3382/ps/pev223

Casey-Trott, T. M., M. T. Guerin, V. Sandilands, S. Torrey, and T. M. Widowski. 2017. Rearing system affects prevalence of keel-bone damage in laying hens: a longitudinal study of four consecutive flocks. *Poult. Sci.* 96:2029-2039. doi 10.3382/ps/pex026

Commission des normes de l'équité de la santé et de la sécurité du travail. 2019a. Répertoire toxicologique : Ammoniac. Repéré le 7 août 2019 à https://www.csst.qc.ca/prevention/reptox/Pages/fiche-complete.aspx?no_produit=273&no_seq=1

Commission des normes de l'équité de la santé et de la sécurité du travail. 2019b. Répertoire toxicologique : Dioxyde de carbone. Repéré le 7 août 2019 à https://www.csst.qc.ca/prevention/reptox/Pages/fiche-complete.aspx?no_produit=315&no_seq=12

Commission des normes de l'équité de la santé et de la sécurité du travail. 2019c. Répertoire toxicologique : Monoxyde de carbone. Repéré le 7 août 2019 à https://www.csst.qc.ca/prevention/reptox/Pages/fiche-complete.aspx?no_produit=1172&_ga=2.34084257.1074210435.1565576376-1561447074.1528732131

Conklin, T. (2014). An animal welfare history lesson on the Five Freedoms. *Michigan State University* Repéré à https://www.canr.msu.edu/news/an_animal_welfare_history_lesson_on_the_five_freedoms

Conseil National pour les Soins aux Animaux d'Élevage. 2017. Code de pratiques pour le soin et la manipulation des poulettes et pondeuses. Repéré le 17 juin 2019 à https://www.nfacc.ca/pdfs/codes/poulettes_pondeuses_code_de_pratiques.pdf

Cook, N. J., A. B. Smykot, D. E. Holm, G. Fasenko, and J. S. Church. 2006. Assessing Feather Cover of Laying Hens by Infrared Thermography. *J. Appl. Poultry Res.* 15:274-279. doi 10.1093/japr/15.2.274 %J The Journal of Applied Poultry Research

Craig, J. V., N. A. Okpokho, and G. A. Milliken. 1988. Floor-and Cage-Rearing Effects on Pullets' Initial Adaptation to Multiple-Hen Cages. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 20:319-333.

Da Costa, M., J. Grimes, E. Oviedo-Rondón, I. Barasch, C. Evans, M. Dalmagro, and J. Nixon. 2014. Footpad dermatitis severity on turkey flocks and correlations with locomotion, litter conditions, and body weight at market age. *J. Appl. Poult. Res.* 23:268-279.

- David, B., C. Mejdell, V. Michel, V. Lund, and R. O. Moe. 2015. Air Quality in Alternative Housing Systems may have an Impact on Laying Hen Welfare. Part II-Ammonia. *Animals* 5:886-896. doi 10.3390/ani5030389
- Dawkins, M. S. (1983). *La souffrance animale : ou, L'étude objective du bien-être animal*. (Traduit par R. Dantzer). Maisons-Alfort: Maisons-Alfort : Éditions du point vétérinaire.
- Decina, C., O. Berke, N. van Staaveren, C. Baes, T. Widowski, and A. Harlander-Matauschek. 2019. An Investigation of Associations Between Management and Feather Damage in Canadian Laying Hens Housed in Furnished Cages. *Animals* 9:135. doi 10.3390/ani9040135
- Dewsbury, D. A. (1978). *Comparative animal behavior*. New York, Montreal: New York McGraw-Hill, Montreal.
- Dixon, L., I. Duncan, and G. Mason. 2008. What's in a peck? Using fixed action pattern morphology to identify the motivational basis of abnormal feather-pecking behaviour. *Anim. Behav.* 76:1035-1042.
- Doyon, M., J. Cranfield, S. Bergeron, L. D. Tamini, and G. Criner. 2016. Consumer preferences for improved hen housing: Is a cage a cage? *Can. J. Agric. Econ.* 64:739-751.
- Éditeur officiel du Québec. 2019. Règlement sur les conditions de production et de conservation à la ferme et sur la qualité des oeufs de consommation. Repéré le 3 août 2019 à <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/M-35.1,%20r.%20230>
- Ekesbo, I. (2011). *Farm animal behaviour : characteristics for assessment of health and welfare*. Wallingford, Oxfordshire Cambridge, MA : CABI.
- Elson, H., and R. Croxall. 2006. European study on the comparative welfare of laying hens in cage and non-cage systems. *Arch.Geflügelk.* 70:194-198.
- Englmaierová, M., E. Tůmová, V. Charvátová, and M. Skřivan. 2014. Effects of laying hens housing system on laying performance, egg quality characteristics, and egg microbial contamination. *Czech J. Anim. Sci.* 59:345-352.
- Fédération des producteurs d'œufs du Québec. 2018. Rapport annuel 2017-2018 : La production d'œufs au Québec, un modèle agricole qui nous rassemble. Repéré le 3 février 2018 à <https://oeuf.ca/wp-content/uploads/2018/04/rapport-annuel-2017-2018.pdf>
- Fédération des producteurs d'œufs du Québec. 2019a. Classification. Repéré le 7 février 2019 à <https://oeuf.ca/intervenants/classification/>

Fédération des producteurs d'œufs du Québec. 2019b. FAQ : L'épicerie offre une variété d'œufs en réponse aux besoins d'une clientèle variée. Repéré le 5 août 2019 à <https://oeuf.ca/faq/lepicerie-offre-une-variete-doeufs-en-reponse-aux-besoins-dune-clientele-variee/>

Fédération des producteurs d'œufs du Québec. 2019c. Rapport annuel 2018-2019 : L'œuf, une protéine durable pour une saine alimentation. Repéré le 3 février 2019 à <https://oeuf.ca/wp-content/uploads/2019/04/rapport-annuel-2018-2019.pdf>

Fédération des producteurs d'œufs du Québec. s.d. Guide d'aide à la décision : Options pour les systèmes de logement. Repéré le 3 février 2019 à <https://oeuf.ca/wp-content/uploads/2015/04/guide-daide-a-la-decision-systemes-de-logement.pdf>

Fleming, R. H., H. A. McCormack, L. McTeir, and C. C. Whitehead. 2006. Relationships between genetic, environmental and nutritional factors influencing osteoporosis in laying hens. *Br. Poult. Sci.* 47:742-755. doi 10.1080/00071660601077949

FLIR. 2019. Comment fonctionne une caméra IR ? Repéré le 8 août 2019 à <https://www.flir.quebec/discover/how-does-an-ir-camera-work/>

Fossum, O., D. S. Jansson, P. E. Etterlin, and I. Vagsholm. 2009. Causes of mortality in laying hens in different housing systems in 2001 to 2004. *Acta Vet. Scand.* 51:3. doi 10.1186/1751-0147-51-3

Fraser, A. F. (1980). *Farm animal behaviour : an introduction to behaviour in the common farm species.* (2d ed.^e éd.). London: London : Baillière Tindall.

Fraser, A. F. (1990). *Farm animal behaviour and welfare.* (3rd ed.^e éd.). London Toronto: London Baillière Tindall, Toronto.

Fraser, D., D. M. Weary, E. A. Pajor, and B. N. Milligan. 1997. A scientific conception of animal welfare that reflects ethical concerns. *Animal Welf.* 6:187-205.

Freelancer. (2016). How the canadian laying hen housing landscape is changing – and why. *The Poultry Site.* Repéré à <https://thepoultrysite.com/articles/how-the-canadian-laying-hen-housing-landscape-is-changing-and-why>

Gebhardt-Henrich, S. G., and E. K. Frohlich. 2015. Early Onset of Laying and Bumblefoot Favor Keel Bone Fractures. *Animals : an open access journal from MDPI* 5:1192-1206. doi 10.3390/ani5040406

- Glatz, P. 2001. Effect of poor feather cover on feed intake and production of aged laying hens. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 14:553-558.
- Guesdon, V., and J. M. Faure. 2004. Laying performance and egg quality in hens kept in standard or furnished cages. *Anim. Res.* 53:45-57. doi 10.1051/animres:2003045
- Gunnarsson, S., J. Yngvesson, L. J. Keeling, and B. Forkman. 2000. Rearing without early access to perches impairs the spatial skills of laying hens. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 67:217-228.
- Habig, C., and O. Distl. 2013. Evaluation of bone strength, keel bone status, plumage condition and egg quality of two layer lines kept in small group housing systems. *Br. Poult. Sci.* 54:413-424. doi 10.1080/00071668.2013.792405
- Hamann, J. (2015). Après les cages à poules. *Le Fil*. Repéré à <https://www.lefil.ulaval.ca/apres-les-cages-poules-37906/>
- Harlander-Matauschek, A., T. B. Rodenburg, V. Sandilands, B. W. Tobalske, and M. J. Toscano. 2015. Causes of keel bone damage and their solutions in laying hens. *Worlds Poult. Sci. J.* 71:461-472. doi 10.1017/S0043933915002135
- Hartcher, K. M., and B. Jones. 2017. The welfare of layer hens in cage and cage-free housing systems. *Worlds Poult. Sci. J.* 73:767-782. doi 10.1017/S0043933917000812
- Heerkens, J. L., E. Delezie, I. Kempen, J. Zoons, B. Ampe, T. B. Rodenburg, and F. A. Tuytens. 2015. Specific characteristics of the aviary housing system affect plumage condition, mortality and production in laying hens. *Poult. Sci.* 94:2008-2017. doi 10.3382/ps/pev187
- Heerkens, J. L., E. Delezie, T. B. Rodenburg, I. Kempen, J. Zoons, B. Ampe, and F. A. Tuytens. 2016. Risk factors associated with keel bone and foot pad disorders in laying hens housed in aviary systems. *Poult. Sci.* 95:482-488. doi 10.3382/ps/pev339
- Hidalgo, A., M. Rossi, F. Clerici, and S. Ratti. 2008. A market study on the quality characteristics of eggs from different housing systems. *Food Chem.* 106:1031-1038. doi 10.1016/j.foodchem.2007.07.019
- Hodos, W., and C. B. G. Campbell. 1969. Scala naturae: Why there is no theory in comparative psychology. *Psychol. Rev.* 76:337-350. doi 10.1037/h0027523
- Holt, P. S., R. H. Davies, J. Dewulf, R. K. Gast, J. K. Huwe, D. R. Jones, D. Waltman, and K. R. Willian. 2011. The impact of different housing systems on egg safety and quality. *Poult. Sci.* 90:251-262. doi 10.3382/ps.2010-00794

Hy-Line. 2016. Hy-Line W36 : Management Guide. Repéré le 15 octobre 2017 à https://www.hyline.com/userdocs/pages/36_COM_ENG.pdf

Institut national de la recherche agronomique (1970). *L'œuf de consommation : production, conservation et caractéristiques [compte-rendu d'une] Séance de travail*. Tours: [Tours, : Hoffmann-La Roche.

Jahja, A., W. Bessei, M. Grashorn, S. Muji, and I. Stuhec. 2012. Effect of physical activity of laying hens on bone condition. *Arch.Geflügelk.* 77:171-178.

Jensen, P., L. Keeling, K. Schutz, L. Andersson, P. Mormede, H. Brandstrom, B. Forkman, S. Kerje, R. Fredriksson, C. Ohlsson, S. Larsson, H. Mallmin, and A. Kindmark. 2005. Feather pecking in chickens is genetically related to behavioural and developmental traits. *Physiol. Behav.* 86:52-60. doi 10.1016/j.physbeh.2005.06.029

Jin, L., and J. V. Craig. 1988. Some Effects of Cage and Floor Rearing on Commercial White Leghorn Pullets During Growth and the First Year of Egg Production. *Poult. Sci.* 67:1400-1406.

Kaufmann-Bart, M., and R. K. Hoop. 2009. Diseases in chicks and laying hens during the first 12 years after battery cages were banned in Switzerland. *Vet. Rec.* 164:203-207. doi 10.1136/vr.164.7.203

Kleyn, R. (2013). *Chicken nutrition : a guide for nutritionists and poultry professionals*. Leicestershire : Context.

Lara, L. J., and M. H. Rostagno. 2013. Impact of Heat Stress on Poultry Production. *Animals* 3:356-369. doi 10.3390/ani3020356

Larivière, T. (2016). Fin des cages conventionnelles pour les poules. *La Terre de chez nous*. Repéré à <https://www.laterre.ca/actualites/elevages/fin-des-cages-conventionnelles-pour-les-poules>

Lay, D., R. Fulton, P. Hester, D. Karcher, J. Kjaer, J. Mench, B. Mullens, R. Newberry, C. Nicol, and N. O'sullivan. 2011. Hen welfare in different housing systems. *Poult. Sci.* 90:278-294.

Leeson, S. (2005). *Commercial poultry nutrition*. (3rd ed..^e éd.). Guelph, Ont.: Guelph, Ont. : University Books.

Lewko, L., and E. Gornowicz. 2011. Effect of housing system on egg quality in laying hens. *Ann. Anim. Sci.* 11:607-611.

Lohmann Tierzucht. 2016. Lohmann LSL-Classic : Guide d'élevage production en cage. Repéré le 15 octobre 2017 à

https://www.lohmannfrance.com/media/guide_lohmann_lsl_classic_056082500_1218_22082017.pdf

Martland, M. F. 1985. Ulcerative dermatitis dm broiler chickens: the effects of wet litter. *Avian Pathol.* 14:353-364. doi 10.1080/03079458508436237

Matthews, W. A., and D. A. Sumner. 2015. Effects of housing system on the costs of commercial egg production. *Poult. Sci.* 94:552-557. doi 10.3382/ps/peu011

Mayne, R. K. 2005. A review of the aetiology and possible causative factors of foot pad dermatitis in growing turkeys and broilers. *Worlds Poult. Sci. J.* 61:256-267. doi 10.1079/WPS200458

McInerney, J. (2004). *Animal welfare, economics and policy: Report on a study undertaken for the Farm & Animal Health Economics Division of Defra*. Repéré à https://pdfs.semanticscholar.org/3ee1/06ec1b5c7e58e0ff2144a11057ab23347486.pdf?_ga=2.262448460.110667959.1565836135-854279758.1563147142

McManus, C., C. B. Tanure, V. Peripolli, L. Seixas, V. Fischer, A. M. Gabbi, S. R. O. Menegassi, M. T. Stumpf, G. J. Kolling, E. Dias, and J. B. G. Costa. 2016. Infrared thermography in animal production: An overview. *Comput. Electron. Agr.* 123:10-16. doi <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.01.027>

Meyer, B., J. Zentek, and A. Harlander-Matauschek. 2013. Differences in intestinal microbial metabolites in laying hens with high and low levels of repetitive feather-pecking behavior. *Physiol. Behav.* 110-111:96-101. doi 10.1016/j.physbeh.2012.12.017

Moe, R. O., J. Bohlin, A. Flø, G. Vasdal, H. Erlandsen, E. Guneriussen, E. C. Sjøkvist, and S. M. Stubsjøen. 2018. Effects of subclinical footpad dermatitis and emotional arousal on surface foot temperature recorded with infrared thermography in turkey toms (*Meleagris gallopavo*). *Poult. Sci.* 97:2249-2257. doi 10.3382/ps/pey033 %J Poultry Science

Mostert, B. E., E. Bowes, and J. Van Der Walt. 1995. Influence of different housing systems on the performance of hens of four laying strains. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 25:80-86.

Nabel. 2016. Qualité de l'oeuf: Unité Haugh. Repéré le 15 mai 2019 à <http://det6000.com/fr/egg-quality/>

Nasr, M., J. Murrell, L. Wilkins, and C. Nicol. 2012a. The effect of keel fractures on egg-production parameters, mobility and behaviour in individual laying hens. *Animal Welf.* 21:127-135.

- Nasr, M. A., J. Murrell, and C. J. Nicol. 2013. The effect of keel fractures on egg production, feed and water consumption in individual laying hens. *Br. Poult. Sci.* 54:165-170. doi 10.1080/00071668.2013.767437
- Nasr, M. A., C. J. Nicol, and J. C. Murrell. 2012b. Do laying hens with keel bone fractures experience pain? *PLoS One* 7:e42420. doi 10.1371/journal.pone.0042420
- Newman, S., and S. Leeson. 1998. Effect of housing birds in cages or an aviary system on bone characteristics. *Poult. Sci.* 77:1492-1496. doi 10.1093/ps/77.10.1492 %J Poultry Science
- NFIA (1976). *Calcium in broiler, layer and turkey nutrition*. West Des Moines, Iowa: West Des Moines, Iowa : National Feed Ingredients Ass.
- Nicol, C. J., S. N. Brown, E. Glen, S. J. Pope, F. J. Short, P. D. Warriss, P. H. Zimmerman, and L. J. Wilkins. 2006. Effects of stocking density, flock size and management on the welfare of laying hens in single-tier aviaries. *Br. Poult. Sci.* 47:135-146. doi 10.1080/00071660600610609
- Niebuhr, K., C. Arhant, A. Lugmair, B. BGruber, and K. Zaludik. (2009). *Foot pad dermatitis in laying hens kept in non-cage systems in Austria*. Communication présentée Poultry Welfare Symposium, Cervia, Italy. Repéré à https://www.cabi.org/Uploads/animal-science/worlds-poultry-science-association/WPSA-italy-2009/6_welfare2009_niebuhr.pdf
- Petrik, M. T., M. T. Guerin, and T. M. Widowski. 2013. Keel fracture assessment of laying hens by palpation: inter-observer reliability and accuracy. *Vet. Rec.* 173:500. doi 10.1136/vr.101934
- Petrik, M. T., M. T. Guerin, and T. M. Widowski. 2015. On-farm comparison of keel fracture prevalence and other welfare indicators in conventional cage and floor-housed laying hens in Ontario, Canada. *Poult. Sci.* 94:579-585. doi 10.3382/ps/pev039
- Pichová, K., B. Bilčík, and L. Košťál. 2017. Assessment of the effect of housing on feather damage in laying hens using IR thermography. *Animal* 11:661-669. doi 10.1017/S1751731116001981
- Pickel, T., L. Schrader, and B. Scholz. 2011. Pressure load on keel bone and foot pads in perching laying hens in relation to perch design. *Poult. Sci.* 90:715-724. doi 10.3382/ps.2010-01025
- Producteurs d'oeufs du Canada. 2019. Rapport annuel 2018. Repéré le 4 février 2019 à https://www.producteursdoeufs.ca/wp-content/uploads//2019/03/2018_Les-Producteurs-doeufs-du-Canada-Rapport-annuel.pdf

Producteurs d'œufs du Canada. 2016. Egg farmers of Canada announces industry-wide transition away from conventional housing. Repéré le 9 juin 2019 à <https://www.eggfarmers.ca/press/egg-farmers-of-canada-announces-industry-wide-transition-away-from-conventional-housing/>

Riber, A. B., T. M. Casey-Trott, and M. S. Herskin. 2018. The Influence of Keel Bone Damage on Welfare of Laying Hens. *Front. Vet. Sci.* 5:6. doi 10.3389/fvets.2018.00006

Roberts, J. R. 2004. Factors affecting egg internal quality and egg shell quality in laying hens. *J. Poult. Sci.* 41:161-177.

Roll, V. F. B., G. A. M. Levrino, and R. C. Briz. 2008. Rearing system and behavioural adaptation of laying hens to furnished cages. *Cienc. Rural* 38:1997-2003.

Sandilands, V., C. Moinard, and N. H. Sparks. 2009. Providing laying hens with perches: fulfilling behavioural needs but causing injury? *Br. Poult. Sci.* 50:395-406. doi 10.1080/00071660903110844

Sedlackova, M., B. Bilcik, and L. Kostal. 2004. Feather pecking in laying hens: environmental and endogenous factors. A review. *Acta Vet. Brno.* 73:521-531.

Shepherd, E. M., and B. D. Fairchild. 2010. Footpad dermatitis in poultry. *Poult. Sci.* 89:2043-2051. doi 10.3382/ps.2010-00770

Sherwin, C. M., G. J. Richards, and C. J. Nicol. 2010. Comparison of the welfare of layer hens in 4 housing systems in the UK. *Br. Poult. Sci.* 51:488-499. doi 10.1080/00071668.2010.502518

Smart, V. (2016). Some organic, free-range eggs more nutritious, Marketplace investigation finds. *CBC*. Repéré à <https://www.cbc.ca/news/health/organic-eggs-nutrition-1.3485640>

Stratmann, A., E. K. Frohlich, A. Harlander-Matauschek, L. Schrader, M. J. Toscano, H. Wurbel, and S. G. Gebhardt-Henrich. 2015. Soft perches in an aviary system reduce incidence of keel bone damage in laying hens. *PLoS One* 10:e0122568. doi 10.1371/journal.pone.0122568

Su, G., J. B. Kjaer, and P. Sorensen. 2006. Divergent selection on feather pecking behavior in laying hens has caused differences between lines in egg production, egg quality, and feed efficiency. *Poult. Sci.* 85:191-197. doi 10.1093/ps/85.2.191

Tactacan, G. B., W. Guenter, N. J. Lewis, J. C. Rodriguez-Lecompte, and J. D. House. 2009. Performance and welfare of laying hens in conventional and enriched cages. *Poult. Sci.* 88:698-707. doi 10.3382/ps.2008-00369

- Tauson, R. 2005. Management and housing systems for layers – effects on welfare and production. *Worlds Poult. Sci. J.* 61:477-490.
- Tauson, R., A. Wahlström, and P. Abrahamsson. 1999. Effect of two floor housing systems and cages on health, production, and fear response in layers. *J. Appl. Poult. Res.* 8:152-159. doi 10.1093/japr/8.2.152
- Tolpinrud, A., M. O'Brien, W. S. M. Justice, M. Barrows, O. Steele, S. Gent, and A. L. Meredith. 2017. Infrared thermography as a diagnostic tool for pododermatitis in captive greater flamingos (*Phoenicopterus roseus*). *J. Zoo Aquar. Res.* 5:48-55.
- Van de Weerd, H. A., and A. Elson. 2006. Rearing factors that influence the propensity for injurious feather pecking in laying hens. *Worlds Poult. Sci. J.* 62:654-664.
- Van Staaveren, N., C. Decina, C. F. Baes, T. M. Widowski, O. Berke, and A. Harlander-Matauschek. 2018. A Description of Laying Hen Husbandry and Management Practices in Canada. *Animals* 8. doi 10.3390/ani8070114
- Vits, A., D. Weitzenburger, H. Hamann, and O. Distl. 2005. Production, egg quality, bone strength, claw length, and keel bone deformities of laying hens housed in furnished cages with different group sizes. *Poult. Sci.* 84:1511-1519. doi 10.1093/ps/84.10.1511
- Walsh, E. (2017). Hellmann's mayonnaise and mayonnaise dressings now use 100% cage-free eggs in the U.S.*, three years ahead of schedule. *Unilever*. Repéré à <https://www.unileverusa.com/news/press-releases/2017/hellmanns-mayonnaise-and-dressings-now-use-100-percent-cage-free-eggs.html>
- Walstra, I., J. Ten Napel, B. Kemp, H. Schipper, and H. van den Brand. 2010. Early life experiences affect the adaptive capacity of rearing hens during infectious challenges. *Animal* 4:1688-1696. doi 10.1017/S175173111000073X
- Wang, G., C. Ekstrand, and J. Svedberg. 1998. Wet litter and perches as risk factors for the development of foot pad dermatitis in floor-housed hens. *Br. Poult. Sci.* 39:191-197. doi 10.1080/00071669889114
- Warriss, P. D., S. J. Pope, S. N. Brown, L. J. Wilkins, and T. G. Knowles. 2006. Estimating the body temperature of groups of pigs by thermal imaging. *Vet. Rec.* 158:331-334. doi 10.1136/vr.158.10.331
- Webster, A. J. 2001. Farm animal welfare: the five freedoms and the free market. *Vet. J.* 161:229-237. doi 10.1053/tvj.2000.0563

- Weitzenburger, D., A. Vits, H. Hamann, and O. Distl. 2005. Effect of furnished small group housing systems and furnished cages on mortality and causes of death in two layer strains. *Br. Poult. Sci.* 46:553-559. doi 10.1080/00071660500303206
- Whitehead, C. C., and R. H. Fleming. 2000. Osteoporosis in cage layers. *Poult. Sci.* 79:1033-1041. doi 10.1093/ps/79.7.1033
- Wilcox, C. S., J. Patterson, and H. W. Cheng. 2009. Use of thermography to screen for subclinical bumblefoot in poultry. *Poult. Sci.* 88:1176-1180. doi 10.3382/ps.2008-00446
- Wilkins, L. J., S. N. Brown, P. H. Zimmerman, C. Leeb, and C. J. Nicol. 2004. Investigation of palpation as a method for determining the prevalence of keel and furculum damage in laying hens. *Vet. Rec.* 155:547-549.
- Wilkins, L. J., J. L. McKinstry, N. C. Avery, T. G. Knowles, S. N. Brown, J. Tarlton, and C. J. Nicol. 2011. Influence of housing system and design on bone strength and keel bone fractures in laying hens. *Vet. Rec.* 169:414. doi 10.1136/vr.d4831
- Yamak, U., and M. Sarica. 2012. Relationships between feather score and egg production and feed consumption of different layer hybrids kept in conventional cages. *Arch.Geflügelk.* 76:31-37.
- Yilmaz Dikmen, B., A. Ipek, U. Sahan, M. Petek, and A. Sozcu. 2016. Egg production and welfare of laying hens kept in different housing systems (conventional, enriched cage, and free range). *Poult. Sci.* 95:1564-1572. doi 10.3382/ps/pew082
- Zhao, Y., H. Xin, and B. Dong. 2013. Use of infrared thermography to assess laying-hen feather coverage. *Poult. Sci.* 92:295-302. doi 10.3382/ps.2012-02629

Annexe 1 : Résultats des troupeaux de Dekalb blanche

Les analyses statistiques ont été effectuées exactement de la même façon que pour les analyses des troupeaux de Lohmann blanche, excepté que les données pour les indicateurs de bien-être et de performances ont été récoltées à 19, 23, 27, 31, 35 et 45 semaines et les données de qualité des œufs ont été récoltées à 35 et 45 semaines seulement. Étant donné que les résultats présentés comportent deux troupeaux uniquement, un troupeau en système de cages enrichies et un troupeau en volière, peu d'informations ont pu être tirées de ces analyses.

Indicateurs de bien-être

Il n'y avait aucune différence significative entre les systèmes pour la prévalence de déviation du bréchet, la prévalence de fracture du bréchet, la prévalence de dermatite du coussinet plantaire et la prévalence de plumage endommagé, et ce, à n'importe quel âge. De plus, en comparaison à la semaine 19, aucune différence significative n'a été observée pour ces critères en cages enrichies et en volière.

Performances

Dans le cas des performances, la comparaison ne pouvait pas statistiquement être effectuée puisqu'une ferme était présente dans chaque groupe seulement. Ainsi, seules les données brutes peuvent être présentées (Tableau 2).

Tableau 2: Moyenne (\pm EC) du taux de ponte (hen-day egg production), de la mortalité cumulée et de la consommation alimentaire en cages enrichies et en volière à 6 différents âges

Âge (semaines)	Taux de ponte (%)		Mortalité cumulée (%)		Consommation alimentaire (g/poule/j)	
	Cages enrichies	Volières	Cages enrichies	Volières	Cages enrichies	Volières
19	n/a	n/a	0	0,1	n/a	71,6
23	93,8	95	0,3	0,2	100,9	95
27	97	97	0,4	0,3	112,9	95,2
31	97,4	97	0,5	0,4	109	98,2
35	97,7	98,3	0,59	0,5	111,9	102,3
45	96,7	96,7	1,03	0,8	108	103,3

Qualité des œufs

Les résultats de la qualité des œufs sont présentés dans le Tableau 3. L'épaisseur moyenne de la coquille était affectée par l'âge ($P = 0,011$), mais pas par le système de logement ($P = 0,39$) et il n'y avait pas d'interaction entre l'âge et le logement ($P = 0,055$). L'épaisseur moyenne de la coquille était similaire entre 35 et 45 semaines pour le troupeau en cages enrichies, mais plus élevée à 45 semaines en volière. Il n'y avait aucune différence significative entre les systèmes à aucun moment.

Le poids moyen des œufs n'était affecté ni par l'âge ($P = 0,16$), ni par le système de logement ($P = 0,26$) et il n'y avait aucune interaction entre l'âge et le logement ($P = 0,11$). Le poids moyen des œufs était similaire entre 35 et 45 semaines pour le troupeau en cages enrichies et en volière et il n'y avait pas de différence significative entre les systèmes à ces âges.

La force moyenne de la coquille était affectée par le logement ($P = 0,014$), mais pas par l'âge ($P = 0,24$) et il n'y avait aucune interaction entre l'âge et le logement ($P = 0,21$). La force moyenne de la coquille était similaire entre 35 et 45 semaines pour le troupeau en cages enrichies et en volière. À 45 semaines, la force moyenne de la coquille était significativement plus élevée en volière qu'en cages enrichies.

L'unité Haugh moyen était affectée par l'âge ($P < 0,0001$), mais pas par le logement ($P = 0,11$) et il y avait une interaction entre l'âge et le logement ($P = 0,0002$). L'unité Haugh moyenne était similaire entre 35 et 45 semaines pour le troupeau en cages enrichies, mais plus faible à 45 semaines en volière. L'unité Haugh moyenne était significativement plus élevée en volière à 35 semaines qu'en cages enrichies.

Tableau 3: Moyenne (\pm EC) de l'épaisseur de la coquille, du poids de l'œuf, de la force de la coquille et de l'unité Haugh en cages enrichies et en volière à 2 différents âges

Âge (semaines)	Épaisseur coquille (mm)		Poids œufs (g)		Force coquille (kgf)		Unité Haugh	
	Cages enrichies	Volière	Cages enrichies	Volière	Cages enrichies	Volière	Cages enrichies	Volière
35	0,39 \pm 0,02	0,38 \pm 0,02	57,8 \pm 2,5	58,2 \pm 3,5	4,86 \pm 0,42	5,02 \pm 0,71	88 \pm 3,8	92,5 \pm 3,5
45	0,39 \pm 0,03	0,41 \pm 0,02*	60,3 \pm 3,8	58 \pm 4,8	4,85 \pm 0,5	5,32 \pm 0,52	87,3 \pm 3,9	85,4 \pm 3,4*
Âge	0,0116		0,1643		0,2407		<0,0001	
Logement	0,3912		0,2551		0,0139		0,1124	
Âge x logement	0,0547		0,1081		0,2058		0,0002	

* Pour chaque critère, les astérisques indiquent une moyenne significativement différente de la moyenne à 35 semaines.

Les valeurs en gras indiquent une différence significative entre les systèmes de logement.

Thermographie

Il n'y avait pas de différence significative entre la température moyenne des poules avec (38,8 \pm 0,2 °C) et sans (38,4 \pm 0,1 °C) fracture du bréchet détectée par palpation. Pour la dermatite du coussinet plantaire gauche, la température moyenne des poules avec une cote visuelle de 2 (35,1 \pm 0,8 °C) était significativement plus élevée que celle des poules avec une cote de 0 (32,3 \pm 0,6 °C), alors qu'il n'y avait aucune différence significative entre la température moyenne des poules avec une cote de 0 et 1 (34,5 \pm 1,4 °C) et entre les poules avec une cote de 1 et 2. Les mêmes résultats ont été observés pour les dermatites du coussinet plantaire droit, soit une différence significative entre les poules avec un cote visuelle de 2 (36 \pm 0,3 °C) et 0 (32,7 \pm 0,4 °C) et aucune différence significative entre les poules avec une cote de 0 et 1 (32,9 \pm 1,8 °C) et entre les poules avec une cote de 1 et 2. L'analyse de la courbe ROC (Tableau 4) a déterminé un seuil de température au-delà duquel il y aurait présence d'une fracture du bréchet ou d'une dermatite. Pour le bréchet, le test diagnostique à l'aide de la thermographie serait de déclarer une fracture si la température du bréchet était égale ou plus grande que 38,4 °C et la conclusion serait juste dans 71,3 % (sensibilité) du temps. Les poules sans fracture seraient correctement

diagnostiquées dans 47,3 % (spécificité) du temps seulement puisque plusieurs oiseaux sans fracture auront tout de même une température plus élevée que 38,4 °C pour des raisons non liées à leur condition de bréchet. Le seuil de température des dermatites du coussinet plantaire gauche et droit serait de 34,17 °C et 33,6 °C respectivement, ce qui donne une sensibilité de 73,8 % et une spécificité de 62,9 % pour le coussinet gauche et une sensibilité de 74,6 % et une spécificité de 50,7 % pour le coussinet droit.

Tableau 4: L'analyse de la courbe ROC pour les fractures du bréchet, les dermatites du coussinet plantaire gauche et les dermatites du coussinet plantaire droit

	Seuil de température (°C)	Aire sous la courbe (SE)	Sensibilité (%)	Spécificité (%)
Fracture du bréchet	38,4	0,662 (0,1)	71,3	47,3
Dermatite du coussinet plantaire gauche	34,17	0,747 (0,071)	73,8	62,9
Dermatite du coussinet plantaire droit	33,6	0,665 (0,103)	74,6	50,7

Conclusion

En comparant les résultats obtenus pour les troupeaux de Dekalb blanche avec ceux de Lohman blanche, on retrouve certaines différences. La tendance pour une prévalence de fracture du bréchet et à une épaisseur moyenne de coquille plus élevée en volière n'a pas été observée dans les troupeaux de Dekalb blanche. De plus, aucune différence dans la prévalence de dermatites du coussinet plantaire n'a été remarquée. À certains moments, la force de la coquille et l'unité Haugh étaient supérieures pour les œufs produits en volière, ce qui n'était pas le cas avec la Lohmann blanche. Toutefois, il y avait certaines similitudes avec les résultats présentés dans ce mémoire, comme la prévalence de déviation du bréchet et la prévalence de poules présentant une perte de plumes semblables entre les systèmes. Ces résultats démontrent également l'inefficacité de la thermographie comme outil de diagnostic pour les fractures du bréchet et les dermatites du coussinet plantaire. Malheureusement, il n'a pas été possible d'analyser les performances compte tenu de la présence de deux troupeaux seulement. Ainsi, on

ne peut déterminer si la mortalité avait tendance à être supérieure en volière comme c'était le cas pour les troupeaux de Lohmann blanche.

L'échantillonnage de plus de deux troupeaux aurait certainement permis une puissance statistique plus élevée permettant l'analyse statistique de plus de critères. Avec une plus grande banque de données, il aurait été possible de conclure la présence d'une similarité suffisante entre les données des races pour les regrouper ensemble. Il est cependant impossible de le dire sans un échantillon plus élevé.