

Université de Montréal

Effets des logements alternatifs sur les performances et la qualité des œufs en pondeuses commerciales

Par Noémie Marcos

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

Novembre 2022

© Noémie Marcos, 2022

Ce mémoire intitulé

**Effets des logements alternatifs sur les performances et la qualité des œufs en poudeuses
commerciales**

Présenté par

Noémie Marcos

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes

Gustavo Zamberlam

Président-rapporteur

Martine Boulianne

Directrice de recherche

Stéphane Godbout

Codirecteur de recherche

Marianne Villettaz Robichaud

Membre du jury

Résumé

La forte demande sociétale pour un meilleur bien-être des poules a conduit l'industrie ovicole canadienne à remplacer progressivement les cages conventionnelles par des logements alternatifs tels que les cages enrichies (CE) et les volières (V). L'objectif de cette étude était de comparer les performances et la qualité des œufs dans 24 élevages commerciaux au Québec : 12 en CE et 12 en V. Le taux de ponte, la mortalité cumulative et la consommation alimentaire ont été choisis pour évaluer les performances des élevages entre 19 et 65 semaines d'âge. L'évaluation de la qualité des œufs a été réalisée à 35, 45, 55 et 65 semaines d'âge incluant la masse de l'œuf, la force et l'épaisseur de la coquille, l'unité Haugh, l'intensité de la couleur du jaune et la prévalence des œufs sales et fêlés. Aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été observée entre les CE et les V pour tous les paramètres de performance et de qualité étudiés. L'interaction entre le logement et l'âge a eu un effet significatif sur la mortalité ($P < 0,05$) qui a augmenté plus rapidement avec l'âge dans les V que dans les CE. L'âge a eu un effet significatif sur toutes les variables étudiées ($P < 0,05$) excepté la prévalence des œufs sales. Ces résultats sont encourageants pour les producteurs d'œufs québécois en pleine phase de transition. En conclusion, au Québec, durant le cycle de ponte les performances des oiseaux et la qualité des œufs sont similaires entre les CE et les V à l'échelle commerciale.

Mots-clés : logement alternatif, poule pondeuse, volière, cage enrichie, performance, qualité d'œuf.

Abstract

The strong societal demand for better hen welfare has led the Canadian egg industry to progressively replace conventional cages with alternative housing such as enriched cages (EC) and aviaries (A). The objective of this study was to compare the performance and quality of eggs from 24 commercial farms in Quebec: 12 in EC and 12 in A. Laying rate, cumulative mortality, and feed consumption were used to evaluate farm performance between 19 and 65 weeks of age while egg quality evaluation consisted of egg mass, strength and thickness shell, Haugh unit, yolk color intensity and prevalence of dirty and cracked eggs at 35, 45, 55 and 65 weeks of age. No significant differences ($P > 0.05$) were observed between EC and A for all performance and quality parameters studied. The interaction between housing and age had a significant effect on mortality ($P < 0.05$) which increased faster with age in A than in EC. Age had a significant effect ($P < 0.05$) on all variables studied except the prevalence of dirty eggs. These results are encouraging for Quebec egg producers in the midst of a transition phase. In conclusion, in Quebec, during the laying cycle the performance of the birds and egg quality are similar between the EC and the A on a commercial scale.

Key words: alternative housing, laying hen, aviary, enriched cage, performance, egg quality.

Table des matières

Résumé	3
Abstract.....	4
Table des matières	5
Liste des tableaux	7
Liste des figures	8
Liste des sigles et des abréviations.....	9
Remerciements.....	11
Introduction	12
Recension des écrits	15
1 Focus sur les enjeux de l'industrie des œufs de consommation	15
1.1 De fortes attentes sociétales sur le bien-être des poules pondeuses.....	15
1.2 Une transition des systèmes de production à l'échelle mondiale.....	17
1.3 La production d'œufs au cœur des préoccupations face à ce changement.....	19
1.4 Bilan actuel de cette évolution de système de production d'œufs.....	20
2 Les systèmes de logement en production ovocole au Canada.....	24
2.1 Les poulettes en élevage : 0- 19 semaines d'âge.....	24
2.2 Les poules pondeuses en pondoir : 20-72 semaines d'âge	27
2.2.1 Logement conventionnel (anciennement appelé cage en batterie)	27
2.2.2 Logement enrichi (ou aménagé).....	29
2.2.3 Logement en liberté sans accès extérieur : parquets et volières	31
2.2.4 Logement en liberté avec accès extérieur : libre parcours.....	34
3 Influence des systèmes de logement sur les poules pondeuses	37
3.1 Effets sur les performances zootechniques.....	37
3.1.1 La production d'œufs (ou taux de ponte).....	37
3.1.2 La consommation alimentaire	39
3.1.3 Le taux de mortalité.....	41
3.2 Effets sur la qualité des œufs.....	46
3.2.1 Caractéristiques externes	48
3.2.1.1 Salubrité et intégrité de l'œuf	48
3.2.1.2 Propriétés de la coquille : épaisseur et force	53
3.2.2 Caractéristiques internes.....	55

3.2.2.1	Indicateur de fraîcheur de l'œuf : unité Haugh	55
3.2.2.2	Intensité de la couleur du jaune	58
	Hypothèses et objectifs de recherche	61
	Article.....	62
	Abstract.....	63
	Introduction	64
	Materials and Methods.....	66
	Results.....	68
	Discussion	76
	Conclusion.....	82
	Acknowledgments	82
	References	83
	Discussion <i>générale</i>	88
	Conclusion <i>générale</i>	94
	Bibliographie	96

Liste des tableaux

Mémoire

Tableau 1. Attribution des poules par méthode de production au Canada (POC, rapport annuel 2021)..	22
Tableau 2. Synthèse des différents paramètres d'élevage exigés et des critères de bien-être pour chaque logement (adapté par Lay et al., 2011).....	36
Tableau 3. Compilation des différents résultats de performances issus de la littérature pour chaque système de logement.....	45
Tableau 4. Compilation des différents résultats de qualité (externe et interne) des œufs issus de la littérature pour chaque système de logement.....	60

Article

Table 1. Descriptive statistics (mean \pm SE) for performance parameters laying rate (%), feed consumption (g/hen/d) and cumulative mortality rate (%) between enriched cages and aviaries.....	69
Table 2. Effects of housing type, age and age-housing interaction on zootechnical performances in laying hens between 19 and 65 weeks of age housed in aviaries (n= 11) and enriched cages (n= 12).....	70
Table 3. Effects of housing, sampling period and the housing-sampling period interaction on dirty egg and cracked egg prevalences in commercial laying hens (n= 34 560 eggs).....	71
Table 4. Effects of housing, sampling period and the housing-sampling period interaction on egg quality in commercial laying hens (n= 1 920 eggs).....	72
Table 5. Multiple comparisons between sampling periods for the Haugh unit, strength and thickness shell, yolk color intensity, egg mass parameters in commercial laying hens (n= 1 920 eggs).....	73
Table 6. Multiple comparisons for interactions between type of housing and period for the Haugh Unit and yolk color intensity variables	75

Liste des figures

Mémoire

Figure 1 - Répartition mondiale des poules pondeuses par systèmes de logement (Schuck-Paim et al., 2021)	15
Figure 2. Type de logement utilisé au Québec en 2021 (FPOQ, rapport annuel 21-22)	23
Figure 3. Poules pondeuses en cages conventionnelles avec représentation d'une vue en coupe transversale des cages dos à dos	28
Figure 4. Poules pondeuses en logement enrichi avec représentation d'une vue en coupe transversale des cages dos à dos	30
Figure 5. Poules pondeuses en volière à plusieurs niveaux avec représentation d'une vue en coupe transversale	32
Figure 6. Facteurs influant sur la qualité des œufs (traduit et adapté de Pires et al., 2021)	47
Figure 7. Représentation schématique d'une coupe transversale de la coquille (Nys et al., 2010)	48
Figure 8. Vue latérale d'un œuf cassé sur une surface plane (Nabel, 2016)	56

Article

Figure 9. Weekly cumulative mortality rate (%) by age and by the two housing types (A and EC) in commercial laying hens	70
Figure 10. Means (\pm SE) for the four periods for the variable of cracked eggs prevalence (n= 34 560 eggs)	71
Figure 11. Means (\pm SE) for the four periods of the variables a) Haugh unit (score); b) Shell strength (kgF); n= 1 920 eggs	74
Figure 12. Means (\pm SE) for the four periods of the variables c) Shell thickness (mm); d) Yolk color intensity (score); e) Egg mass (g); n= 1 920 eggs	74
Figure 13. Means (\pm SE) by housing and period of a) Haugh unit (score) and b) yolk color intensity (score); n= 1 920 eggs	76

Liste des sigles et des abréviations

CE (<i>EC</i>)	Cage Enrichie (<i>Enriched Cage</i>)
CNSAE	Conseil National pour les Soins aux Animaux d'Élevage
FPOQ	Fédération des Producteurs d'Œufs du Québec
G	G-Force, abréviation de gravité
J (<i>D</i>)	Jour (<i>Day</i>)
kgF	Kilogramme-Force
MAPAQ	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
N/m	Newton/mètre (unité pour la rigidité dynamique de la coquille)
POC (<i>EFC</i>)	Producteurs d'Œufs du Canada (<i>Egg Farmers of Canada</i>)
S	Semaine
<i>SE</i>	<i>Standard Error</i>
UH (<i>HU</i>)	Unité Haugh (<i>Haugh Unit</i>)
Var. dépend.	Variables dépendantes
Var. explic.	Variables explicatives
V (<i>A</i>)	Volière (<i>Aviary</i>)
<i>YF</i>	<i>YolkFan</i>

À mon mentor, Ghislaine Roch, une agronome hors pair qui a cru en moi dès le premier jour
« *Un mentor est quelqu'un qui voit plus de talent et de capacité en vous, que vous ne voyez en vous-même* », *B. Proctor.*

et à mon supérieur hiérarchique, Jean-Philippe Désilets qui a su me faire confiance
« *La confiance est un élément majeur : sans elle, aucun projet n'aboutit* », *E. Tabarly.*

Remerciements

Je voudrais tout d'abord remercier ma directrice de maîtrise, Dre Martine Boulianne, qui m'a donné l'opportunité, au travers de cette maîtrise, d'obtenir un double diplôme à l'international (maîtrise en agronomie en France et maîtrise en sciences vétérinaires au Canada).

Je tiens aussi à exprimer toute ma reconnaissance à mon codirecteur, Dr Stéphane Godbout, pour sa contribution tout au long de ce projet de recherche. Ce fut un réel plaisir d'avoir pu collaborer une nouvelle fois ensemble. Je savais que nous serions amenés à nous revoir un jour.

Mes remerciements sincères à mon comité-conseil et à mon jury pour leur expertise et leur aide précieuse dans le bon déroulement de ce projet.

J'exprime ma plus grande gratitude à toute l'équipe de laboratoire du Dre Martine Boulianne pour l'aide apportée durant la collecte de données. Je remercie grandement Éloïse Denis, devenue agronome à ce jour, qui a su démarrer ce projet de recherche avec brio au sein de l'équipe de laboratoire en 2017.

Je remercie très chaleureusement la Fédération des Producteurs d'Œufs du Québec pour leur support logistique et administratif indispensable. Je dédie un merci particulier à Angèle Hudon-Tanguay pour sa participation à la prise de données et à son suivi d'exception.

Je remercie aussi tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail notamment les producteurs participants qui sans eux, ce projet n'aurait pas vu le jour et l'équipe de statistiques, Drs Guy Beauchamp et Tristan Juette, pour les analyses statistiques qui ont contribuées à la concrétisation de ce projet.

Ces remerciements ne seraient pas complets sans une pensée à Luna Chambaud, ma grande amie, qui a su répondre présente malgré 5 000 km qui nous sépare. Enfin, je ne peux passer outre ma reconnaissance envers toute ma famille. Leur confiance en moi et leur soutien malgré la distance m'a permis de me surpasser et de devenir la personne que je suis aujourd'hui.

Introduction

Consommé à grande échelle pour sa richesse en protéines, l'œuf est l'un des produits alimentaires le plus répandu dans le monde (Lesnierowski et Stangierski, 2018; Rondoni et al., 2020). Malgré une production mondiale en constante augmentation, l'industrie des œufs de table fait face depuis ces dernières décennies à des enjeux critiques.

Les consommateurs sont de plus en plus soucieux du bien-être des animaux particulièrement sur les conditions d'élevage des poules. Quant aux producteurs d'œufs, ils subissent des pressions constantes en matière de logement des oiseaux. Ces pressions peuvent être des normes, des lois ou encore des politiques d'achat interdisant l'utilisation des cages conventionnelles qui est le modèle de référence dans l'industrie ovicole depuis de nombreuses années. En 2021, 56,5 % des poules au Canada et 42 % des poules au Québec étaient encore logées dans des cages conventionnelles (POC, 2022; FPOQ, 2022).

La forte demande de la part des consommateurs et des acteurs de la filière des œufs pour améliorer les systèmes de production pousse le secteur ovicole à réagir. De ce fait, la prise en compte de la dimension éthique a conduit à des changements majeurs dans la production des œufs de table. Le principal enjeu est l'abandon progressif des systèmes de cages conventionnelles. Ce type de logement est une forme de confinement extrême privant les oiseaux de se mouvoir, de battre leurs ailes ou même d'exprimer des comportements naturels tels que la nidification, les bains de poussière ou encore de se percher (Weeks et Nicol, 2006; Blokhuis et al., 2007; Schuck-Paim et al., 2021).

Cette prise de conscience a débuté dans les pays de l'Union européenne qui sont les premiers à avoir interdit l'usage des cages conventionnelles depuis 2012 (directive européenne 1999/74/CE). Ce mouvement pour un système de production plus éthique s'est ensuite diffusé bien au-delà de l'Europe, notamment en Amérique du Nord. En février 2016, les Producteurs d'Œufs du Canada (POC) ont annoncé officiellement l'interdiction des cages conventionnelles d'ici 2036. Pour l'industrie ovicole l'environnement, la responsabilité sociétale et le bien-être animal sont au cœur des priorités. Cette transition vers des logements alternatifs est la réponse aux pressions économiques, environnementales, éthiques et sociétales qui ont un fort impact sur l'industrie des œufs (Gautron et al., 2021).

Au Canada, la plupart des producteurs doivent donc s'orienter vers de nouveaux logements dits alternatifs afin de transformer leurs pondeurs conventionnels en système favorisant davantage le bien-être dont le comportement naturel des poules pondeuses. Comparativement au conventionnel, les logements alternatifs offrent plus d'espace et des ressources spécifiques telles que des nichoirs, des perchoirs, des zones de picorage et de grattage (Elson et Croxall, 2006).

Plusieurs types de logements alternatifs sont adoptés pour augmenter le bien-être des poules et sont nommés comme tel : en cage ou en liberté. Le système en cage, qualifié de logement enrichi est, pour ainsi dire, une version améliorée du système conventionnel offrant les ressources spécifiques pour exprimer un plus large éventail de comportements naturels des pondeuses. Les systèmes en liberté sont de trois types : parquet, volière et libre parcours. Chacun d'entre eux peut loger des milliers de poules et peut être aménagé avec des perchoirs, des nichoirs et des bains de poussière. Toutefois, à la différence du parquet et de la volière, le libre parcours offre un accès à l'extérieur. Pour mener à bien cette transition de logement, les producteurs d'œufs ont le choix entre : le maintien de l'élevage des pondeuses en cage à condition d'enrichir le milieu à l'aide du système dit enrichi (comprenant notamment plus d'espace disponible, un nid et un perchoir) ou de se tourner vers un système d'élevage en liberté.

Tandis que ces nouveaux systèmes de production en faveur d'une amélioration du bien-être animal prennent place à travers le monde, certaines incertitudes et divergences persistent quant à l'influence des systèmes de logement alternatifs sur les performances zootechniques et la qualité des œufs. Plusieurs études ont démontré les effets des systèmes de production alternatifs sur les performances et la qualité des œufs (Brand et al., 2004; Hidalgo et al., 2008; Vlčková et al., 2019; Philippe et al., 2020; Pires et al., 2021). Cependant, les effets des différents systèmes sur les performances sont à l'heure actuelle très discutés. De même, l'impact des diverses conditions de logement sur les œufs, notamment sur leur qualité, reste un sujet controversé et il n'existe toujours pas de consensus parmi les chercheurs autour de cette thématique (Pires et al., 2021). En effet, le système de production n'est pas le seul facteur qui affecte la production d'œufs.

D'autres paramètres comme la génétique, l'âge des oiseaux, la densité animale, la santé, la nutrition ou encore l'ambiance des bâtiments (lumière, ventilation, température, qualité de l'air) ont également une incidence sur les performances des poules et la qualité des œufs produits (Tuyttens et al., 2013; Bovera et al., 2014; Meng et al., 2015; Philippe et al., 2020).

Par conséquent, l'objectif de cette étude était de comparer à l'échelle commerciale les performances zootechniques (taux de ponte, taux de mortalité et consommation alimentaire) et la qualité des œufs (poids d'œuf, épaisseur et résistance de la coquille, unité Haugh, intensité de la couleur du jaune et prévalences des œufs sales et fêlés) entre les volières (V) et les cages enrichies (CE) dans le contexte québécois.

Recension des écrits

1 Focus sur les enjeux de l'industrie des œufs de consommation

1.1 De fortes attentes sociétales sur le bien-être des poules pondeuses

En 2020, selon les données de FAOSTAT, il y a presque autant de poules pondeuses élevées dans le monde (7,6 milliards) qu'il n'y a d'êtres humains (7,8 milliards). Le continent asiatique reste toujours en tête de la production mondiale d'œufs de consommation avec 5,03 milliards de poules pondeuses élevées en Asie dont 3,14 milliards uniquement en Chine (Rapport EggTrack, 2021). À l'échelle mondiale, la majorité des poules pondeuses (Figure 1 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) sont encore logées dans des systèmes de production intensifs en cages, plus communément appelées des batteries ou cages conventionnelles, qui sont la référence en termes de logement pour l'industrie ovocole depuis des décennies (Petrik et al., 2015; Schuck-Paim et al., 2021).

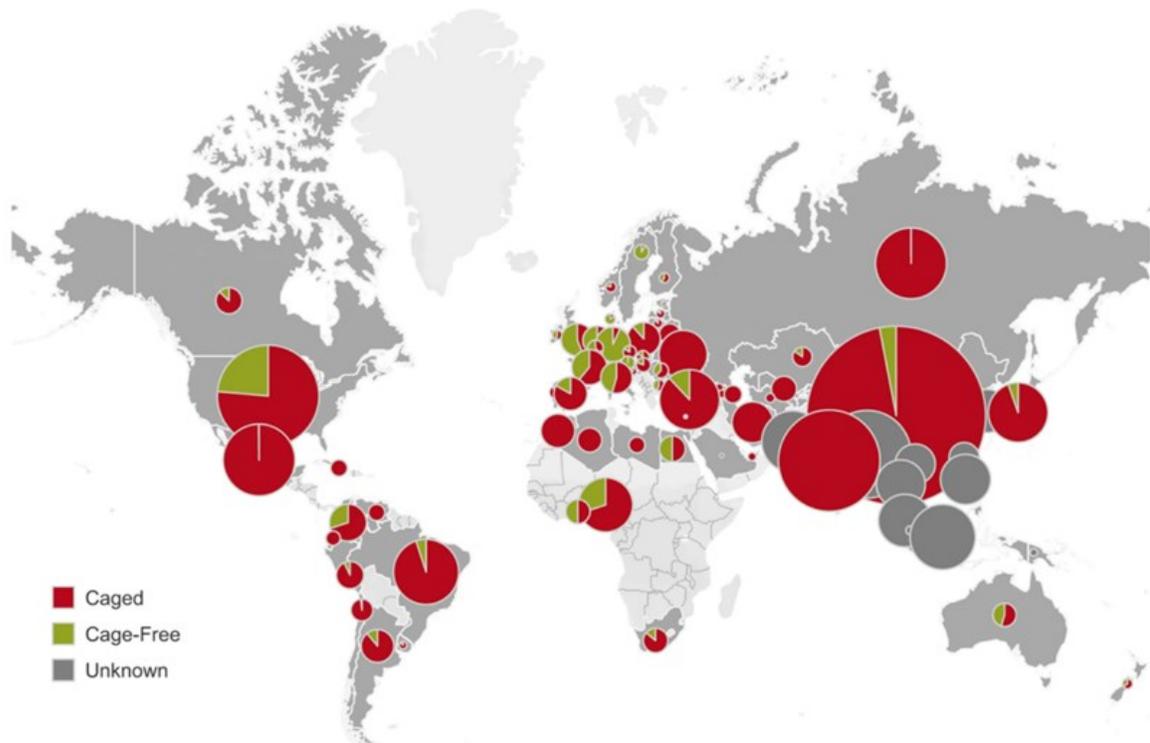


Figure 1 - Répartition mondiale des poules pondeuses par systèmes de logement (Schuck-Paim et al., 2021)

Depuis une quinzaine d'années, ce système de production est remis en cause et pointé du doigt par les organismes de défenses des animaux, les consommateurs, les détaillants alimentaires et les industries de la restauration exigeant une conduite d'élevage plus éthique et surtout plus respectueuse du bien-être animal (Swanson et al., 2011; Mench et al., 2011; Petrik et al., 2015). En effet, de nombreux auteurs définissent ce type de logement comme une forme de confinement extrême privant les oiseaux de se mouvoir, de battre leurs ailes ou même d'exprimer des comportements naturels tels que la nidification, les bains de poussière ou encore de se percher (Weeks et Nicol, 2006; Blokhuis et al., 2007; Schuck-Paim et al., 2021).

D'après Petrik et al. (2015) et Doyon et al. (2016), plusieurs types de logements alternatifs ont été développés afin d'améliorer le bien-être en particulier sur les possibilités comportementales des poules. Ces systèmes de logement se caractérisent comme étant en cage ou non en cage. Pour les systèmes dits non en cage (ou en liberté), ils se déclinent en trois types : parquet, volière et libre parcours. Chacun de ces systèmes peut loger des milliers de poules et être aménagé de nichoirs et de perchoirs. De plus, les installations sans cage comme les volières allouent deux fois plus d'espace aux poules pour se déplacer librement ou réaliser des bains de poussière comparativement aux cages conventionnelles. Certains auteurs ont également soulevé des inquiétudes quant à la possibilité que les élevages en liberté font face à un taux de mortalité plus élevé, ce qui pourrait altérer certains aspects de leur bien-être et nuire au concept des cinq libertés du bien-être animal (Lay et al., 2011; Kajlich et al., 2016; Weeks et al., 2016). Fulton (2019) a relevé des taux de mortalité de 11,7 % et 11,8 % en volière contre 5,2 % et 4,7 % en cages enrichies respectivement. Plusieurs auteurs s'entendent à dire que, comparativement aux poules logées en cages conventionnelles, les poules en volière peuvent, certes, exprimer davantage leur comportement naturel mais elles sont beaucoup plus exposées à des problèmes de santé tels que les maladies et les blessures (Michel et Huonnic, 2003; Rodenburg et al., 2005; Shimmura et al., 2010). De même pour Matthews et Sumner (2015) qui ont démontré que la mortalité des poules était plus élevée dans les volières comparativement aux cages conventionnelles et enrichies. Hester et al. (2013) ont constaté dans leur étude que l'ajout de perchoirs dans les cages conventionnelles a permis une meilleure expression de leur instinct naturel mais ce n'était pas sans causer d'autres problèmes sur leur bien-être comme la détérioration de l'état d'emplument au niveau de la poitrine et de la queue.

Tuytens et al. (2011) en ont conclu que l'effet global des logements alternatifs sur le bien-être des poules pondeuses dépendait de l'importance accordée à l'aspect santé par rapport aux autres aspects du bien-être animal.

1.2 Une transition des systèmes de production à l'échelle mondiale

Au cours des dernières décennies, la société se préoccupe de plus en plus des systèmes de production des poules pondeuses et a des opinions tranchées concernant le bien-être des poules logées dans des cages en batterie, ce qui favorise une transition vers des systèmes sans cage dans de nombreux pays (Gautron et al., 2021; Schuck-Paim et al., 2021).

Cette prise de conscience a débuté dans les pays de l'Union européenne qui sont les premiers à avoir interdit l'usage des cages conventionnelles depuis 2012 (directive européenne 1999/74/CE). Ce mouvement pour un système de production plus éthique s'est ensuite diffusé bien au-delà de l'Europe, notamment en Amérique du Nord, et de plus en plus dans le monde entier (Gautron et al., 2021). Aux États-Unis, les producteurs d'œufs ont été confrontés à de nombreuses directives notamment des réglementations et des normes exigées par des acheteurs et des décideurs politiques afin d'améliorer leurs pratiques de production sur le logement des poules pondeuses. Par exemple, avant 2015, en vertu de la loi californienne, les producteurs d'œufs ont dû se conformer à des exigences pour éliminer l'utilisation de cages conventionnelles pour des œufs vendus dans l'État de Californie (Matthews et Sumner, 2015). D'autres propositions de lois similaires ont été approuvées plus tard dans les États du Michigan et de l'Ohio (Mench et al., 2011; Doyon et al., 2016).

Pendant ce temps au Canada, aucune loi n'est encore adoptée pour interdire ce type de système de production. Les producteurs d'œufs subissent tout de même des pressions constantes en ce qui concerne le logement des poules. En effet, ces pressions intenses sont de natures diverses telles que des lois, des politiques d'achat interdisant le logement des poules dans les cages en batterie ou d'autres favorisant des œufs de poules élevées en liberté (Petrik et al., 2015). La Fédération des Producteurs d'Œufs du Québec (FPOQ) a donc décidé d'anticiper ces directives et, de façon proactive, a éliminé progressivement les cages conventionnelles avec de nouveaux systèmes alternatifs. Le 5 février 2016, les Producteurs d'Œufs du Canada (POC) ont annoncé officiellement l'interdiction des cages conventionnelles d'ici 2036.

Pour la filière ovocole l'environnement, la responsabilité sociétale et le bien-être animal sont au cœur des priorités. Au Canada, la plupart des producteurs doivent donc s'orienter vers de nouveaux logements dits alternatifs afin de transformer leurs pondeurs conventionnels en système favorisant davantage le bien-être, en particulier les comportements naturels des poules pondeuses.

Pour mener à bien cette transition, les producteurs ont le choix entre : le maintien de l'élevage des pondeuses en cage à condition d'enrichir le milieu à l'aide du système dit aménagé (ou cage enrichie qui comprend notamment plus d'espace, un nichoir et un perchoir) ou de se tourner vers un système d'élevage en liberté (plus communément appelé système de volière).

Peu de temps après l'annonce officielle des POC en 2016, de nombreuses entreprises alimentaires ont fait part de leur intérêt pour s'engager vers des œufs issus de poules élevées en liberté avec, pour la plupart, une échéance en 2025. Ces engagements ont également été partagés par de grands fabricants d'aliments tels que Kraft Foods, ou le détaillant national Costco (Freelancer, 2016). Les secteurs de la restauration et de l'hôtellerie ne sont pas à exclure, établissant rapidement des directives et annonçant des échéanciers ambitieux pour cette transition vers de nouvelles normes de logements en poules pondeuses (Matthews et Sumner, 2015). Plusieurs chaînes de restaurants ont annoncé vouloir s'approvisionner exclusivement en œufs de poules élevées en liberté. C'est le cas notamment du géant de la restauration rapide, McDonald's qui s'engage à effectuer un changement radical vers des œufs sans cage pour ses 16 000 restaurants répartis aux États-Unis et au Canada d'ici 2025. Cet objectif 2025 est également repris par les grandes chaînes Tim Horton's et Burger King, s'engageant à ne servir que des œufs sans cage partout au Canada, aux États-Unis et au Mexique. En plus des chaînes de restauration s'ajoutent aussi à cette transition du 100 % sans cage d'ici 2025 plusieurs membres de la division du Conseil canadien du commerce de détail. Cet organisme regroupe 90 % des entreprises d'épicerie du Canada, parmi lesquelles apparaissent plusieurs grandes compagnies telles que Loblaw, Métro, Sobeys ou encore Walmart Canada (Freelancer, 2016). Les compagnies Hellmann's et Unilever, qui utilisent près de 331 millions d'œufs par an dans la fabrication de leurs produits transformés, ont annoncé fièrement en janvier 2017 lors de leur campagne publicitaire l'approvisionnement à 100% en œufs issus de poules élevées en liberté aux États-Unis; objectif atteint trois ans plus tôt que prévu (Unilever USA, 2017). Cet engagement d'approvisionnement en œufs de poules élevées en liberté se diffuse à l'échelle mondiale.

En Europe, les grandes enseignes de distribution promettent elles aussi la fin de l'élevage des poules en batterie au profit du plein air ou du biologique d'ici 2025. L'enseigne Monoprix ne vend plus d'œufs de poules élevées en cage depuis 2016, Carrefour s'y engage pour la totalité de son rayon d'ici 2025, tout comme d'autres concurrents comme Leclerc, Intermarché et les supermarchés Match. L'enseigne Lidl, quant à elle, s'engage partout dans le monde pour 2025 tandis que pour Auchan la promesse est fixée pour 2022 (Astier, 2017). La restauration rapide a également pris les devants en Europe. Le géant Taco Bell, chaîne de restauration rapide d'inspiration mexicaine, a déclaré en 2021 l'arrêt de l'utilisation des cages conventionnelles pour les poules pondeuses au sein de sa chaîne d'approvisionnement européenne. Taco Bell s'est également engagé pour 2025 à s'approvisionner uniquement en œufs sans cage dans plus de 140 restaurants à travers l'Europe (The Poultry Site, août 2021).

En Amérique du Sud, le plus grand producteur d'œufs de la région, Mantiqueira, entreprise possédant 10,5 millions de poules pondeuses a annoncé en 2021 l'arrêt total de construction de nouvelles installations en cage. En revanche, la production sans cage n'est pas encore la norme de référence pour les marchés émergents. En effet, la production en logement conventionnel semble augmenter dans certains pays tels que l'Inde, l'Indonésie ou encore l'Afrique du Sud (Epp, 2021). Dans ces régions du monde, le système en cage prédomine en raison d'une moindre priorité accordée au bien-être animal et d'un manque de connaissances techniques et d'accompagnement pour aider les producteurs à basculer vers des systèmes hors-cage. Ce changement s'attend à être de longue haleine pour arriver sur le même pied d'égalité à l'échelle planétaire.

1.3 La production d'œufs au cœur des préoccupations face à ce changement

Selon l'enquête menée en Belgique par Tuytens et al. (2011), les producteurs d'œufs ont un rôle capital à jouer pour garantir le succès de cette transition. En effet, ce sont eux les principaux intervenants qui doivent appliquer les changements dans leur pratique d'élevage à l'égard de la modification de la réglementation et en assumer les conséquences. Cette enquête révèle que l'opinion des producteurs d'œufs est en parfaite adéquation avec celle des experts du bien-être animal selon laquelle « tous les systèmes de logements alternatifs sont potentiellement supérieurs aux cages conventionnelles, mais des avantages et des inconvénients sont à prendre en compte pour chaque type de logement ». Selon Hamann (2015), des compromis sont toutefois nécessaires pour répondre aux impératifs économiques engendrés par la production massive d'œufs.

Cette volonté ou engagement à vouloir offrir des œufs de poules en liberté pour répondre à la demande des consommateurs a un coût et se répercute dans la plupart du temps sur le prix final du produit. En effet, toutes les modifications et mises aux normes dans le système de production des pondeuses génèrent des coûts additionnels non négligeables pour les producteurs d'œufs. Selon Matthews et Sumner (2015), les coûts de production des œufs en système volière sont beaucoup plus élevés que ceux en systèmes de cages enrichies et conventionnelles. Ces auteurs ont précisé que comparativement au coût de production en logement conventionnel, le coût total moyen était de 36 % de plus en volière et 13 % en cages enrichies. Doyon et al., (2016) ont annoncé l'importance de mesurer l'acceptabilité sociale et l'évaluation par les consommateurs de ces systèmes de logements alternatifs. Au Canada, dans le commerce, le consommateur doit s'attendre à payer deux fois plus chère la douzaine d'œufs de poules en liberté comparativement à une douzaine d'œufs conventionnelle (Smart, 2016). Toute la complexité à l'heure actuelle est de savoir si les consommateurs sont prêts à déboursier plus pour une douzaine d'œufs dont les installations ont été modifiées en faveur du bien-être. L'enquête menée par Doyon et al., en 2016 au sein de la population canadienne (québécoise plus précisément) a révélé que les consommateurs ont une évaluation positive des œufs produits dans un système de logement enrichi et sont même prêts à payer une prime pour des œufs sans cage. Plusieurs auteurs ont démontré cette même perception du consommateur à l'échelle mondiale (Rondoni et al., 2020; Yang et al., 2021).

1.4 Bilan actuel de cette évolution de système de production d'œufs

Pour la production d'œufs de consommation, l'abandon progressif de la cage conventionnelle est un excellent exemple des changements importants apparus dans le secteur agricole en réponse à l'évolution des demandes sociétales. Cet enjeu porté par des objectifs durables a considérablement bouleversé l'industrie des œufs qui se doit d'évoluer et surtout de réorganiser son approvisionnement (Gautron et al., 2021).

Aux États-Unis, même si cette phase de transition vers des logements alternatifs est bien engagée, elle n'est pas de tout repos pour l'ensemble de la filière ovicole. Le secteur agroalimentaire fait face à de nombreux leviers engendrant de lourds investissements. Par conséquent, la réussite dans les engagements à tenir, notamment dans les échéances annoncées, n'est pas atteinte par toutes les entreprises du secteur agroalimentaire.

En 2021, selon Compassion In World Farming certaines entreprises aux États-Unis comme Aramark, Black Bear Diner, Delaware North ou encore Elior Group n'ont pas su respecter les délais fixés dans leurs engagements (Rapport EggTrack, 2021).

Pour les États-Unis le rythme de cette transition vers les systèmes alternatifs doit s'accélérer si l'échéance 2025 fixée par la plupart des entreprises soit respectée. Malgré une croissance continue du nombre de poules logées dans des systèmes alternatifs (28,6% en août 2021 contre 14 % en 2016 et 4 % en 2010), 66 % des poules américaines doivent être en production sans cage d'ici 2026 pour atteindre les prochaines prévisions (United Egg Producers, 2022). En 2021, les États de l'Utah et du Nevada ont adopté des lois interdisant l'utilisation des cages conventionnelles pour l'élevage des poules pondeuses, portant à neuf le nombre d'États ayant adopté des lois similaires sur le bien-être et les conditions de logement des poules. Plusieurs d'entre eux interdisent, en plus de la production, la vente d'œufs issus de systèmes en cage. Cette conformité est en vigueur depuis le 1^{er} janvier 2022 dans les États de Californie et du Massachusetts obligeant ainsi les entreprises qui produisent ou vendent des œufs coquilles dans ces États à se mettre aux normes. Ces réglementations associées à la diminution du prix des œufs hors-cage sur le long terme ont favorisé le bon déroulement de cette transition permettant ainsi d'élargir l'accès à ces produits en les rendant plus abordables pour les consommateurs américains (Rapport EggTrack, 2021).

Au Canada, à la suite de l'annonce du plan de transition national en 2016 visant à interdire progressivement les systèmes de logements conventionnels, la proportion de poules logées en batteries continue de diminuer, tandis que le nombre de poules dans les systèmes alternatifs augmente progressivement. En 2021, la proportion de poules logées en cages conventionnelles avait diminué de 31 % par rapport à 2016 et représentait 56,5 % des poules au Canada. Le logement en cages enrichies a connu une croissance importante en 2020, et atteint environ 27 % des poules au Canada (Tableau 1). La production d'œufs issus de poules en volière se stabilise à 10,5 % des poules au Canada. Selon le rapport annuel 2021, les POC estiment que d'ici 2031, les systèmes de production en cages conventionnelles seront totalement bannis au Canada, soit cinq ans avant la date limite de 2036.

Tableau 1. Attribution des poules par méthode de production au Canada (POC, rapport annuel 2021)

Méthode de production	2021	2020	2019	2018	2017
Logement conventionnel	56,52 %	59,02 %	65,73 %	71,38 %	77,27 %
Colonie enrichie	26,91 %	24,52 %	18,18 %	14,21 %	10,73 %
Volière/en liberté	10,51 %	10,42 %	10,62 %	9,17 %	7,89 %
Biologique	4,87 %	4,85 %	4,41 %	4,18 %	3,22 %
Libre parcours	1,20 %	1,19 %	1,06 %	1,05 %	0,89 %

Source : Offices de producteurs

¹ Les données pour 2017 à 2020 représentent décembre; valeur en fin d'année. Les données pour 2021 représentent juillet; valeur en mi-année.

En 2019, à l'échelle provinciale, le Québec était en avance sur l'Ontario, l'Alberta, la Colombie-Britannique ainsi que sur la moyenne canadienne concernant la transition des logements conventionnels aux logements alternatifs (MAPAQ, 2019). En effet, le Québec a su se démarquer dans le remplacement de ses installations conventionnelles. Dans leur programme de transition de 2019, la FPOQ ont constaté que les logements enrichis étaient le choix privilégié des producteurs d'œufs dans le remplacement des cages conventionnelles en 2022 (FPOQ, rapport annuel 21-22).

Le taux de transition en 2020 a été légèrement plus rapide que celui anticipé, soit 40 % comparativement à 35 % initialement estimé (FPOQ, rapport annuel 20-21). En 2021, la proportion de poules logées en cages conventionnelles continuait de baisser et se situait à 42 %, alors que la proportion de pondeuses logées dans des systèmes enrichis s'élevait à 33 %. Quant aux autres systèmes de logement en liberté (parquets, volières, biologiques), ils représentaient 25% (Figure 2). L'ensemble de ces systèmes de logement sont décrits dans la section suivante.

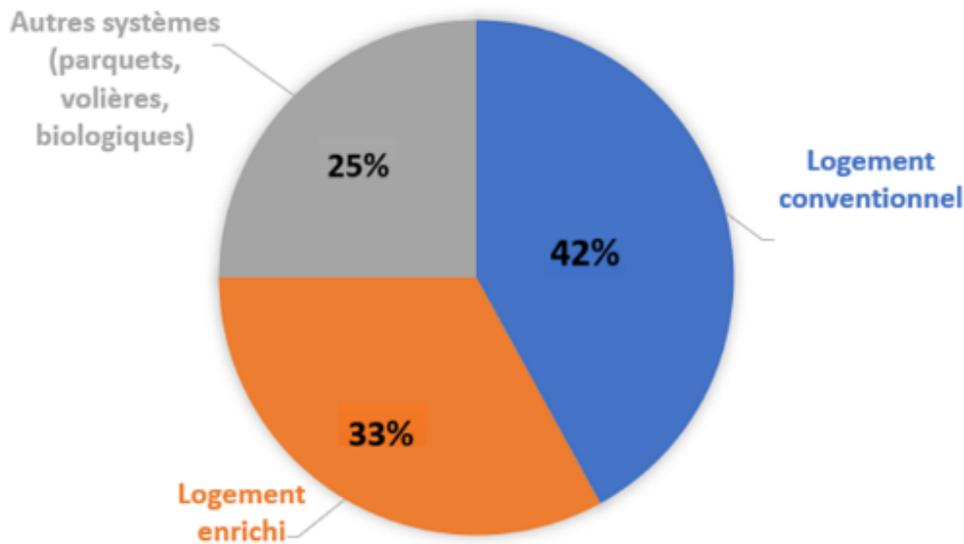


Figure 2. Type de logement utilisé au Québec en 2021 (FPOQ, rapport annuel 21-22)

Plus récemment, l'industrie des œufs se heurte à un nouveau défi, celui portant sur la compréhension, la réceptivité ou encore la perception du consommateur (Rondoni et al., 2020; Ochs et al., 2018, 2019). La communication doit donc être renforcée auprès de la population afin de mieux sensibiliser et surtout informer sur les différences entre les nouvelles méthodes de production (Rondoni et al., 2020), mais également sur le vocabulaire adéquat à utiliser pour qualifier au mieux ces types de logements alternatifs (Doyon et al., 2016).

Le système en cages enrichies, qui est une version améliorée de la cage conventionnelle, n'est pas acceptable aux yeux du consommateur. En 2016, l'étude de Doyon et al., a montré que le consommateur québécois a une stigmatisation négative liée au mot « cage ». De même pour le système volière dit « en liberté » qui n'a aucune connotation à un excès libre à l'extérieur contrairement à ce que pourrait croire le consommateur (ICI Radio-Canada, 2022).

Pour Doyon et al. (2016), le mot en « C » serait à proscrire du langage usuel pour désigner ces nouveaux logements des poules. Pour la FPOQ, c'est désormais le mot « logement » qui prône dans les communiqués aussi bien pour parler du conventionnel que de l'enrichi (ICI Radio-Canada, 2022).

2 Les systèmes de logement en production ovocole au Canada

2.1 Les poulettes en élevage : 0- 19 semaines d'âge

Tout juste éclos, les poussins âgés d'un jour provenant des couvoirs grandissent dans un premier temps dans des éleveuses jusqu'à l'âge de 19 semaines, période durant laquelle les futures poulettes se développent et deviennent aptes à pondre. Par la suite, désormais considérées comme des poules pondeuses, elles sont transférées à l'âge de 20 semaines dans des pondoirs où elles produiront pendant une année des œufs de consommation (MAPAQ, 2018). Le producteur de poulettes est libre de choisir avec ou sans cage à condition de respecter les exigences et les recommandations du Code de pratiques pour les soins et manipulations des poulettes et pondeuses. Ce Code est une ligne directrice recommandant des normes acceptables de soins aux animaux afin de trouver un juste équilibre entre les besoins des animaux en termes de bien-être et les capacités des producteurs (Conseil National pour les Soins aux Animaux d'Élevage (CNSAE), 2017). Tous les systèmes de logement pour poulettes présentent des avantages et des inconvénients en termes de bien-être.

Compte tenu de la transition vers des systèmes alternatifs (logement enrichi, volière, libre parcours) pour les poules pondeuses, les éleveurs de poulettes du Québec doivent également revoir et adapter la gestion de leurs élevages en fonction de celui des producteurs d'œufs (MAPAQ, 2018). Ces systèmes mis en place en aval influent sur le mode d'élevage des poulettes. L'éleveur de poulettes doit s'assurer que la régie de son élevage soit coordonnée avec le mode de production des pondeuses et les critères de son acheteur. À titre d'exemple, selon le MAPAQ, des poulettes logées en liberté sur parquet pendant leur phase d'élevage s'adapteraient davantage, après transfert en pondoir, à un système de logement sur parquet plutôt qu'à un logement conventionnel. De même pour les volières, les poulettes destinées à des systèmes de logement en volière durant leur phase de ponte doivent être préalablement élevées dans des systèmes possédant des caractéristiques similaires afin de faciliter leur transfert en pondoir et assurer une meilleure adaptabilité à leur nouvel environnement (CNSAE, 2017; Du et al., 2022).

Pour Tauson (2005), le transfert de poulettes élevées en cages suivi de système sans cage est à proscrire car les oiseaux auront de la difficulté à retrouver dans leur nouvel environnement l'accessibilité à la nourriture et à l'eau menant à la déshydratation et à l'émaciation des oiseaux. À cela s'ajoute une tendance à pondre au sol et une exposition excessive à des pathogènes contre lesquels le système immunitaire de ces oiseaux n'a pas développé d'anticorps. D'après Janczak et Riber (2015), il existe un consensus selon lequel les poulettes devraient être élevées dans un environnement semblable à celui dans lequel elles seront transférées à l'âge adulte. Ainsi, la phase d'élevage des poulettes est une étape cruciale dans le système de production et ne doit aucunement être négligée. Une bonne conduite d'élevage durant leurs premières semaines de vie assure des effets durables et notables sur plusieurs aspects notamment la santé, le bien-être et les performances des futures pondeuses (CNSAE, 2017; Du et al., 2022).

Pendant leur période d'élevage, une phase d'apprentissage est nécessaire aux jeunes oiseaux afin de mieux appréhender leur futur environnement de ponte. Un très bon exemple est celui de l'utilisation adéquate des perchoirs chez les poulettes. De nombreuses études ont souligné l'importance d'une expérience précoce avec l'utilisation des perchoirs. Les auteurs précurseurs du développement cognitif chez le poussin, ont reconnu que la période la plus propice à l'apprentissage était lors des 10 premiers jours de vie (Brown, 1964; Hess, 1964; Sanotra et al., 1995; Vestergaard et Baranyiova, 1996). Pour Workman et Andrew (1989) et Riber et al. (2007), les poussins commençaient à se percher entre 7 et 10 jours d'âge, dépendamment de la hauteur des perchoirs mis à leur disposition. Pour assurer une utilisation optimale des perchoirs à l'âge adulte, Janczak et Riber (2015) préconisaient de fournir des perchoirs en éleveuse dès leur plus jeune âge soit au plus tard à 7 jours. Selon Appleby et Duncan (1989), même si le mécanisme moteur permettant le saut sur les perchoirs est inné chez les poussins, ils doivent malgré tout apprendre à se déplacer dans un environnement à plus de 2 dimensions. Le processus de perception et de reconnaissance des perchoirs nécessite une expérience fonctionnelle pour se développer. Cet apprentissage est d'autant plus important pour les poulettes destinées à des pondoirs en système volière. L'étude de Colson et al. (2008) a démontré que la complexité de l'environnement d'élevage en système sans cage permet d'avoir des poulettes ayant une plus grande capacité à utiliser des niveaux élevés en volière, une plus grande précision dans leurs vols et leurs sauts, une mortalité plus faible des poulettes et enfin une proportion plus élevée d'œufs pondus dans des nichoirs à l'âge adulte.

D'après Gunnarsson et al. (2000), l'élevage des poulettes sans accès précoce aux perchoirs nuit aux compétences spatiales des futures pondeuses. Selon eux, des oiseaux exposés à un environnement stimulant acquièrent davantage de compétences nécessaires à un déplacement adapté dans un environnement complexe. Après la période d'élevage, l'apprentissage de l'utilisation des perchoirs s'avère plus lent voire s'atténue définitivement (Gunnarsson et al., 2000). Ce raisonnement est en accord avec celui de Faure et Bryan Jones (1982) et Appleby et al. (1983) stipulant que l'utilisation des perchoirs à l'âge adulte est influencée par l'accès aux perchoirs pendant l'élevage. L'étude de Gunnarsson et al. (2000) a montré que l'accès aux perchoirs à un jour d'âge a permis plus tard aux poulettes de 16 semaines d'âge d'accéder plus rapidement aux mangeoires situées aux étages supérieurs comparativement à celles qui avaient eu accès aux perchoirs à 8 semaines d'âge. Pour Newberry et al. (2001), malgré des années de domestication les poulettes ont conservé leur comportement anti-prédateur à savoir qu'elles sont prédisposées à se percher avec une préférence pour les perchoirs les plus hauts. En revanche, ce n'est pas ce qu'ont recensé Hester et al. (2014) lors de leur étude sur l'effet de la disponibilité des perchoirs pendant l'élevage et la ponte sur le comportement des poules de Livourne blanche en cage. Les auteurs ont démontré que fournir des perchoirs dans des cages aux Livournes blanches pendant la phase d'élevage des poulettes ne facilitait pas leur utilisation ultérieure à l'âge adulte. Ils exposaient même que tout au long du cycle de ponte, les poules sans expérience préalable avec les perchoirs au stade d'élevage ont utilisé davantage les perchoirs à l'âge adulte comparativement à leurs homologues expérimentées. Ils ont conclu que l'ajout de perchoirs dans les cages des poulettes n'encourageait pas l'action de se percher chez les poules logées en cage durant le cycle de ponte. Pour Craig et al. (1988) et Tůmová et al. (2009), il a été établi que d'importantes interactions entre le génotype des oiseaux et leur environnement se produisaient, pouvant influencer le bien-être des animaux en termes de comportement et de productivité. Quel que soit le système choisi, la conception du logement, la régie et les conditions d'élevage ainsi que le choix des souches génétiques sont des facteurs influant tant sur le bien-être que sur les performances des poules.

Pour Janczak et Riber (2015) le nombre d'études scientifiques concernant l'impact du transfert des poulettes vers le poulailler sur les comportements, les performances et le bien-être des oiseaux en fonction du logement et de la régie présente en élevage reste encore très limité.

Plusieurs auteurs s'accordent à dire que quel que soit l'environnement d'élevage des poulettes (parquet ou en cage), leurs performances zootechniques telles que la production d'œufs, le gain de poids corporel et la conversion alimentaire sont généralement semblables après leur entrée en pondoir (Craig et al., 1988; Jin et Craig, 1988; Anderson et Adams, 1994; Roll et al., 2008). Certaines études ont révélé des différences significatives concernant la qualité des œufs (fêlés, sales) et celle de la coquille (épaisseur, masse) qui seraient supérieures lorsque les poulettes sont logées en cages comparativement à celles logées sur parquet (Anderson et Adams, 1994; Roll et al., 2008, 2009). En revanche, le système d'élevage des poulettes n'a exercé aucune influence sur le poids de l'œuf ni sur la qualité interne telle que le jaune ou l'unité Haugh (Roll et al., 2009).

Le taux de mortalité semblait être similaire entre les systèmes d'élevage (Jin et Craig, 1988; Roll et al., 2008) quoique plus élevé chez les poules logées sur parquet selon l'étude de Weitzenburger et al. (2005). Toutefois, pour des poulettes logées sur parquet, le contact direct avec la litière contenant des microorganismes potentiellement pathogènes stimule davantage le développement immunitaire des oiseaux et améliore ainsi la réponse immunitaire contre les maladies infectieuses ou parasitaires (Walstra, 2010).

2.2 Les poules pondeuses en pondoir : 20-72 semaines d'âge

2.2.1 Logement conventionnel (anciennement appelé cage en batterie)

Bien que le logement en cage conventionnelle (aussi appelé « batterie ») prédomine encore à travers le Canada, ce système de production tend à s'essouffler à mesure que la transition pour les logements alternatifs progresse. En effet, en 2021 ce ne sont plus que 42 % des poules du Québec et 56,5 % des poules du Canada qui sont logées en système conventionnel (FPOQ, 2021; POC, 2021). Ce type de logement intensif repose sur un système de cages très minimalistes faites entièrement de grillage avec un plancher incliné (pente inférieure à 14 %) permettant aux œufs fraîchement pondus de se diriger hors de la cage et de venir se placer sur une courroie à œufs pour ensuite être collectés plus facilement. Ces cages peuvent s'empiler les unes sur les autres et ainsi être disposées sur plusieurs niveaux (Figure 3). Les cages peuvent avoir des dimensions différentes (profondeurs, largeurs et hauteurs) suivant le fabricant d'équipements.

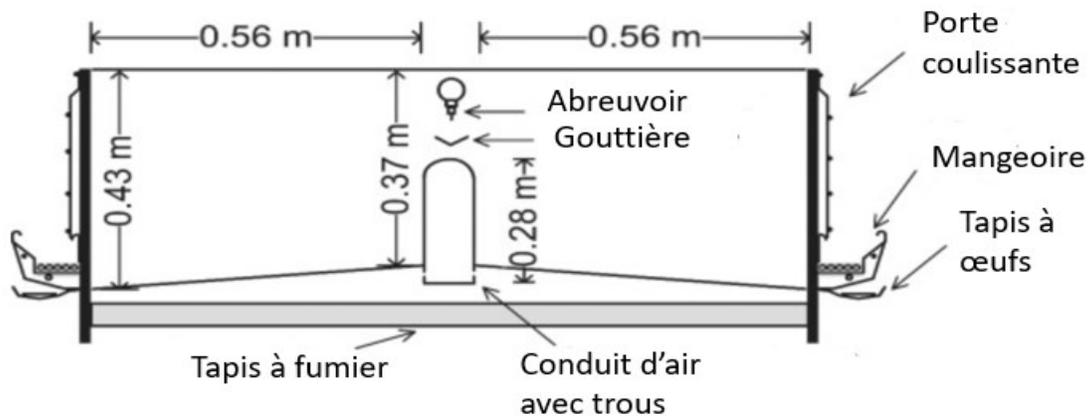


Figure 3. Poules pondeuses en cages conventionnelles avec représentation d'une vue en coupe transversale des cages dos à dos

(en haut : © 2018 VW Pics/UIIG via Getty Images; en bas : traduit et adapté par Zhao et al., 2015)

Chaque cage peut loger entre quatre à huit poules à condition d'allouer un espace vital d'au moins 432 cm^2 (moins que la superficie d'une feuille de papier standard) pour les poules blanches et 484 cm^2 pour les poules brunes dans le cas des installations datant d'avant le 1^{er} juillet 2016 (CNSAE, 2017). Ce Code de pratique (CNSAE, 2017) ajoute également que, pour des poules n'ayant pas été retirées des cages conventionnelles au 1^{er} juillet 2031, elles devront à compter de cette date bénéficier pour chacune d'entre elles d'un espace minimal de $580,6 \text{ cm}^2$.

La nourriture est généralement distribuée à heure fixe grâce à un système de trémie automatisé situé à l'extérieur de la cage. De plus, les poules doivent avoir accès à l'eau *ad libitum*.

Pour se faire, l'eau est acheminée à l'intérieur de la cage par l'intermédiaire d'abreuvoirs. Les types d'abreuvoirs sont pour la plupart des abreuvoirs dits « à tétines ». Pour ce qui est de la gestion du fumier, il s'accumule sous les logements et est ramassé automatiquement par l'intermédiaire d'un tapis situé sous chaque niveau des cages. Les poules ne disposent donc d'aucun équipement qui puisse répondre à leurs comportements naturels (battre des ailes, s'étirer, faire des bains de poussière, nicher).

2.2.2 Logement enrichi (ou aménagé)

Comme mentionné précédemment, en 2021, 33 % des poules pondeuses au Québec étaient dans des pondoirs en logement aménagé (FPOQ, rapport annuel 21-22). Le logement enrichi est, pour ainsi dire, une version améliorée du système conventionnel offrant les ressources spécifiques pour exprimer un plus large éventail de comportements naturels des pondeuses. Ce type de cage aménagée conserve néanmoins les avantages des cages classiques sur le plan sanitaire. En revanche, les aménagements réalisés à l'intérieur de ces cages offrent aux poules l'occasion de bouger, de se percher, de nicher et même d'étendre leurs ailes. Dans une moindre mesure, ce logement alternatif permet également le picorage et les bains de poussière.

Dans ce système, l'espace vital alloué par poule est plus grand que celui en logement conventionnel. Chaque logement enrichi peut loger de dix à cent poules allouant ainsi un espace de vie par poule de 750 cm² au total (contre 432 cm² en conventionnel) dont 600 cm² d'espace libre sans les boîtes de nid. Les nids sont des espaces délimités sur au moins trois côtés par des rideaux ou des boîtes aux parois pleines. Ils peuvent être individuels, souvent préférés par les poules, ou au contraire collectifs fournissant ainsi une aire privée et ombragée propice à la ponte (Figure 4 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). La compétition pour l'espace de nid peut apparaître au cours du cycle de ponte et peut être contrôlée en fonction du programme lumineux, des souches d'oiseaux et de la taille des groupes. Chaque poule doit cependant disposer d'un espace minimal de nid de 65 cm². Aucun abreuvoir, mangeoire ni perchoir ne doit se trouver dans l'aire de nidification. L'aire des nids et l'espace utilisable à la mangeoire doivent être espacés d'au moins 15,2 cm. De plus, le plancher au sein des nids doit être couvert d'une surface qui favorise la nidification et limite l'apparition d'éventuelles blessures. Une hauteur d'au moins 45 cm est exigée entre le plancher et le plafond de chaque niveau. Les poules ont également accès aux

perchoirs qui stimulent l'activité physique et permettent aux oiseaux de se percher au-dessus du sol la nuit optimisant ainsi l'espace vertical.

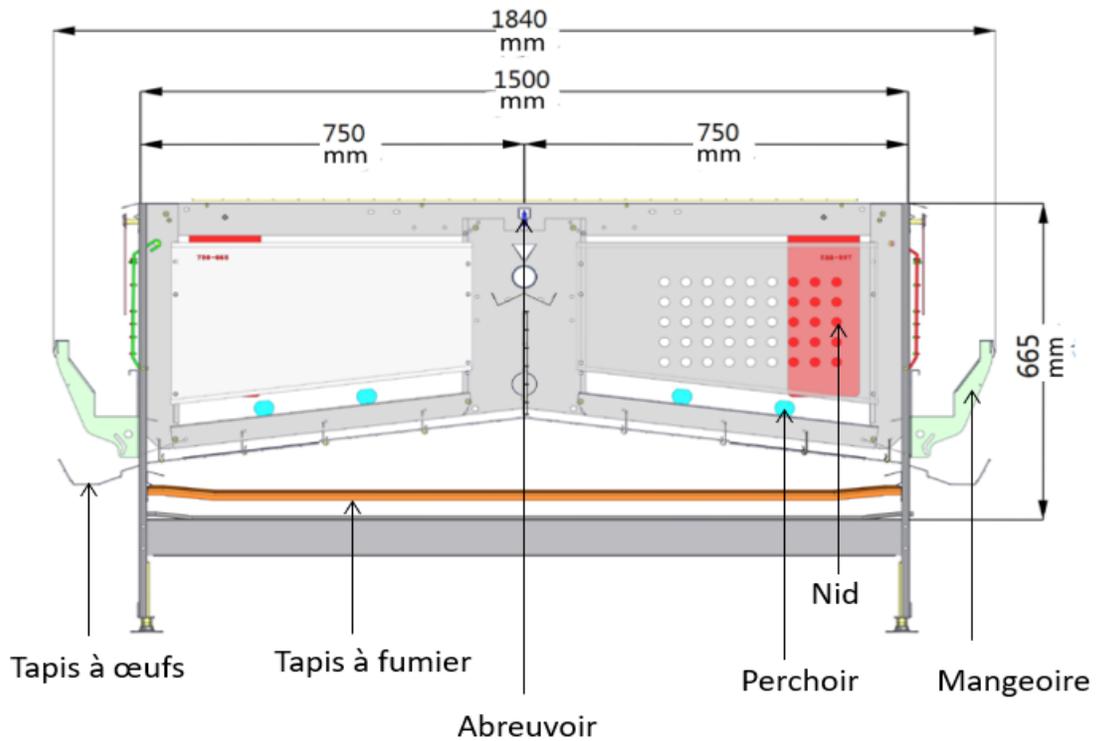


Figure 4. Poules pondeuses en logement enrichi avec représentation d'une vue en coupe transversale des cages dos à dos

(en haut : © 2018 par Éloïse Denis; en bas : adapté par Hellmann Poultry Equipment)

La longueur des perchoirs est définie de telle sorte qu'ils ne doivent pas empiéter dans l'espace de nidification. Leur positionnement dans la cage doit permettre de limiter les contaminations et salissures des mangeoires et abreuvoirs par les fientes. Chaque oiseau dispose d'un espace minimal de perchoir de 15 cm de longueur linéaire. La forme et les matériaux utilisés sont conçus de manière à réduire les blessures des poules, notamment pour leurs pattes. De plus, le diamètre des perchoirs doit être d'au moins 1,9 cm permettant aux oiseaux d'enrouler correctement leurs orteils autour du perchoir sans endommager leurs griffes et de se maintenir en équilibre dans une posture détendue. La disposition des mangeoires, des abreuvoirs, ainsi que la gestion du fumier reposent sur le même principe de conduite que les systèmes de cages conventionnelles (CNSAE, 2017).

2.2.3 Logement en liberté sans accès extérieur : parquets et volières

Dès 1992, Tanaka et Hurnik démontraient clairement à travers leurs résultats que les volières offraient une plus grande liberté de mouvement et de meilleures opportunités d'expression de confort comparativement aux logements conventionnels. Ces systèmes de logement dits en liberté peuvent être de deux types : le parquet (communément appelé volière à un niveau) et la volière. Ces deux systèmes sans cage offrent aux poules la possibilité de se déplacer librement dans le pondoir sans accès à l'extérieur (Figure 5). En 2021, le logement en liberté (tous types confondus) concernait 25 % des poules pondeuses du Québec (FPOQ, rapport annuel 21-22). En 2019, les volières représentaient à elles seules 11 % de ces logements à l'échelle provinciale (La Terre de Chez Nous, 2021).

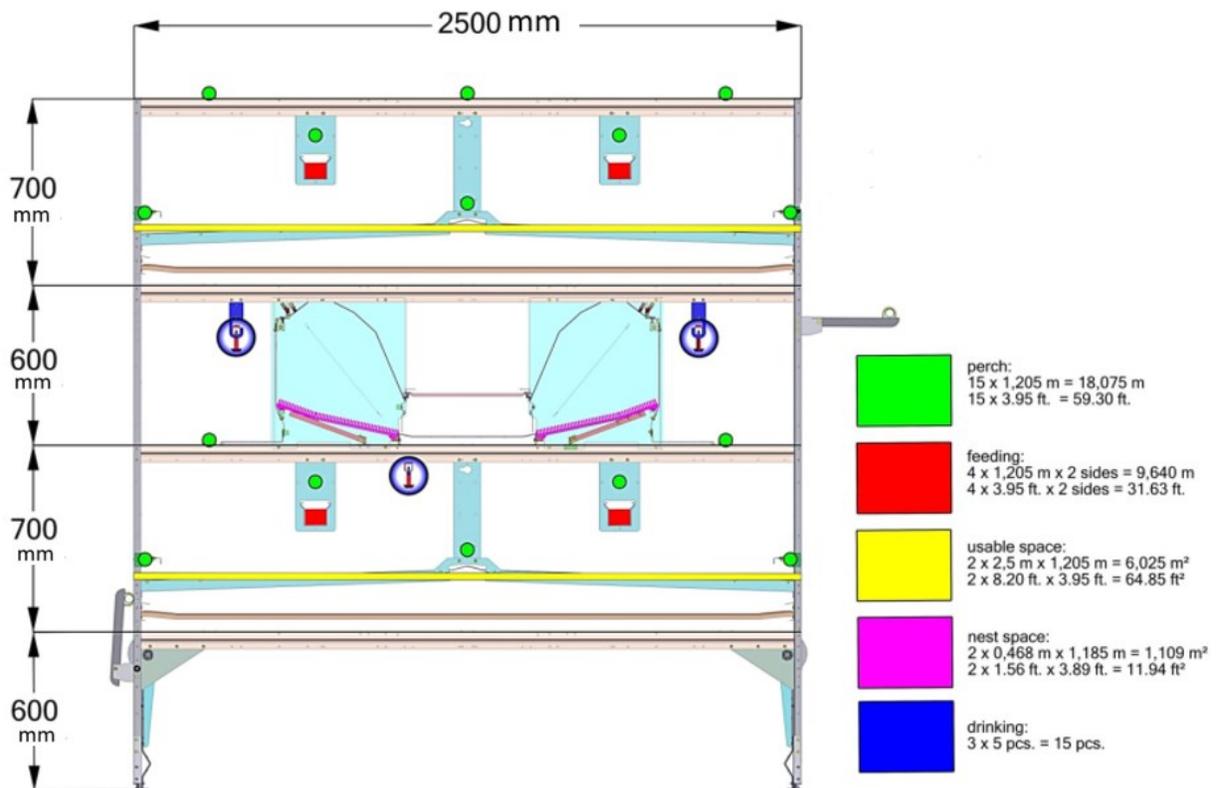


Figure 5. Poules pondeuses en volière à plusieurs niveaux avec représentation d'une vue en coupe transversale

(en haut : © Komptech; en bas : © Hellmann Poultry Equipment)

Ils diffèrent cependant par leur superficie allouée aux poules. Les poules logées sur parquet ont accès à toute la superficie du sol quant aux poules en volière, elles ont accès à des plateformes à plusieurs niveaux. Quelle que soit la constitution du plancher en volière (recouvert à 100 % de litière ou avec une combinaison de grillage, lattes et litière), le nombre de niveaux maximal est de quatre étages et ils doivent offrir un espace d'au moins 929 cm² par poule (1,5 fois la superficie d'une feuille de papier standard). Le système à un niveau (parquet) avec un plancher recouvert de litière, offre quant à lui un plus grand espace pour les oiseaux pouvant atteindre au moins 1 900 cm². Le nombre de poules logées dans ces deux types de systèmes varient d'une centaine à plusieurs milliers d'oiseaux en fonction de la taille du poulailler. À l'heure actuelle, la taille des troupeaux et les densités de peuplement dans les systèmes sans cage sont difficiles à estimer (CNSAE, 2017). Pour empêcher un regroupement trop important d'oiseaux et éviter l'entassement, les volières sont divisées en section par plusieurs couloirs permettant ainsi de distinguer l'avant de l'arrière du bâtiment. De ce fait, les poules peuvent naviguer d'un couloir à un autre tout en restant dans une même section. Que ce soient les parquets ou les volières, ces deux systèmes suivent les mêmes exigences de base que le logement enrichi en ce qui concerne l'accès aux nids et aux perchoirs. Cependant, l'aire de nidification est légèrement plus grande et doit être d'au moins 83,2 cm² par poule. Pour les perchoirs situés en hauteur, ils ne doivent pas être à plus de 1 m du sol ou du perchoir adjacent. De plus, une distance d'au moins 19 cm les séparent des murs et du plafond, des perchoirs superposés à la verticale ou des autres structures. Dans le cas contraire, ils doivent être distancés d'au moins 30 cm horizontalement permettant ainsi aux oiseaux de se percher simultanément (CNSAE, 2017).

La présence de litière dans ce type de logement favorise les expressions de bain de poussière, de picorage et de grattage qui sont considérées comme de véritables besoins comportementaux pour les poules. Elles doivent donc y avoir accès en tout temps. Pour les parquets, au moins 15 % de l'espace utilisable doit être recouvert de litière tandis qu'un minimum de 33 % est exigé pour les volières. Bien que cet accès à la litière contribue au bien-être des poules et à l'expression de comportements naturels, il ne reste tout de même pas sans risque.

Dans les élevages commerciaux, la litière est principalement constituée de fientes des oiseaux et de copeaux de bois servant au départ de substrat ce qui peut provoquer par la suite des problèmes de santé au niveau des pattes. De plus, la qualité de l'air des poulaillers est altérée par l'activité exploratoire et physique des oiseaux sur la litière. L'air se concentre alors en bioaérosols (particules en suspension telles que des gaz, poussières ou microorganismes) engendrant des troubles respiratoires potentiels aussi bien pour les poules que pour les travailleurs (David et al., 2015; Wan et al., 2021). Ainsi, la maîtrise des facteurs d'ambiance tels que la ventilation, la température ou l'humidité contribue à la qualité de l'air et assure une bonne gestion de l'environnement des poulaillers. Des tapis situés à chaque niveau des volières permettent de ramasser les fientes et d'éviter que les oiseaux présents aux étages inférieurs ne soient souillés. Afin de limiter la ponte au sol, phénomène majoritairement rencontré dans ces types de logement, les producteurs doivent, dès les premiers jours en pondoirs, habituer les poules à se diriger vers les aires de nidification en fin de journée. L'environnement riche et complexe qu'offrent les volières nécessite un certain temps d'apprentissage et d'adaptation pour les oiseaux et engendre des coûts importants (Matthews et Sumner, 2015). Pour pérenniser cet apprentissage en pondoir, les producteurs canadiens préfèrent élever, dans la majorité des cas, eux-mêmes leurs poulettes (Van Staaveren et al., 2018).

2.2.4 Logement en liberté avec accès extérieur : libre parcours

Ce type de logement est moins répandu au Québec. Il est souvent utilisé sous régie biologique. À la différence des volières, le libre parcours offre quant à lui un accès à l'extérieur (non couvert) avec habituellement de la végétation. Les parcours peuvent avoir malgré tout un abri couvert fournissant une zone ombragée dans l'aire extérieure. De plus, la surface extérieure disponible doit être clôturée pour prévenir des attaques de prédateurs au sol et des nuisibles tout en protégeant les oiseaux des conditions environnementales. Toutes les poules sont libres d'aller et venir grâce à des portes ou des trappes (d'au moins 35 cm de haut et 40 cm de large) réparties le long du mur du poulailler.

L'accès à l'extérieur est possible uniquement lorsque les conditions météorologiques sont favorables. Dans certaines situations, il peut être nécessaire de limiter l'accès à l'extérieur quand la santé ou le bien-être des poules est à risque comme l'exposition à des maladies ou à d'autres menaces. La gestion, en particulier l'entretien des parcours, suit des exigences bien particulières afin de protéger les poules tout en répondant à leurs besoins. Pour les autres exigences telles que l'agencement intérieur, l'équipement ou encore l'allocation d'espace, elles suivent les mêmes principes que celles des systèmes volières (CNSAE, 2017). Ce type de logement avec un accès en plein air permet de couvrir un grand nombre d'expressions comportementales indispensables au bien-être des poules pondeuses.

Le Tableau 2 synthétise les propos présentés dans cette section pour chaque type de logement (conventionnel, enrichi, en liberté avec ou sans accès à l'extérieur).

Tableau 2. Synthèse des différents paramètres d'élevage exigés et des critères de bien-être pour chaque logement (adapté par Lay et al., 2011)

	LOGEMENT CONVENTIONNEL	LOGEMENT ENRICHIS	LOGEMENT EN LIBERTÉ		LOGEMENT EN LIBERTÉ
Paramètres d'élevage exigés	CAGE	CAGE	PARQUET (1 niveau)	VOLIÈRE (plusieurs niveaux)	LIBRE PARCOURS
Nombre de poules logées	4-8	10-100	> 100	> 100	> 100
Espace vital (cm2/poule)	432	750	929 ou 1900	929	-
Présence d'équipements (perchoirs, nids...)	non	oui	oui	oui	oui
Présence et accès direct à la litière	non	non	oui/non*	oui	oui
Accès à l'extérieur	non	non	non	non	oui
Critères de bien-être	Niveau d'expression comportemental des poules pondeuses				
Se déplacer (voler)	+	+	++++	++++	++++
Se déplacer (marcher)	++	++/+++	++++	++++	++++
Battre des ailes	+	++	++++	++++	++++
Picorer	+	++	+++	+++	++++
Bain de poussière	+	++	++++	++++	++++
Nidification	+	+++	++++	++++	++++
Se percher	+	++	+++	+++	+++
S'étirer	++	+++	++++	++++	++++
Cannibalisme et picage des plumes	++	++/+++	++++	++++	++++
Rechercher de la nourriture	+	++	+++	+++	++++

*le revêtement au sol pouvant être des lattes

Niveau d'expression :

+ : aucun ou incomplet

++ : relativement bas

+++ : modéré

++++ : relativement haut ou complet

3 Influence des systèmes de logement sur les poules pondeuses

3.1 Effets sur les performances zootechniques

3.1.1 La production d'œufs (ou taux de ponte)

Dans les élevages commerciaux, le taux de ponte peut se calculer soit en tenant compte du nombre initial de poules rentrées en pondoir, dans ce cas la production d'œufs est exprimée en « hen-housed egg production », soit en fonction du nombre réel (quotidien) de poules vivantes en production pour l'expression « hen-day egg production ». Compte tenu de l'utilisation minoritaire de « hen-housed egg production » en élevage avicole, cette expression ne sera pas prise en considération dans la suite de cette section.

Un grand nombre de chercheurs ont étudié ce paramètre dans différents systèmes d'élevage. Plusieurs d'entre eux ont conclu que les performances de ponte étaient supérieures en logement conventionnel comparativement aux autres systèmes (Tanaka et Hurnik, 1992; Tauson et al. 1999; Hetland et al., 2004; Elson et Croxall, 2006; Englmaierová et al., 2014). Par exemple, Tanaka et Hurnik (1992) démontraient qu'après 31 semaines d'âge, le taux de ponte en volière était significativement ($P < 0,01$) inférieur à celui des cages conventionnelles. Elson et Croxall (2006) ont noté un pic de ponte supérieur pour les systèmes en cage (entre 89 et 98 %) comparativement aux systèmes sans cage (entre 72 et 82 %). Cette différence entre les deux types de logement s'est maintenue jusqu'à la fin du cycle de ponte à 70 semaines d'âge. Concernant le logement enrichi, Ketta et al. (2020) ont constaté une production d'œufs significativement plus élevée par rapport aux systèmes de parquet avec litière (80,2 % contre 74,6 %; $P \leq 0,05$).

Englmaierová et al. (2014) ont montré que la production d'œufs en systèmes conventionnels et enrichis était de 92 % contre environ 80 % pour les volières et parquets. Une telle différence pouvait s'expliquer par un ratio d'œufs pondus au sol en volière susceptible d'être détruit voire mangé par la poule et de ce fait, non pris en compte dans la production quotidienne. Cette explication a été reprise par Philippe et al. (2020) pour interpréter un taux de ponte significativement plus faible dans les volières comparativement aux logements conventionnels et enrichis. Selon eux, ce résultat s'expliquerait par une forte proportion d'œufs pondus au sol.

En effet, ces œufs de plancher (ou égarés) ne se retrouvaient pas sur le convoyeur à œufs et ont donc dû être collectés manuellement. Abrahamsson et Tauson (1998) évaluaient ce taux d'œufs égarés entre 1 à 18 % selon le lot. Cet élément est important à prendre en compte car il peut nuire à la rentabilité des élevages. Pour certains auteurs, les données sur la production d'œufs concernant les volières et la qualité de ces systèmes peuvent ne pas être exactes car les œufs fissurés ou cassés pourraient être consommés par les oiseaux, empêchant ainsi leur prise en compte lors du calcul du taux de ponte (Abrahamsson et Tauson, 1998; Tauson, 2002). Selon eux, cette supposition est également valable pour les systèmes en libre parcours. Ces résultats révèlent l'importance et surtout la nécessité d'habituer les jeunes poules à pondre dans les aires de nidification prévues à cet effet.

De nombreux auteurs ont rapporté que la production d'œufs était similaire entre les logements conventionnels et enrichis (Shimmura et al., 2007; Tactacan et al., 2009; Valkonen et al., 2008; Englmaierová et al., 2014; Karcher et al., 2015; Yilmaz Dikmen et al., 2016, 2017 ; Philippe et al., 2020). Ces résultats laissent à penser que l'enrichissement des logements n'a pas d'effet négatif sur la production d'œufs lors du cycle de ponte. Dukić Stojčić et al. (2012) ont toutefois montré une détérioration des performances en particulier la réduction du taux de ponte en logement enrichi. Quant à Taylor et Hurnik (1996), Shimmura et al. (2010) et Ahammed et al. (2014) aucune différence de production n'a été observée et ce, quel que soit les systèmes de logement étudiés (volière, conventionnel, enrichi ou parquet). Pour Mostert et al. (1995), le taux de ponte en logement conventionnel était certes, supérieur à celui en libre parcours, mais semblable à celui sur parquet. Résultat en total contradiction avec celui de Yilmaz Dikmen et al. (2016) qui concluaient que la production d'œufs était plus élevée en libre parcours qu'en logements conventionnels et enrichis sans pour autant proposer d'explication à un tel résultat. Quant à Sharma et al. (2022), la production d'œufs était plus élevée en cage conventionnelle (93,7 %) et en libre parcours (87,6 %) que dans le logement enrichi (86,9 %). Le système de production n'est pas le seul facteur qui affecte la production d'œufs. En effet, maintes recherches ont révélé que d'autres paramètres ont également une incidence sur les performances de ponte comme la génétique, l'âge des oiseaux, le nombre (ou la densité) de poules en production, la nutrition et l'ambiance des bâtiments (Nimmermark et coll., 2009; Guinebretière et coll., 2012; Tuytens et coll., 2013; Bovera et coll., 2014; de Oliveira et coll., 2014; Meng et coll., 2015).

En étudiant l'influence du revêtement du sol en volière sur la production, Wan et al. (2021) ont même montré des différences intra-logements. Selon eux, le logement en lattes plastiques a amélioré les performances de ponte comparativement au logement sur litière. De 32 à 40 semaines d'âge, le taux de ponte était significativement plus élevé ($P < 0,05$) pour les oiseaux logés sur lattes plastiques ($81,69 \% \pm 8,44$) que sur litière ($71,74 \% \pm 8,81$).

Malgré de nombreuses publications à ce sujet, une incertitude subsiste toutefois concernant l'influence des systèmes de logement sur les performances de ponte. Un grand nombre d'études s'entendent à dire que le taux de ponte en logements conventionnel et enrichi est similaire et que, pour la plupart, cette production est supérieure à celle des poules en liberté. Les conditions d'ambiance au sein des différents systèmes de logement sans cage et leur association avec l'hygiène et la santé des poules pondeuses méritent d'être étudiées de manière approfondie.

3.1.2 La consommation alimentaire

L'alimentation est la part des charges la plus importante en élevage avicole (Matthews et Sumner, 2015). Dans leur expérience, les auteurs expliquaient que le coût d'alimentation par douzaine d'œufs était légèrement plus élevé en volière comparativement aux logements conventionnels et enrichis. Cette différence était principalement due à une diminution de la production d'œufs par poule en système volière. Plusieurs études ont comparé l'impact des logements alternatifs sur la consommation alimentaire des poules. Comme pour le taux de ponte, Yilmaz et al. (2016) s'accorderait à dire que la consommation alimentaire est généralement semblable entre les logements conventionnels (117,06 g) et enrichis (118,06 g). Cependant, cette observation est encore discutable et ne fait pas l'unanimité parmi les chercheurs. Plusieurs études ont indiqué une consommation alimentaire élevée chez les poules en logement enrichi comparativement à celles en conventionnel (Hetland et al., 2003, 2004; Valkonen et al., 2008, Tactacan et al., 2009; Englmaierová et al., 2014).

Selon certaines études, la consommation alimentaire est toutefois plus élevée en système sans cage (volière ou parquet) comparativement aux cages conventionnelles ou enrichies; pouvant varier entre 2 à 4 g par jour voire dépasser 10 g par jour (Taylor et Hurnik, 1996; Elson et Croxall, 2006; Shimmura et al., 2010; Englmaierová et al., 2014; Yilmaz Dikmen et al., 2016).

Pour Aerni et al. (2005) qui ont résumé dans leur revue systématique les études publiées entre 1980 et 2003 sur la productivité et la mortalité des poules pondeuses dans les volières, la consommation et la conversion alimentaire sont plus élevées chez les poules logées en volière par rapport à celles en conventionnel. Cette analyse comparative a révélé que les poules en volière consommaient 3,0 % de plus d'aliment avec une conversion alimentaire 6,7 % plus élevée comparativement aux cages conventionnelles.

L'enrichissement des logements en liberté que ce soit en termes de matériels, d'espace supplémentaire ou de dispersion des ressources alimentaires a engendré une augmentation de l'activité des oiseaux (Elson et Croxall, 2006; Yilmaz Dikmen et al., 2016), compensée par un besoin énergétique plus important. Ahammed et al. (2014) n'ont observé aucune différence significative dans la consommation alimentaire des oiseaux maintenus en cages et ceux en liberté. De même pour Singh et al. (2009) qui ont indiqué que le système de logement (conventionnel et parquet) n'a pas eu d'influence significative sur la consommation d'aliments ni sur l'efficacité alimentaire.

La consommation alimentaire se traduit aussi par une prise de poids quotidienne et influe par conséquent sur le poids corporel des poules comme l'ont montré Yilmaz Dikmen et al. (2016) où les auteurs ont observé chez des oiseaux en liberté une plus grande consommation alimentaire avec un poids vif supérieur comparativement à des poules logées en cages. Cette observation a été également constatée par Valkonen et al. (2008) qui ont rapporté que les poules avaient un poids vif plus élevé en logement enrichi lié à une consommation alimentaire plus importante. Pour Philippe et al. (2020), malgré un poids corporel de départ équivalent pour les trois systèmes (conventionnel, enrichi et volière), la prise de poids des poules associée au logement enrichi (78,7 g) et en volière (64,6 g) étaient significativement plus faible ($P < 0,001$) que celle en logement conventionnel (175,3 g). Conjointement, les apports alimentaires avaient tendance à être plus faibles pour les volières (117,8 g/jour) que pour le conventionnel (123,4 g/jour) avec un résultat intermédiaire pour le logement enrichi (119,9 g/jour; $P = 0,07$). Pour les auteurs, cette différence a conduit à une nette détérioration des performances des oiseaux.

Pour Elson et Croxall (2006) et Petrik et al. (2015), bien que la consommation soit supérieure chez les poules en liberté, il se peut que les oiseaux soient plus légers comptes tenus du niveau d'activité ou au contraire avec des poids similaires quel que soit le type de logement (Karcher et al. 2015). Sherwin et al. (2010) ont observé un poids vif semblable entre les oiseaux en cages conventionnelles (1,95 kg) et en libre parcours (1,86 kg), mais plus élevé que les poules en cages enrichies (1,80 kg) et sur parquet (1,72 kg). Selon les auteurs, le système de logement exerce une influence sur l'état physique et physiologique des poules.

La divergence de ces résultats suggère la nécessité de réaliser une recherche approfondie pour mieux comprendre comment le type de logement affecte l'apport alimentaire et surtout la répartition de l'énergie en fonction du niveau d'activité des oiseaux.

3.1.3 Le taux de mortalité

Dans la pratique, le taux de mortalité est cumulatif et exprimé en fonction des semaines d'âge des oiseaux. Beaucoup d'auteurs s'accordent à dire que le taux de mortalité dans les systèmes de logement en liberté que soit sur parquet, en volière ou en libre parcours est plus élevé comparativement à celui observé dans les systèmes en cages (Tauson et al., 1999; Elson et Croxall, 2006, Sherwin et al., 2010; Lay et al., 2011; Petrik et al., 2015; Matthews et Sumner, 2015; Karcher et al., 2015; Kajlich et al., 2016; Weeks et al., 2016; Van Staaveren et al., 2018; Fulton, 2019). Dans l'étude de Matthews et Sumner (2015), les auteurs ont relevé un taux de mortalité en volière de 13,3 % contre 5,2 % en logement enrichi et 4,8 % en conventionnel après 60 semaines de cycle de ponte. Ce résultat coïnciderait avec celui observé par Karcher et al. (2015). En effet, les auteurs ont, dans un premier temps, constaté un taux de mortalité similaire entre les trois systèmes (conventionnel, enrichi et volière) jusqu'à 34 semaines d'âge. Puis, après 35 semaines d'âge, le taux de mortalité en volière a augmenté beaucoup plus rapidement comparativement aux deux autres types de logement. À la fin du cycle de ponte (77 semaines), les auteurs ont conclu que la mortalité cumulative était 2,5 fois plus élevée dans la volière par rapport aux cages conventionnelles et enrichies. Selon eux, cette augmentation rapide de la mortalité en volière serait due à la courbe d'apprentissage de la gestion d'un nouveau système de logement et à la densité animale élevée causant le picage des plumes. Quant à Mostert et al. (1995), ils ont conclu dans leur étude que les poules logées sur parquet et en libre parcours avaient 3,5 fois plus de risques de mourir que celles vivant en logement conventionnel.

Selon plusieurs chercheurs, le cannibalisme et le picage des plumes seraient les principales causes de mortalité dans les élevages de poules pondeuses (Mostert et al., 1995; Abrahamsson et Tauson, 1998; Tauson et al., 1999; Fossum et al., 2009; Sherwin et al., 2010; Lay et al., 2011). En plus d'un taux de cannibalisme élevé (Fossum et al., 2009), les systèmes en liberté présenteraient une plus grande prévalence aux maladies bactériennes, parasitaires et virales due à un contact direct avec la litière mélangée aux fientes et donc aux microorganismes potentiellement pathogènes (Mostert et al., 1995; Abrahamsson et Tauson, 1998; Fossum et al., 2009). Pour Rodenburg et al. (2005) la mortalité dans les logements en volière était majoritairement due à des problèmes d'adaptation à l'environnement (notamment de l'étouffement). Van Staaveren et al. (2018) ont conclu par leur investigation menée sur le territoire canadien, que les causes de mortalités les plus fréquemment mentionnées par les producteurs étaient : des oiseaux coincés dans l'équipement d'hébergement (19,0 %), les maladies (16,8 %), les blessures aux pattes (15,3 %) et enfin le cannibalisme (13,9 %). La présence de prédateurs, spécifique aux systèmes en libre parcours, peut également être un facteur de risque à prendre en considération dans la mortalité des pondeuses.

À l'heure actuelle, les chercheurs ne trouvent pas de consensus en ce qui concerne le taux de mortalité. Pour Singh et al. (2009) les systèmes de logements, particulièrement les cages conventionnelles et les enclos au sol, ont eu une influence significative ($P < 0,05$) sur la mortalité. Ces auteurs ont constaté pendant le cycle de ponte de la Lohmann Blanche un taux de mortalité plus élevé en cages conventionnelles (4,32 %) comparativement aux enclos au sol (2,82 %). Yilmaz Dikmen et al. (2016) ont observé une mortalité beaucoup plus importante en logement enrichi (6,25 %) comparativement à celle en libre parcours (1,88 %). Selon eux, cette augmentation de la mortalité était principalement due à du cannibalisme cloacal. Pour Aerni et al. (2005) le taux de mortalité ainsi que celui de cannibalisme ne différaient pas de manière significative entre les cages conventionnelles et les volières. De même pour Ahammed et al. (2014) qui n'ont vu aucune différence de mortalité entre le conventionnel, le parquet et les volières. Les auteurs ont malgré tout conclu que la cause de mortalité la plus fréquemment constatée était le cannibalisme. Pour Tanaka et Hurnik (1992) le taux de mortalité dans les cages conventionnelles et la volière tout au long du cycle de ponte était de 5,1 % et 5,9 % respectivement.

En considérant exclusivement les logements en cages, des dissensus parmi les chercheurs apparaissent. En effet, les études ont démontré une mortalité élevée aussi bien en logement enrichi (Yilmaz Dikmen et al., 2016) qu'en conventionnel (Guesdon et Faure, 2004) voire aucune différence significative entre ces deux systèmes pour Tactacan et al. (2009). Des divergences persistent également intra-système comme pour le logement en volière à un niveau. Pour Heerkens et al. (2015) les oiseaux logés en parquet avec un plancher en treillis métallique présentaient une mortalité plus faible ($3,3 \% \pm 0,4$; $P= 0,003$) par rapport à des poules logées avec un plancher à lattes plastiques ($5,4 \% \pm 0,5$; $P= 0,003$). Quant à Wan et al. (2021), les auteurs n'ont observé aucune différence significative du taux de mortalité entre le système de parquet à lattes plastiques versus avec une litière au sol.

Pour plusieurs auteurs, les différentes causes de mortalité, influencées par de nombreux facteurs tels que la densité animale, rendent difficile l'évaluation de l'impact réel des systèmes sur cet indicateur de performance (Nicol et al., 2006; Tacatan et al., 2009 et Ahammed et al., 2014). En d'autres termes, ces auteurs ont démontré toute la difficulté de savoir dans quelle mesure les facteurs d'élevage ont influencé la mortalité. Le taux de mortalité continue malgré tout à être un bon indicateur de performance et surtout de bien-être. Certains auteurs ont suggéré de redoubler d'efforts afin de minimiser ce paramètre (Elson et Croxall, 2006; Nicol et al., 2006; Sherwin et al., 2010). Fossum et al. (2009) et Kaufmann-Bart et Hoop (2009) ont évoqué l'importance d'une bonne gestion du pondeur et de la mise en place de mesures préventives telles que des programmes de biosécurité et de vaccination afin d'assurer un meilleur contrôle de la mortalité. Lay et al. (2011) ont proposé d'enrichir davantage le système par le biais de matériel ou d'objets permettant ainsi de limiter le picorage des plumes et le cannibalisme.

Au travers de leur méta-analyse sur des articles publiés entre 2000 et 2020 sur la mortalité des poules pondeuses dans différents systèmes de logement intérieur, Schuck-Paim et al. (2021) ont réussi à clarifier les dissensus existants en ce qui concernent ce paramètre. Pour les auteurs, l'analyse de 6 040 élevages commerciaux soit 176 millions de poules de 16 pays ont permis de montrer clairement qu'hormis les cages conventionnelles, la mortalité diminuait progressivement à mesure que les producteurs gagnaient en expérience concernant la gestion des troupeaux en système alternatif.

Selon eux, la mortalité des troupeaux en système conventionnel avait tendance à atteindre un plateau tandis que chaque nouvelle année d'expérience acquise par le producteur dans un système volière a été associée à une baisse de 0,35 à 0,65 % de la mortalité cumulative. Schuck-Paim et al. (2021) ont déclaré qu'à mesure que les connaissances en gestion évoluaient et que la génétique était optimisée, il était inapproprié de mettre en commun des données sur la mortalité en évolution provenant d'années éloignées. Dans la littérature, de tels résultats publiés ont bouleversé le consensus sur le fait que la mortalité était intrinsèquement supérieure dans la production sans cage. Ces résultats ont démontré l'importance de tenir compte du degré de maturité des systèmes de production dans les études évaluant aussi bien la santé, le comportement que le bien-être des poules. Grâce à cette méta-analyse, les résultats ont confirmé que la mortalité devrait diminuer progressivement après la transition vers des systèmes de logement alternatifs (Schuck-Paim et al., 2021).

Le Tableau 3 synthétise l'ensemble des propos de cette sous-section en ce qui concerne l'influence du système de logement sur les performances zootechniques.

Tableau 3. Compilation des différents résultats de performances issus de la littérature pour chaque système de logement

PERFORMANCES ZOOTECHNIQUES		CC	CE	Volière		Libre parcours/Plein air	Références	
				1 niveau (parquet)	> 1 niveau			
Taux de ponte	%	93,7	86,9			87,6	Sharma et al., 2022	
		96,3	96,6		77,2		Philippe et al., 2020	
			80,2	74,6				Ketta et al., 2020
			90,5	86,9	89,4			Van Staaveren et al., 2018
		87,1	87,26			89,27		Yilmaz Dikmen et al., 2016
		87,3	90,5		86,6			Karcher et al., 2015
		91,3	92,2	79,8	71,8			Englmaierová et al., 2014
		89 - 98 (pic de ponte S 23)		72 - 82 (pic de ponte S 25)				
77 - 82 (S 70)		62 - 81 (S 70)						
Consommation alimentaire	g/jour/poule	124,8	124,4			129,8	Sharma et al., 2022	
		123,4	119,9		117,8		Philippe et al., 2020	
			106,8	110,5	112			Van Staaveren et al., 2018
		117,06	118,06			124,58		Yilmaz Dikmen et al., 2016
		105,0	107,3		107,7			Karcher et al., 2015
		121,0	137,0	136,0	131,0			Englmaierová et al., 2014
		110 et 113		122 et 124		125 et 127		Ahamed et al., 2014
		110,3		112,2				Singh et al., 2009
Taux de mortalité	%	4,7	4,95		11,75		Fulton, 2019	
			1,1	1,6	2,1			Van Staaveren et al., 2018
		1,25	6,25			1,88		Yilmaz Dikmen et al., 2016
		4,8	5,2		13,3			Matthews et Sumner, 2015
		4,7	5,1		11,5			Karcher et al., 2015
		5,1			5,9			Tanaka et Hurnik, 1992

CC : cage conventionnelle, CE : cage enrichie, V : volière, S : semaine.

3.2 Effets sur la qualité des œufs

Barbosa Filho et al. (2006) ont défini la qualité des œufs, comme étant l'ensemble des caractéristiques externes et internes qui influencent l'acceptation du produit par le marché. Les caractéristiques externes des œufs sont majoritairement liées à la qualité de la coquille telle que sa structure, sa résistance et son hygiène. Quant aux caractéristiques internes, elles concernent davantage les constituants de l'œuf (albumen, jaune) et les propriétés organoleptiques telles que la couleur, l'odeur ou encore le goût. Dans la pratique, les caractéristiques externes (épaisseur et résistance de la coquille) et internes (couleur du jaune, unité Haugh, masse de l'œuf) de la qualité des œufs sont mesurées automatiquement en laboratoire à l'aide d'un testeur d'œuf.

L'industrie des œufs accorde une grande importance à la qualité des œufs particulièrement à l'aspect des coquilles qui est essentielle à la viabilité économique. Tout problème relatif à la qualité des œufs peut engendrer un coût élevé pour l'industrie. Ainsi, il est important de comprendre et d'appréhender les facteurs affectant la qualité interne et externe des œufs (Pires et al., 2021). Selon les auteurs, les caractéristiques de ponte comme la génétique, l'âge, la nutrition, les conditions d'élevage et le logement ont une influence directe sur la qualité des œufs (Figure 6). Brand et al. (2004) et Singh et al. (2009) ont précisé également que l'amélioration de la qualité des œufs peut s'expliquer par une plus grande activité physique exercée par des poules pondeuses élevées dans des logements alternatifs comparativement à celles logées dans des systèmes de production conventionnels.

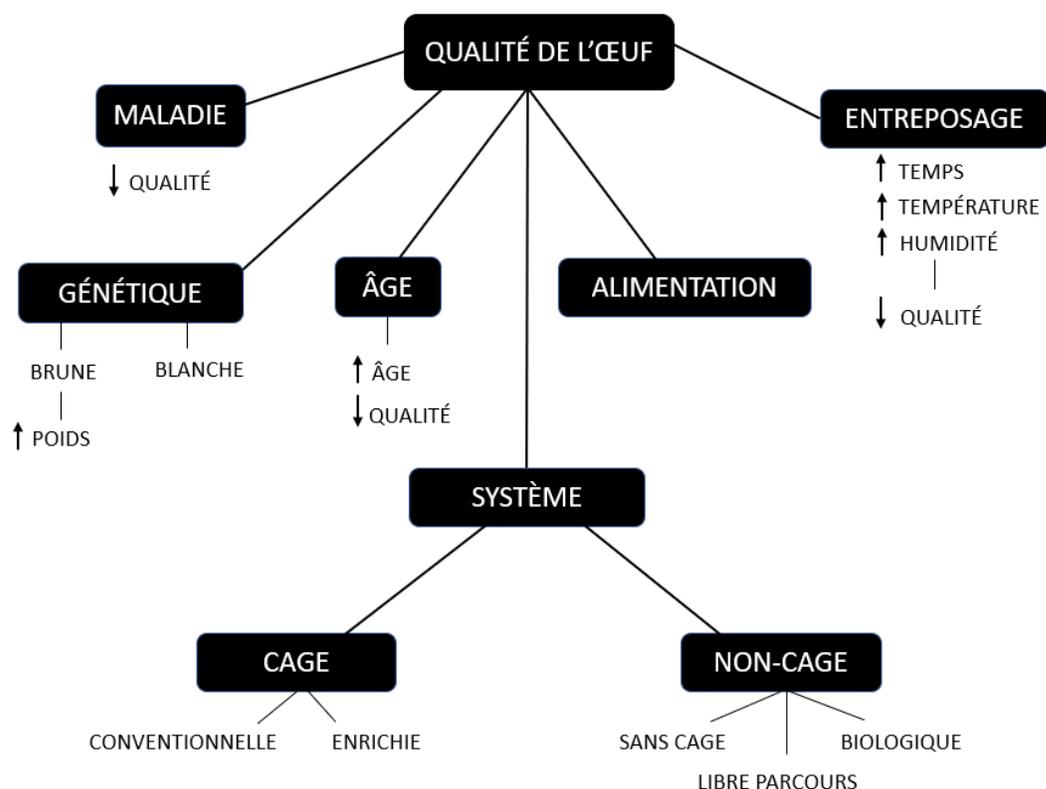


Figure 6. Facteurs influant sur la qualité des œufs (traduit et adapté de Pires et al., 2021)

À l'heure actuelle la qualité des œufs et la mesure dans laquelle ils sont affectés par les diverses conditions de logement restent encore un sujet très controversé selon Pires et al. (2021). La revue systématique réalisée par ces auteurs a démontré une grande divergence parmi les résultats de 50 articles recensés. Ils ont également constaté un manque de normalisation concernant la méthodologie réalisée dans ces études. De ce fait, il n'y a toujours pas de consensus parmi les chercheurs autour de cette thématique. De nombreux auteurs ont également montré que le système de logement affectait aussi bien la quantité que la qualité des œufs produits (Brand et al., 2004; Hidalgo et al., 2008; Englmaierová et al., 2014; Matthew et Sumner, 2015). Tůmová et al. (2009, 2011) ont noté la présence d'interactions significatives entre le génotype et le logement par rapport aux paramètres internes et externes de qualité des œufs. Quant à Rondoni et al. (2020), ils ont suggéré la nécessité d'étudier davantage de facteurs au-delà des caractéristiques intrinsèques et extrinsèques des œufs.

3.2.1 Caractéristiques externes

3.2.1.1 Salubrité et intégrité de l'œuf

La coquille de l'œuf est une structure parfaitement définie (Nys et al., 2010) ayant pour rôle principal d'assurer la protection du contenu de l'œuf (Figure 7). En général, elle représente entre 8 à 10 % du poids total de l'œuf (Hamilton et Bryden, 2021). La cuticule de la coquille est la première ligne de défense contre l'environnement physique et les agents pathogènes microbiens tels que *Salmonella* et *Escherichia coli* (Nys et al., 2010; Rose-Martel et al., 2012; Pires et al., 2021). En effet, les micro-organismes peuvent pénétrer dans l'œuf via les pores respiratoires qui perforent le pourtour de la coquille de l'œuf (Rose-Martel et Hincke, 2015).

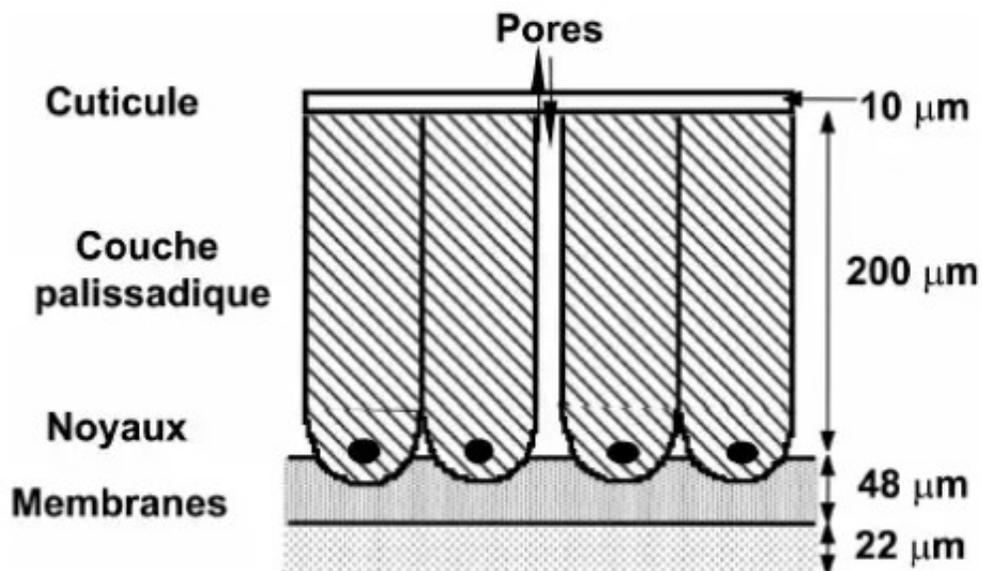


Figure 7. Représentation schématique d'une coupe transversale de la coquille (Nys et al., 2010)

Pour l'industrie ovicole, un œuf exempt d'agents pathogènes est primordial afin de garantir la salubrité et la sécurité alimentaire. Des éventuels rappels d'œufs contaminés par des bactéries pathogènes constituent un problème de santé publique (Dey et al., 2013). De ce fait, au Canada et aux États-Unis les œufs sont classés puis nettoyés avant la vente au détail. Cette pratique permet dans un premier temps d'éliminer les micro-organismes pathogènes présents à la surface de la coquille mais également de protéger les consommateurs contre des possibles risques sanitaires (Mench et al., 2011). La charge bactérienne présente à la surface de la coquille permet de prédire l'éventuelle contamination de l'intérieur de l'œuf (Kulshreshtha et al., 2021).

La littérature fait état d'impacts négatifs sur la propreté des œufs en ce qui concerne les logements alternatifs particulièrement les volières et les systèmes sur litière. En effet, certains auteurs ont constaté davantage d'œufs sales dans les systèmes en liberté (Abrahamsson et Tauson, 1995; Abrahamsson et al., 1996; Tauson et al., 1999; Yilmaz Dikmen et al., 2016; Philippe et al., 2020). Ces observations résulteraient en partie d'une utilisation inappropriée des ressources du système par les poules (Philippe et al., 2020; Wan et al., 2021) engendrant ainsi une plus grande proportion d'œufs pondus à l'extérieur des nids ou à même la litière au contact direct des fientes (Abrahamsson et Tauson, 1998; Yilmaz Dikmen et al., 2016; Philippe et al., 2020). Pour Barbosa Filho et al. (2006), la gestion de la litière est un point critique dans les logements en liberté (avec ou sans accès à l'extérieur) et la qualité des œufs peut en être affectée. Selon les auteurs, un excès d'eau contenue dans la litière engendrerait un emplument et des pattes humides ayant pour conséquences directes des œufs sales potentiellement contaminés. Pour limiter la proportion d'œufs pondus au sol et ainsi souillés par les fientes des oiseaux, Abrahamsson et Tauson (1998) ont suggéré d'élever les poulettes dans un logement similaire à celui où elles seront en production afin que les oiseaux aient le temps de se familiariser à cet environnement et d'apprendre à pondre dans les nids prévus à cet effet.

Les logements en cage ne sont pas en reste en ce qui concerne la présence d'œufs sales. Les résultats de la recherche sur la saleté des œufs sont souvent contradictoires. Abrahamsson et al. (1995) ont constaté un taux d'œufs sales plus élevé chez des poules logées en cages conventionnelles comparativement à celles en cages enrichies. À l'inverse, d'autres études ont indiqué une proportion plus importante d'œufs sales voire fissurés dans les logements enrichis (Wall et Tauson, 2002; Guesdon et Faure, 2004; Englmaierová et al., 2014). Tactacan et al. (2009) ont même précisé que la prévalence d'œufs sales était trois fois plus élevée en logement enrichi qu'en conventionnel. Aussi surprenant que cela puisse paraître, Ahammed et al. (2014) ont montré que le taux d'œufs sales était supérieur en logement conventionnel (3,8 % et 3,7 %) comparativement à celui en volière (2,9 % et 3,3 %). Pour certains auteurs, les principales raisons évoquées étaient la mauvaise conception des nids rendant inadéquate le lieu de ponte (Guesdon et Faure, 2004; Ahammed et al., 2014; Philippe et al., 2020). Tactatan et al. (2009) et Philippe et al. (2020) ont remarqué que les poules avaient tendance à pondre dans des zones de la cage où il y avait présence de fientes comme les tapis de grattage. Pour Guesdon et Faure (2004), il y aurait moins d'œufs sales dans les logements enrichis si les nichoirs étaient mieux conçus.

Quel que soit le type de système choisi, la conception du nid et son agencement sont primordiaux pour inciter les oiseaux à venir y pondre et limiter ainsi la présence trop importante d'œufs souillés. La propreté des équipements et la régie d'élevage sont également à prendre en considération (Abrahamsson et Tauson, 1998; Guesdon et Faure, 2004; Philippe et al., 2020). Hamilton et Bryden (2021) ont estimé que la prévalence d'œufs sales était approximativement 2 à 3 % plus élevée que l'incidence des œufs fissurés.

Le poids de l'œuf est le critère de qualité le plus étudié parmi les diverses publications (Pires et al., 2021). La littérature révèle un certain degré de variabilité dans les résultats de la recherche concernant ce paramètre. Pour Holt et al. (2011) ces résultats ne montrent pas toujours de différences significatives. Les auteurs ont précisé que les études antérieures utilisaient diverses souches de poules pondeuses, augmentant ainsi la variation entre les études. De plus, selon eux, il existe des différences génétiques dans la grosseur des œufs. Dans la littérature, de nombreuses études n'ont montré aucune différence significative entre les logements en cages et ceux en liberté (Tanaka et Hurnik, 1992; Tauson et al., 1999; Basmacioğlu et Ergül, 2005; Ahammed et al., 2014; Sokołowicz et al., 2018a,b). De même pour Wan et al. (2021) qui n'ont trouvé aucune différence significative intra-système (parquet à latte plastique versus litière au sol). Pour les auteurs, ces résultats étaient semblables à ceux de Shimmura et al. (2010) qui n'ont également pas trouvé d'effet significatif des divers systèmes de logement (cage conventionnelle, cage enrichie, parquet et libre parcours) sur le poids des œufs, tout comme Abo Ghanima et al. (2020) qui n'ont observé aucun effet positif ou négatif du logement étudié (cage ou parquet) sur le poids des œufs.

Pour Englmaierová et al. (2014) les œufs en logement enrichi (61,8 g) et en volière (62,2 g) étaient plus lourds que ceux issus des cages conventionnelles (60,1 g). Ces résultats étaient en accord avec ceux de Jones et al. (2014) qui ont montré que les œufs de logements alternatifs (58,69 g en volière et 58,88 g en logement enrichi) étaient significativement ($P < 0,05$) plus gros que ceux des cages conventionnelles (57,97 g). Vlčková et al. (2019) ont noté que les œufs de cages enrichies étaient significativement ($P < 0,001$) plus lourds que ceux en plein air (61,7 g contre 59,6 g). De même pour Lewko et Gornowicz (2011), qui ont montré que les oiseaux en cage pondaient des œufs plus lourds (61,06 g) que ceux logées sur parquet ou plein air. Quel que soit l'âge des oiseaux, Brand et al. (2004), Hidalgo et al. (2008) et Popova et al. (2020) ont noté que les poules en libre parcours pondaient des œufs relativement plus gros que celles en cages conventionnelles.

Ces résultats sont en accord avec ceux de Singh et al. (2009) qui ont constaté également un poids d'œuf plus élevé pour les poules logées en parquet (58,6 g) comparativement à celles logées en conventionnel (54,3 g). Quant à Hidalgo et al. (2008) et Englmaierová et al. (2014), ils ont constaté que les œufs provenant de poules logées sur parquet avaient le poids le plus faible par rapport à tous les autres systèmes. Pour Philippe et al. (2020), ainsi que Guesdon et Faure (2004) et Tactacan et al. (2009), les auteurs s'accordaient à dire que les œufs provenant de cages conventionnelles (59,6 g) ou enrichies (59,3 g) ont un poids similaire. Samiullah et al., (2017) ont précisé que le poids des œufs en volière faisait 2 g de moins comparativement aux systèmes conventionnels (58,6 g contre 60,7 g respectivement).

Pour l'industrie des œufs, la qualité de la coquille est un facteur important notamment pour des raisons économiques. Hamilton et al. (1979) ont conclu que de la poule en élevage jusqu'à la vente au détail, 6 à 8 % des œufs se cassaient ou se fissaient. Cette proportion pouvait tout de même varier de 1 à 35 % (Roland, 1998). Singh et al. (2007) ont, quant à eux, annoncé que l'industrie américaine des œufs de consommation connaissait un taux de 2 à 7 % d'œufs fissurés pendant les étapes de collecte et de tri, d'emballage et de transport. Les auteurs ont évalué à plus de 247 millions de dollars par an le coût des œufs fissurés et cassés pendant la production. En Europe, ce taux est de 2 à 6 % dans les systèmes en liberté (van Mourik et al., 2017). Une dégradation de l'intégrité de la coquille lors de la collecte et du transport engendre une perte financière (Hunton, 1995) et donc la réduction des bénéfices (Holt et al., 2011) mais entraîne également une diminution du nombre d'œufs destinés à la consommation (Yilmaz Dikmen et al., 2017). Pour la consommation d'œufs de table, la réglementation en vigueur exige des coquilles d'œufs propres et intactes. Dans les élevages commerciaux, les pertes causées par des coquilles d'œufs endommagées et cassées représentent entre 8 à 11 % de la production totale d'œufs (Dunn et al., 2009; Fathi et al., 2019). Le poulailler est le lieu où les coquilles d'œufs subissent les chocs les plus intenses. Dans leur étude, Hamilton et Bryden (2021) ont estimé que les œufs subissaient en moyenne des impacts de l'ordre de 13 G.

Une qualité convenable de la coquille c'est-à-dire qui répond à certaines exigences en termes de résistances aux déformations physiques et aux chocs mécaniques peut être liée à une diminution de la rupture des œufs, réduisant ainsi le nombre d'œufs déclassés voire jetés. Hamilton et Bryden (2021) ont conclu que des impacts, même infimes, sur les coquilles d'œufs peuvent provoquer le développement de microfissures et, si les chocs s'intensifient, des fissures visibles peuvent apparaître et rompre les membranes (Figure 7) vidant ainsi le contenu de l'œuf. Holt et al. (2011) ont constaté que la prévalence d'œufs fêlés ou cassés était un paramètre très variable entre les systèmes de logement. Quant à Hidalgo et al. (2008) et Tactacan et al. (2009), ils n'ont pas observé de différences significatives entre les systèmes de logement étudiés. Que ce soit en logement enrichi (Guesdon et Faure, 2004; Yilmaz Dikmen et al., 2016) ou en conventionnel (Tauson et al., 1999), la forte proportion d'œufs fissurés observée s'expliquerait par la distance parcourue par l'œuf pour atteindre le convoyeur. Cette distance augmente les risques de collisions et de chocs et donc le nombre de fêlures possibles. Ahammed et al. (2014) ont observé en début de ponte une prévalence d'œufs fissurés plus élevée en cage (3,9 %) alors qu'en fin de cycle, cette prévalence était supérieure en volière (4,5 %). Wall et Tauson (2002) sont arrivés à comparer l'effet du logement des poules dans des systèmes conçus par différents fabricants de cages enrichies, « Helmann » et « Victorsson ». Ces résultats ont montré que le nombre de coquilles fissurées et sales était plus faible pour les oiseaux dans les systèmes enrichis Victorsson que Hellmann (5,8 *versus* 7,6 %; 7,5 *versus* 9,1 %; et 2,0 *versus* 4,9 %, 4,4 *versus* 6,0 %, respectivement).

Hamilton et Bryden (2021) ont estimé qu'environ 3 % des œufs pondus en logement conventionnel avaient des coquilles fissurées, cette proportion atteignait 4 % et 5 à 6 % pour les logements enrichis ou libre parcours et pour les volières respectivement. Pour certains auteurs, une coquille mince, une mauvaise conception du nid et la ponte au sol sont des facteurs altérant l'intégrité de l'œuf (Wall et Tauson, 2002; Guesdon and Faure, 2004; Ahammed et al., 2014) qui doivent être mieux maîtrisés afin de limiter les pertes. Pour Wall et Tauson (2002), l'utilisation de fils à rétention d'œufs (« egg- saver wires ») et de longs rideaux de nidification a réduit l'incidence des fissures des œufs dans les logements enrichis.

Pour de nombreux auteurs, l'intégrité de la coquille est influencée par un large éventail de facteurs tels que le génotype et l'âge des oiseaux, la nutrition, les systèmes et la régie d'élevage ainsi que la manipulation et la transformation (Nys, 1986; Mabe et al., 2003; Roberts, 2004; Hidalgo et al., 2008; Valkonen et al., 2010; Świątkiewicz et al., 2015; Hamilton et Bryden, 2021).

3.2.1.2 Propriétés de la coquille : épaisseur et force

Les indicateurs de qualité de la coquille sont principalement l'épaisseur et la force (autrement dit la résistance à la rupture). Cette résistance à la rupture de la coquille permet d'évaluer la capacité de celle-ci à résister à une certaine force. Pour Nys et al. (2010) une coquille d'œuf de 0,3 mm d'épaisseur résiste à trois kilos en pression statique lui attribuant des propriétés physiques remarquables. Néanmoins, de la poule aux rayons des commerces, les œufs sont soumis à rudes épreuves. De la collecte en passant par la station de classement puis le transport, un taux élevé de coquille d'œuf fissurée ou endommagée se produit. De ce fait, pour l'industrie des œufs, la force de la coquille est une préoccupation majeure (Sirri et al., 2018). Les résultats publiés dans la littérature sont encore très variés et aucun logement n'est préférable à un autre en ce qui concerne les propriétés de la coquille (Holt et al., 2011).

L'épaisseur et la force de la coquille sont deux paramètres interdépendants. Pour Roberts (2004) un œuf possédant une coquille plus épaisse aura une plus grande force. Cette observation est en parfait accord avec les résultats publiés par Ahammed et al. (2014) dans le cas des œufs pondus en système volière. De nombreuses études ont révélé que l'épaisseur de la coquille était plus élevée dans les systèmes en liberté ou plein air comparativement à ceux en cage (Mostert et al., 1995; Abrahamsson et al., 1996; Brand et al., 2004; Hidalgo et al., 2008; Ledvinka et al., 2012; Englmaierová et al., 2014; Yilmaz Dikmen et al., 2017; Kulshreshtha et al., 2021). À l'inverse, certains auteurs ont démontré une épaisseur plus grande pour les œufs produits dans des cages comparativement à ceux issus de systèmes sans cage ou à l'extérieur (Pavlovski et al., 2001; Lichovniková et Zeman, 2008; Popova et al., 2020) tandis que pour d'autres, aucune interaction entre le logement et l'épaisseur de la coquille d'œuf n'a été montrée (Tůmová et al., 2016; Samiullah et al., 2017). Pour Philippe et al. (2020), l'épaisseur de la coquille était similaire pour les 3 logements étudiés (0,384 mm en conventionnel, 0,3777 mm en enrichi et 0,3775 mm volière). Kulshreshtha et al. (2021) ont supposé que ce dissensus pourrait être dû à l'interaction entre le génotype et le système de production ou à des différences dans l'âge des oiseaux.

Toutefois, la littérature fait état d'une résistance à la rupture de la coquille plus élevée pour les logements en cage, que ce soit en conventionnel ou en enrichi, comparativement à ceux en liberté (Tůmová et Ebeid, 2005; Hidalgo et al., 2008; Scholz et al., 2008; Tůmová et al., 2009; Englmaierová et al., 2014; Jones et al., 2014; Philippe et al., 2020; Hamilton et Bryden, 2021). Dans leur étude, Guesdon et Faure (2004) n'ont, quant à eux, observé aucune différence dans la résistance de la coquille entre les logements conventionnels et enrichis. De leur côté, Philippe et al. (2020) ont constaté que la résistance de la coquille était significativement plus importante pour les œufs pondus en cage conventionnelle comparativement aux logements alternatifs (40,7 N contre 39,3 N pour les cages enrichies et les volières; $P < 0,001$). Le vieillissement des oiseaux est certes, associé à une augmentation du poids de l'œuf (Sokołowicz et al., 2018a; Philippe et al., 2020) mais également à une diminution de la proportion (Sokołowicz et al., 2018b) et de la résistance de la coquille (Philippe et al., 2020). Mertens et al. (2006) ont évalué les effets de plusieurs logements (cages conventionnelles et enrichies, volière et plein air) sur la qualité des œufs et ont constaté que la force de la coquille était la plus grande pour des œufs en volière (14 140 N/m et 13 998 N/m) et la plus faible pour ceux libre parcours (11 404 N/m).

Pour Hughes et al., 1985, les œufs de poules élevées en plein air avaient une plus grande épaisseur de coquille et étaient plus solides comparativement aux œufs provenant de cages conventionnelles. Dans leur étude, Kulshreshtha et al. (2021) expliquaient qu'une plus grande épaisseur de coquille pour des œufs de plein air pourrait être due à une différence dans la souche des oiseaux : brune versus blanche. En effet, des études antérieures ont démontré des coquilles plus épaisses pour des œufs bruns comparativement aux œufs blancs (Ledvinka et al., 2000; Leyendecker et al., 2001). Quant à Kulshreshtha et al. (2021), dans le cas de leur étude avec des œufs blancs, les auteurs ont observé que l'épaisseur de la coquille provenant de cages alternatives était plus élevée que dans celles conventionnelles. Pour Gordon et Roland (1998) et Neijat et al. (2011) cette observation pourrait être liée au métabolisme du calcium. En effet, les critères d'évaluation de la qualité de la coquille sont fortement associés au métabolisme phospho-calcique chez les pondeuses. Le maintien d'une teneur optimale en calcium et en phosphore dans les aliments pour pondeuses est essentiel pour assurer une qualité de la coquille dans les systèmes de production (Ketta et Tůmová, 2016).

Ces résultats très paradoxaux sont encore largement discutés à l'heure actuelle. La littérature relate que la force de la coquille est liée à des effets multifactoriels. D'après Altuntas et Sekeroglu (2008), la forme des œufs a également un impact sur la résistance de la coquille; une force plus élevée est nécessaire pour rompre les œufs de forme globulaire. Tůmová et al. (2009, 2011) ont dans leurs études démontrées que la force de la coquille était significativement affectée par le système de logement, le génotype et le temps de collecte des œufs ($P \leq 0,049$). Les auteurs ont également précisé que la force et l'épaisseur ont davantage été influencés par le génotype que par le logement en tant que tel. Cependant, ces résultats sont en contradiction avec ceux de Barbosa Filho et al. (2006) qui ont conclu dans leur étude que l'épaisseur de la coquille d'œuf a été affectée par l'environnement et le système d'élevage. Les auteurs ont par ailleurs suggéré de prendre davantage en considération ces deux aspects ainsi que celui du bien-être dans l'évaluation de la qualité des œufs. De leur côté, Karcher et al. (2015) ont conclu que les indicateurs de qualité des œufs notamment les paramètres de la coquille tels que l'épaisseur et la résistance, étaient davantage influencés par le facteur nutritionnel que par les structures de logement des pondeuses. Selon eux, d'autres recherches doivent être menées avec des contextes de recherche contrôlés pour mieux délimiter les nuances des systèmes de logement spécifiques sur les mesures de la qualité des œufs. Pour Samiullah et al. (2017), il existe une variation naturelle de la quantité de cuticule présente à la surface de l'œuf. Son épaisseur est influencée par divers facteurs tels que la race et la souche des oiseaux, l'âge, le système de production et la région d'élevage (Solomon et al., 1994; Messens et al., 2005; Samiullah et al, 2014; Sokołowicz et al., 2018a,b).

3.2.2 Caractéristiques internes

3.2.2.1 Indicateur de fraîcheur de l'œuf : unité Haugh

L'unité Haugh est un paramètre largement étudié dans la recherche. Pires et al. (2021) ont montré dans leur revue systématique que 66 % des articles recensés (sur 50 au total) avaient évalué l'unité Haugh. Pour Holt et al. (2011), l'évaluation de la qualité interne de l'œuf repose sur un grand nombre de paramètres tels que l'indice, la couleur et la viscosité du jaune, la hauteur et la viscosité de l'albumen, le pH de l'albumen (Philippe et al., 2020) ou encore la force de la membrane vitelline. Cependant, pour Pires et al. (2021) l'unité Haugh (HU) reste l'un des principaux indicateurs de mesure de la qualité interne des œufs.

Introduite en 1937 par Raymond Haugh, cette méthode est la plus couramment utilisée par l'industrie des œufs et considérée comme le « gold standard » dans la détermination de la qualité interne de l'œuf (Jones, 2005). Cette mesure est reconnue par la filière ovicole comme étant un indicateur fiable de fraîcheur des œufs (Philippe et al., 2020). Elle évalue de manière objective (Eisen et al., 1962) la qualité de l'albumen en tenant compte de la hauteur (H) de l'albumen épais en millimètre qui entoure le jaune associée à la masse (W) de l'œuf en gramme (Figure 8).

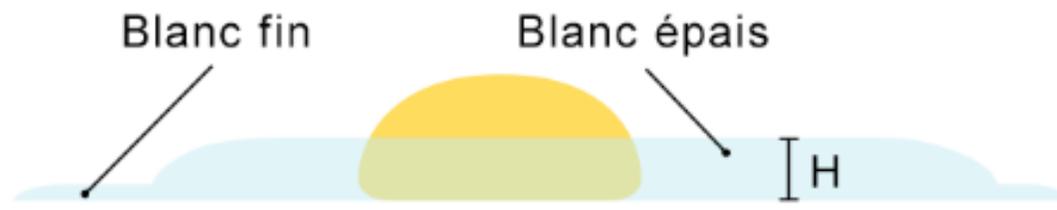


Figure 8. Vue latérale d'un œuf cassé sur une surface plane (Nabel, 2016)

Le score de l'HU est calculé selon la formule suivante :

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

La valeur de l'unité Haugh peut varier de 0 à 130. Il est généralement admis que plus ce score est élevé (au-delà de 70), meilleure est la fraîcheur et la qualité de l'œuf (Nabel, 2016; Dedousi et al., 2020). Au fur et à mesure que l'œuf vieillit, la protéine contenue dans l'albumen se dégrade et engendre une perte d'eau et de dioxyde de carbone entraînant une diminution de la hauteur de l'albumen et ainsi une détérioration de l'unité Haugh (Philippe et al., 2020).

De nombreuses recherches ont étudié l'effet du système de production sur les mesures de la qualité interne de l'œuf, notamment l'unité Haugh. Néanmoins, à l'heure actuelle, il n'y a pas de consensus parmi les chercheurs concernant ce paramètre. Des études antérieures (Silversides et Scott, 2001; Brand et al., 2004; Hidalgo et al., 2008; Kucukyilmaz et al., 2012; Roberts et Chousalkar, 2012) sur l'unité Haugh ont révélé une grande variabilité en termes de méthodologie, d'âge des oiseaux et également sur le plan expérimental rendant ce paramètre très discutable.

Valkonen et al. (2010) n'ont montré aucune différence d'HU entre les logements conventionnels et enrichis. De même pour Philippe et al. (2020) qui n'ont observé aucun effet significatif entre les logements conventionnels, enrichis et les volières ($P > 0,05$). En revanche, les unités Haugh variaient significativement en fonction de l'âge ($P < 0,001$).

Pour Wan et al. (2021), ils n'ont pas trouvé de différence d'HU intra-système, à savoir entre les volières sur lattes plastiques et sur litière. Ces résultats étaient semblables à ceux de Shimmura et al. (2010) qui n'ont également pas montré d'effet significatif de divers systèmes de logement sur les HU chez les poules. Sokołowicz et al. (2018a) n'ont également observé aucun effet du type de logement alternatif (parquet, libre parcours et biologique) sur la valeur des unités Haugh. En revanche, ils ont rapporté que l'âge des poules pondeuses a eu un impact significatif ($P < 0,05$) sur les valeurs des HU.

Englmaierová et al. (2014) ont constaté que toutes les caractéristiques internes de la qualité des œufs, y compris l'HU, étaient influencées par le type de logement. Pour plusieurs auteurs, les valeurs des unités Haugh étaient supérieures pour des œufs provenant des systèmes de cages conventionnelles comparativement aux cages enrichies et aux autres systèmes en liberté (Tůmová et al., 2011; Ahammed et al., 2014; Englmaierová et al., 2014). De même pour Jones et al. (2014) qui ont rapporté que les unités Haugh étaient significativement ($P < 0,05$) plus élevées en cages conventionnelles (74,61) par rapport aux cages enrichies (72,60). En revanche, dans leur étude, Yilmaz Dikmen et al. (2017) ont démontré que les scores d'unité Haugh étaient significativement plus élevés ($P < 0,001$) pour des œufs issus de systèmes en libre parcours (90,81) mais étaient similaires dans les cages qu'elles soient conventionnelles (88,10) ou enrichies (87,98). D'autres études ont également rapporté que les HU étaient semblables entre les systèmes conventionnels, sur parquets et en libre parcours (Mostert et al., 1995; Hidalgo et al., 2008; Lewko et Gornowicz, 2011; Varguez-Montero et al., 2012). De même pour Dedousi et al. (2020), qui n'ont observé aucune différence significative ($P > 0,05$) dans les valeurs d'unité Haugh que ce soit en cage enrichie, sur parquet ou en libre parcours.

D'après Lordelo et al. (2016), la qualité de l'albumen est influencée par de nombreux facteurs tels que la souche et l'âge des oiseaux, le temps et les conditions d'entreposage des œufs et la composition nutritionnelle des aliments. Bovera et al. (2014) vont jusqu'à émettre que le moment de la ponte et de la collecte des œufs pourrait jouer un rôle non négligeable sur la qualité interne de l'œuf. En effet, ces auteurs ont remarqué une valeur d'HU plus faible (2 unités de moins) pour les œufs pondus et collectés le matin par rapport à l'après-midi.

Roberts (2004) et Singh et al. (2009) ont supposé que les œufs issus de système de production sur litière seraient plus exposés à l'ammoniac contenu dans la litière, ce qui contribuerait à une dégradation de la valeur de l'unité Haugh. Dans leur étude sur la commercialisation des œufs dans les supermarchés nationaux américains (Californie, Connecticut, Illinois, Caroline du Nord, Pennsylvanie et Texas), Patterson et al. (2001) ont rapporté que les œufs produits dans les systèmes biologiques avaient une unité Haugh plus faible. Selon eux, ce résultat était probablement dû à un réapprovisionnement plus lent supposant que œufs biologiques restent davantage de temps dans les rayons des supermarchés comparativement aux œufs de systèmes conventionnels.

Comme pour les autres paramètres de qualité des œufs, les facteurs influant les valeurs d'unités Haugh sont multifactoriels. Ainsi, il est difficile d'évaluer les impacts spécifiques du système de production sur la mesure de l'HU.

3.2.2.2 Intensité de la couleur du jaune

Selon Karunajeewa (1978), la couleur du jaune est principalement déterminée par la présence de pigments, notamment les carotènes et les xanthophylles contenus dans l'aliment. Par exemple, Golberg et al. (2012) ont montré que plus l'inclusion de chanvre alimentaire est importante dans l'aliment, plus les jaunes d'œufs sont pigmentés en termes d'intensité de rouge et de jaune. Les poules élevées en liberté, notamment en libre parcours et en biologique ont un accès à l'extérieur et donc à l'herbe, riche en pigments (carotènes, xanthophylles), pouvant influencer l'intensité de la couleur du jaune (Holt et al., 2011). Les œufs issus de poules logées en plein air ont des concentrations en caroténoïdes notamment en β -carotènes (Anderson, 2011) plus élevées que les œufs de poules logées dans des cages (Mugnai et al., 2009).

Pour certains auteurs, le jaune est vraisemblablement plus foncée pour les œufs de poules logées en liberté (avec ou sans accès à l'extérieur, biologique) comparativement à celles logées en système conventionnel (Brand et al., 2004; Singh et al., 2009; Varguez-Montero et al., 2012; Baykalir et Simsek, 2018). Avec l'échelle de couleurs Roche (1979), Brand et al. (2004) ont relevé un jaune d'œuf très intense pour les systèmes en libre parcours et un jaune nettement plus clair pour ceux en système conventionnel (11,0 contre 9,3 respectivement). De même pour Philippe et al. (2020), qui ont constaté que l'intensité du jaune était significativement ($P < 0,05$) plus élevée en volière (7,06) comparativement aux logements conventionnels (6,84) et enrichis (6,80).

Dans leur étude sur les effets du logement sur la qualité des œufs, Dedousi et al. (2020) ont noté que la couleur du jaune a nettement été affectée par le système de production. Les auteurs ont observé une différence significative ($P < 0,05$) de la couleur du jaune qui était plus foncée pour des œufs en libre parcours (14,80), suivis des œufs des systèmes enrichis (14,07) puis sur parquet (13,03). Lewko et Gornowicz (2011) ont également noté que les œufs pondus par des poules logées en cage avaient des jaunes plus clairs (7,04) par rapport à ceux pondus sur litière (8,00) ou en libre parcours (7,89). Sokołowicz et al. (2018a) ont observé une couleur du jaune plus intense dans les œufs provenant des systèmes biologiques et en libre parcours comparativement aux volières sur litière. Les auteurs ont précisé que dans les systèmes biologiques et en libre parcours, la race et l'âge des poules ont influencé de manière significative ($P < 0,05$) l'intensité de la couleur du jaune qui était plus intense. Tandis que pour d'autres auteurs, l'intensité de la couleur du jaune n'a pas été affectée par le système de logement (Đukić Stojčić et al., 2009; Sekeroglu et al., 2010; Yilmaz Dikmen et al., 2017).

Singh et al. (2009), ont noté une interaction significative ($P < 0,05$) à 3 voies entre l'environnement (cage *versus* parquet), la souche et l'âge des oiseaux pour la couleur du jaune. Selon eux, les différences dans la couleur du jaune entre les souches à diverses périodes d'âge pourraient être dues à l'accès à la litière dans les parquets. Cette explication est semblable à celle de Süto et al. (1997) et Pištěková et al. (2006) qui ont eux aussi mentionné un jaune plus intense dans les systèmes sur parquets que dans les cages sans pour autant fournir de raison potentielle face à cette différence. Pour Leeson et Summers (2005), le principal facteur contribuant à la couleur du jaune est le régime alimentaire. Malgré un régime identique, les auteurs ont remarqué une différence notable de couleur de jaune entre les souches commerciales et non commerciales. Pour Hocking et al. (2003), l'une des explications de cette différence observée pourrait être dû à un effet de dilution compte tenu d'une plus grande production d'œufs issus de poules commerciales. Ils ont également suggéré que la différence entre les souches commerciales pourrait être attribuée à une variation génétique.

Ainsi, l'intensité de la couleur du jaune est plus directement influencée par la nutrition, la génétique et l'âge que par le logement en tant que tel.

Le Tableau 4 synthétise l'ensemble des propos de cette seconde sous-section en ce qui concerne l'influence du système de logement sur la qualité externe et interne des œufs.

Tableau 4. Compilation des différents résultats de qualité (externe et interne) des œufs issus de la littérature pour chaque système de logement

QUALITÉ DE L'ŒUF		CC	CE	Volière		Libre parcours/Plein air	Biologique	Références
				1 niveau (parquet)	> 1 niveau			
Poids des œufs	g	62,8	62,7			61,6		Sharma et al., 2022
		62	63,2	61		60,7	63,8	Hamilton et Bryden, 2021
		59,6	59,3		58,6			Philippe et al., 2020
			60,3	59,08		59,16	58,23	Lordelo et al., 2017
		58,35	57,75			59,77		Yilmaz Dikmen et al., 2017
		58,5	59,1		58,4			Karcher et al., 2015
	60,1	61,8	58,9	62,2			Englmaierová et al., 2014	
Prévalence œufs fêlés	%	2,87	3,8	4,00		3,34		Hamilton et Bryden, 2021
		3,9 et 3,2		2,5 et 4,5		1,3 et 1,7		Ahmed et al., 2014
Prévalence œufs sales		2,62	3,96	5,1		7,07		Hamilton et Bryden, 2021
		3,8 et 3,7	2,9 et 3,3		1,6 et 2,2		Ahmed et al., 2014	
Épaisseur de la coquille	mm	0,393	0,389			0,380		Sharma et al., 2022
		0,399	0,365	0,407		0,379	0,467	Hamilton et Bryden, 2021
			0,419	0,4037		0,420		Dedousi et al., 2020
		0,384	0,3777		0,3775			Philippe et al., 2020
				0,3516 ; 0,3393 et 0,35193		0,35075 ; 0,30343 et 0,3207	0,3526 ; 0,333 et 0,318	Sokołowicz et al., 2018
		0,397	0,400			0,403		Yilmaz Dikmen et al., 2017
	0,377	0,379	0,376	0,387			Englmaierová et al., 2014	
	0,380 et 0,370		0,390 et 0,420		0,400 et 0,410		Ahmed et al., 2014	
Force de rupture/Résistance de la coquille	kgF	1,084	1,083			1,08		Sharma et al., 2022
	F _{max} (N)	40,7	39,3		39,3			Philippe et al., 2020
	kg/cm ²		4,24	4,35		4,9		Dedousi et al., 2020
	N			31,85 ; 32,67 et 35,90		31,75 ; 31,54 et 31,37	29,32 ; 31,13 et 30,73	Sokołowicz et al., 2018
	kg/cm ²	2,23	2,17			2,35		Yilmaz Dikmen et al., 2017
	kg/cm ²	2,95 et 3,02		3,89 et 3,46		3,12 et 3,28		Ahmed et al., 2014
	4,93	4,743	4,794	4,665			Englmaierová et al., 2014	
Unité Haugh	Score	89,0	88,1			85,6		Sharma et al., 2022
		83,7	80,3	77,8		76,7	66,7	Hamilton et Bryden, 2021
			86,48	85,48		85,68		Dedousi et al., 2020
		89	89,9		89,4			Philippe et al., 2020
				79,43 ; 76,7 et 84,8		75,33 ; 75,17 et 90,63	88,87 ; 77,29 et 88,29	Sokołowicz et al., 2018
		88,1	87,98			90,31		Lordelo et al., 2017
		76,92				85,56		Samiullah et al., 2017
		88,1	87,98			90,31		Yilmaz Dikmen et al., 2017
		88,5	81,3	83	78,2			Englmaierová et al., 2014
102,2 et 94,8		96,4 et 86,5		92,7 et 81,1		Ahmed et al., 2014		
	87,08			89,36 et 91,25		Đukić Stojčić et al., 2009		
Intensité de la couleur du jaune	Échelle DCM	6,84	6,8		7,06			Philippe et al., 2020
	Échelle Roche		14,07	13,03		14,8		Dedousi et al., 2020
	Échelle DSM			6,55 ; 7,15 et 7,67		9,15 ; 9,10 et 8,43	10,8 ; 10,27 et 10,33	Sokołowicz et al., 2018
	Échelle Roche	11,89	11,98			11,98		Yilmaz Dikmen et al., 2017
	Échelle Roche	4,8 et 8,2		6,4 et 8,8		4,5 et 8,0		Ahmed et al., 2014
	Échelle Roche	5,05		6,11				Singh et al., 2009
	Échelle Roche	12,08				11,58 et 11,76		Đukić Stojčić et al., 2009
	Échelle Roche	9,3				11,0		Brand et al., 2004

Hypothèses et objectifs de recherche

À la lumière des résultats des études antérieures exposés dans cette revue de littérature, il ne semble pas y avoir de consensus parmi les chercheurs quant à l'effet des logements alternatifs sur les performances et la qualité des œufs en poules pondeuses.

L'impact de ces logements sur les performances des poules et la qualité du produit fini a souvent été étudié dans différents pays européens, mais peu ou pas d'études ont traité de ce sujet dans le contexte québécois actuellement en pleine phase de transition et qui plus est, à l'échelle commerciale.

La littérature a souvent fait état d'impacts négatifs des volières sur les performances et la qualité des œufs comparativement aux cages enrichies.

L'objectif principal de la présente étude est de comparer les performances zootechniques et la qualité des œufs entre deux types de logements alternatifs (cages enrichies et volières) en pondeuses commerciales.

Du fait de l'ensemble des indicateurs de performance exposés dans cette revue bibliographique, les paramètres à l'étude sont des variables facilement mesurables et enregistrées au quotidien, soit :

- Pour les performances zootechniques : la production d'œufs (ou taux de ponte), le taux de mortalité et la consommation alimentaire.
- Pour la qualité externe et interne des œufs : la masse de l'œuf, la force (ou la résistance) et l'épaisseur de la coquille, la fraîcheur via l'unité Haugh, l'intensité de la couleur du jaune, la prévalence des œufs fêlés et celle des œufs sales.

Article

Enriched cages present similar performance and egg quality levels than aviaries in
Canadian commercial laying hens

Noémie Marcos^{*}, Éloïse Denis^{*}, Stéphane Godbout[#], Martine Boulianne^{*1}

^{*} Chair in Poultry Research, Faculty of veterinary medicine, University of Montreal, Saint-Hyacinthe, Quebec, Quebec, J2S 2M2, Canada

[#] Institute for Research and Development in Agrienvironment (IRDA), Quebec, Quebec, G1P 3W8, Canada

¹ Corresponding author: martine.boulianne@umontreal.ca
3200 Sicotte street, Saint-Hyacinthe, Quebec, Quebec, J2S 2M2, Canada
450-773-8521 # 8470

Manuscrit à soumettre au *Poultry Science Journal*

Abstract

The strong societal demand for better hen welfare has led the Canadian egg industry to progressively replace conventional cages with alternative housing such as enriched cages and aviaries. The objective of this study was to compare the performance and quality of eggs from 24 commercial farms in Canada: 12 in enriched cages (EC) and 12 in aviaries (A). All farms were in the province of Quebec except one located in the eastern part of the province of Ontario. Laying rate, cumulative mortality, and feed consumption were used to evaluate farm performance between 19 and 65 weeks of age while egg quality evaluation in laboratory consisted of egg mass, strength and thickness shell, Haugh unit, yolk color intensity and prevalence of dirty and cracked eggs at 35, 45, 55 and 65 weeks of age. No significant differences ($P > 0.05$) were observed between enriched cages and aviaries for all performance and quality parameters studied. The interaction between housing and age had a significant effect on mortality ($P < 0.05$) which increased faster with age in aviaries than in enriched cages. Age had a significant effect ($P < 0.05$) on all variables studied except the prevalence of dirty eggs. During the laying cycle, the higher mortality observed in the aviary should not be overlooked and more research should be done on the air quality in the aviary, especially on the impact of litter on the health of the hens and workers. These research results from commercial farms in Canada have provided the table egg industry with essential information on what alternative systems have to offer in terms of performance and egg quality. Despite the many challenges facing the egg industry, these results will allow Canadian producers to make a more informed choice and ensure a smooth transition to alternative systems by 2036 in Quebec. In conclusion, in Canada, during the laying cycle the performance and egg quality are similar between the enriched cages and the aviaries on a commercial scale.

Key words: alternative housing, laying hen, aviary and enriched cage, performance, egg quality.

Introduction

Consumed on a large scale for its high protein content, egg is one of the most widely widespread food products in the world (Lesnierowski and Stangierski, 2018; Rondoni et al., 2020). Despite a steadily expanding global production, the table egg industry has been facing critical challenges in recent decades.

Consumers are increasingly concerned about the welfare of animals, particularly the conditions in which hens are reared. To address this concern the European Union first banned the use of conventional cages in 2012 (European Directive 1999/74/EC) a decision later adopted in February 2016, by the Egg Farmers of Canada (EFC). Canadian egg producers will ban the use of conventional cages, which used to be the reference standard in the egg industry for so many years, in 2036. As of 2021, 56.5 % of hens in Canada and 42 % of hens in Quebec were still housed in conventional cages despite a ban on their use by 2036 (POC, 2022; FPOQ, 2022).

The main issue is therefore the phasing out of conventional cage systems. This type of housing is a form of extreme confinement depriving birds of moving, wing flapping, or even expressing natural behaviors such as nesting, dust bathing, or perching (Weeks and Nicol, 2006; Blokhuis et al., 2007; Schuck-Paim et al., 2021).

This transition to alternative housing is the response to economic, environmental, ethical, and societal pressures that have a strong impact on the egg industry (Gautron et al., 2021). In Canada, most producers must therefore turn to new housing called alternative to transform their conventional laying houses into systems that are more conducive to the welfare including the natural behavior of laying hens. Compared to conventional housing, alternative housing offers more space and specific resources such as nest boxes, perches, pecking and scratching areas (Elson and Croxall, 2006).

Several types of alternative housing are adopted to increase the welfare of the hens and are labelled: caged or free housing. The cage system, referred to as enriched or colony housing, is an improved version of the conventional system offering more space and specific resources to express a wider range of natural laying hens' behaviors. There are three types of free systems: single-tier aviary, multi-tier aviary and free-range. Each of them can house thousands of hens and must be furnished with perches, nest boxes and dust baths. Often associated with organic egg production, free range also offers access to the outside. To carry out this transition, egg producers have the choice of either continuing to rear hens in cages, provided that the environment is enriched with the so-called furnished system (including more available space, a nest, and a perch) or turning to a free-range system.

While these new production systems are taking place around the world to improve animal welfare, some uncertainties and discrepancies remain regarding the influence of alternative housing systems on zootechnical performance and egg quality. Several studies demonstrated the effects of alternative production systems on performance and egg quality (Brand et al., 2004; Hidalgo et al., 2008; Vlckova et al., 2019; Philippe et al., 2020; Pires et al., 2021). However, the effects of producing in different systems on performance are currently highly debated. Similarly, the impact of different housing conditions on eggs, especially on their quality, remains a controversial topic and there is still no consensus among researchers to date (Pires et al., 2021). Production system is not the only factor affecting egg production and other parameters such as genetics, age of the birds, animal density, health, nutrition, or hen house environment (light, ventilation, temperature, air quality) have been reported to affect hens performance and egg quality (Nimmermark et al., 2009; Guinebretiere et al., 2012; Tuyttens et al., 2013; Bovera et al., 2014; Oliveira et al., 2014; Meng et al., 2015; Philippe et al., 2020).

Therefore, the objective of this study was to compare the zootechnical performance (laying rate, mortality rate and feed consumption) and egg quality (egg mass, shell thickness and strength, Haugh unit and prevalence of dirty eggs and cracked eggs) between Canadian commercial aviaries (A) and enriched cages (EC) systems.

Materials and Methods

Selection criteria and flock recruitment

For convenience, selected flocks were located within a 300 km radius from the Faculty of Veterinary Medicine of the University of Montreal. The predominant layer breed in Quebec (Canada) being the white Lohmann LSL-lite, farms with this breed of hen were selected for this study.

Recruitment was based on a telephone interview and an invitation to participate to the research project on a voluntary basis. A total of 23 commercial farms in Quebec (in the Monteregie, Beauce, Estrie and Centre-du-Quebec regions) and 1 farm in Eastern Ontario were followed for their entire production period (approximately one year). At the beginning of the cycle, the hens were aged between 19 and 23 weeks when they entered in the laying house. All producers were members of the Federation of egg producers in their province (Quebec or Ontario). Overall, this longitudinal observational cohort study was conducted over 4 years (from November 2017 to October 2021).

The research protocol was approved by the Animal Care Committee, Faculty of veterinary medicine, University of Montreal (21-Rech-2054). The National Farm Animal Care Council Code of Practice for laying hens was rigorously followed by all producers.

Flocks were fed a corn and soy-based diet. Finally, except for one flock housed in enriched cages, all other birds had their beaks trimmed at one day of age at the hatchery by infrared technique.

Alternative housing systems

According to the housing systems used, the distribution of the 24 commercial farms was defined as follows: 12 enriched cage farms (EC) and 12 aviary farms (A).

All 24 farms were equipped with plastic or metal perches, a nest box enclosed by a plastic curtain, nipple drinkers and chain feeders. In accordance with the National Farm Animal Care Council requirements, each hen in EC had a minimum of 750 cm², 65 cm² and 15 cm of total, nesting and perching spaces, respectively. Each hen in A was allotted a minimum of 929 cm², 83.2 cm², and 15 cm of total, nesting and perching space, respectively.

In EC systems, the floor was of metallic mesh. The aviaries were multi-tiers and the floor was covered with litter from manure accumulation. The multi-tier aviaries were divided into pens to separate birds and avoid crowding.

For both alternative housing types (EC or A), daily egg collection was done mechanically with egg conveyor belts while access to feed and water was *ad libitum*. Temperature, humidity and lighting were automatically controlled. The average experience of producers was 2 years in both enriched and aviary systems.

Data collection

- ***Zootechnical performance assessment***

Data on egg laying rate (number of eggs per hen day), cumulative mortality (%) and feed consumption (g/hen/d) were collected throughout the egg laying cycle using daily production records kept by the producers. Data on average egg weight and hen weight were also obtained from production records. All data were collected weekly from 19 to 65 weeks of age.

- ***Egg quality assessment***

Data on internal and external egg characteristics were collected during four time periods set at 35, 45, 55 and 65 weeks of age during the laying cycle. For each period and each flock, 360 eggs were randomly selected at the egg grading station totalling 34 560 eggs. Each egg was visually examined to assess the following parameters (%): dirt from (160 mm² to 1/3 of the shell and dirt (≥ 1/3 of the shell), and cracks. Prevalence for each of these parameters was calculated as the proportion for each period and each flock. Calculations were expressed in number of eggs according to the following formula (example for prevalence of cracked eggs):

$$\text{Prevalence of cracked eggs (\%)} = \frac{\text{Number of cracked eggs}}{\text{Total eggs evaluated (n = 360)}} * 100$$

For the other parameters, 1 920 eggs were evaluated (20 eggs per period and per flock). Each egg was analysed using the DET6000 egg tester (Nabel Co. Ltd, Kyoto, Japan) to evaluate shell thickness (mm), shell strength (**kgF**), egg mass (g), Haugh unit (score) and yolk color intensity (score on the YolkFan color scale).

Statistical analyses

Statistical analyses were performed using the software R (version 4.0.3, r-project, 2022). All data were analyzed with the Linear Mixed Model with flock identification factor as random effect and age, housing and the two-way interaction between these factors as fixed effects. Data were tested for distribution normality. Results were considered significant when P-values were less than 0.05. P-values were calculated using the Satterthwaite method.

Some feed consumption data (g/day/hen) had to be discarded from the statistical analysis because due to physiological outliers. Descriptive statistics applied to performance parameters (egg-laying rate, feed consumption and cumulative mortality rate) include the mean followed by its standard error (\pm SE).

Regarding egg quality parameters, because of variation during planned egg collection for weeks 35, 45, 55 and 65 initially chosen, these weeks divided into periods 1 to 4 respectively representing the following groups ages; 1 (35 to 39 weeks of age), 2 (45 to 47 weeks), 3 (54 to 63 weeks) and 4 (64 to 70 weeks).

To perform multiple comparisons, post-hoc Tuckey tests with Benjamini-Hochberg correction were used on the P-values given that the period variable was a qualitative variable (1, 2, 3 or 4).

Results

- ***Farms description***

All farms were in the province of Quebec except one located in the Eastern part of the province of Ontario with enriched cages system. One enriched cage farm in Quebec had hens aged 23 weeks in the beginning of the cycle. Two farms, one in aviary and one in enriched cage, had white Dekalb hens, while all the others had white Lohmann hens.

For the enriched cage systems, size and number of birds per cage differed from farm to farm with the number of hens entered ranging from 9 500 to 100 000. Depending on the farm, birds in the enriched cages were housed on multiple levels, ranging from three to seven.

For the aviary system, the design also varied from farm to farm with the number of hens entered ranging from 13 000 to 43 000. Among the 12 aviaries, only one was single tier with a plastic mesh floor and litter area, the others were multi-tiers (3 levels) with litter. During the study, one aviary farm lost all its zootechnical performance data. Data on egg quality were not affected.

- **Zootechnical performance**

The results of the descriptive statistics for the performance parameters between enriched cages and aviaries are presented in Table 1. For the productivity of the flocks, the laying rate was on average 94.03 % (± 0.44) in enriched cages compared to 93.15 % (± 0.49) in the aviaries during the studied period. Feed consumption was 105.67 g/hen/day (± 0.35) for hens in enriched cages compared to 106.63 g/hen/day (± 0.38) for those in aviaries. The cumulative mortality (%) was on average slightly higher in the aviaries (2.30 ± 0.10) compared to the enriched cages (1.17 ± 0.05).

Table 1. Descriptive statistics (mean \pm SE) for performance parameters laying rate (%), feed consumption (g/hen/d) and cumulative mortality rate (%) between enriched cages and aviaries

Parameters	Enriched cages Mean (\pm SE)	Aviaries Mean (\pm SE)
Laying rate (%)	94.03 (± 0.44)	93.15 (± 0.49)
Feed consumption (g/hen/d)	105.67 (± 0.35)	106.63 (± 0.38)
Cumulative mortality (%)	1.17 (± 0.05)	2.30 (± 0.10)

The effect of housing type, age, and their interaction on zootechnical performances are shown in Table 2. The five dependent variables studied were the laying rate, feed consumption, the weekly cumulative mortality rate, average hen body weight and average weekly egg mass. There was no difference between aviaries and enriched cages for all performance parameters studied. Despite, zootechnical performances statistically similar between A and EC, age of the birds had a significant effect on all performance variables ($P < 0.001$) with all observed parameters; weekly laying rate, weekly feed consumption, weekly cumulative mortality rate, weekly average- hen body weight and weekly mean egg mass increasing with age. An age-housing interaction effect was observed for the weekly cumulative mortality rate ($P < 0.001$). Cumulative mortality rate increased faster with age in aviaries compared to enriched cages ($P < 0.001$) (Figure 9). During this study, the average weekly cumulative mortality rate was slightly higher in flocks housed in aviaries ($2.30 \% \pm 0.10$) than those housed in enriched cages ($1.17 \% \pm 0.05$).

Table 2. Effects of housing type, age and age-housing interaction on zootechnical performances in laying hens between 19 and 65 weeks of age housed in aviaries (n= 11) and enriched cages (n= 12)

Var. depend.	Var. explic.	Som. sq	Moy. Sq	NumDf	DenDf	F-value	P-value
Laying rate (%)	Housing	244.20	244.20	1	734.70	2.306	0.129
	Age	9375.50	9375.50	1	1041.80	88.525	< 0.001
	Housing x Age	151.40	151.40	1	1041.80	1.430	0.232
Feed consumption (g/hen/d)	Housing	4.50	4.50	1	31.82	0.147	0.704
	Age	7731.10	7731.10	1	848.63	252.278	< 0.001
	Housing x Age	31.00	31.00	1	848.63	1.013	0.315
Cumulative mortality (%)	Housing	0.14	0.14	1	22.53	0.418	0.525
	Age	858.43	858.43	1	1043.01	2521.554	< 0.001
	Housing x Age	15.89	15.89	1	1043.01	46.689	< 0.001
Hen body weight (g)	Housing	374.00	374.00	1	37.88	0.139	0.712
	Age	1.94E+06	1.94E+06	1	414.18	719.165	< 0.001
	Housing x Age	7791.00	7791.00	1	414.18	2.891	0.090
Egg mass (g)	Housing	3.80	3.80	1	145.18	0.488	0.486
	Age	8187.40	8187.40	1	754.11	1047.963	< 0.001
	Housing x Age	5.00	5.00	1	754.11	0.638	0.425

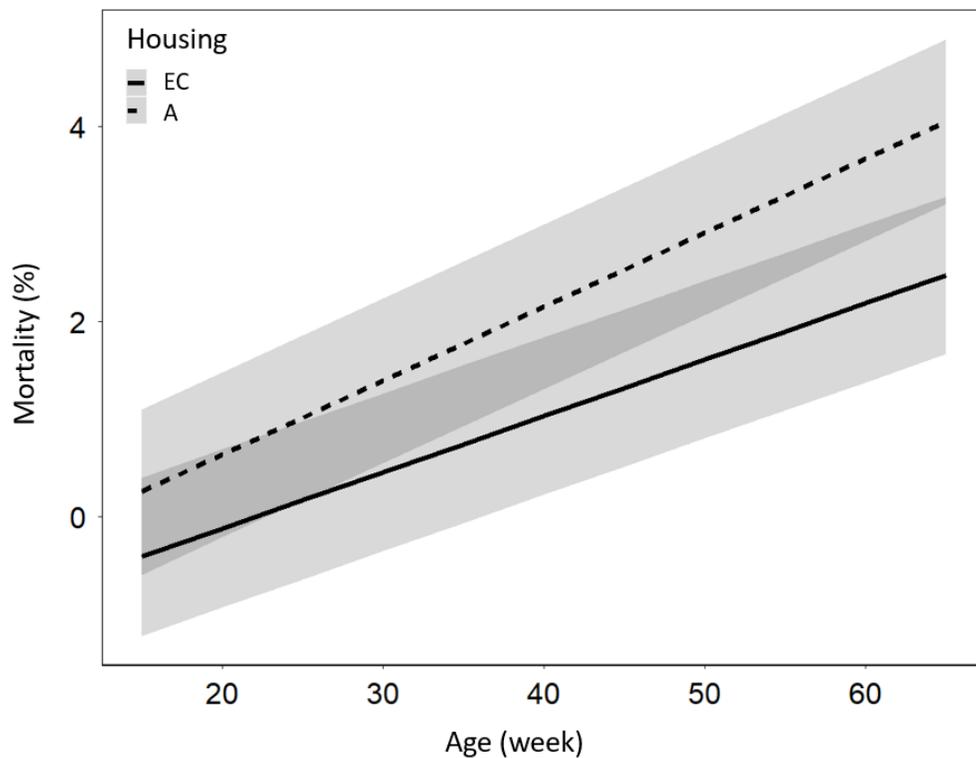


Figure 9. Weekly cumulative mortality rate (%) by age and by the two housing types (A and EC) in commercial laying hens

- **Egg quality**

The effect of housing type, sampling period and housing-sampling period interaction on external egg quality parameters are presented in Table 3. The two dependent variables studied were dirty egg and cracked egg prevalences. No differences were observed between aviaries and enriched cages on these two parameters studied. The cracked eggs prevalence was affected by the sampling period or in other words by the age of bird ($P < 0.001$) but not dirty eggs with the number of cracked eggs increasing overtime as shown in Figure 2.

Table 3. Effects of housing, sampling period and the housing-sampling period interaction on dirty egg and cracked egg prevalences in commercial laying hens ($n = 34\ 560$ eggs)

Var. depend.	Var. explic.	Som. sq	Moy. Sq	NumDf	DenDf	F-value	P-value
Dirty eggs (%)	Housing	0.01	0.01	1	23.02	0.095	0.761
	Period	0.46	0.15	3	44.82	1.908	0.142
	Housing × Period	0.24	0.08	3	44.82	1.015	0.395
Cracked eggs (%)	Housing	1.94	1.94	1	21.52	1.404	0.249
	Period	80.46	26.82	3	43.60	19.382	< 0.001
	Housing × Period	5.10	1.70	3	43.60	1.229	0.311

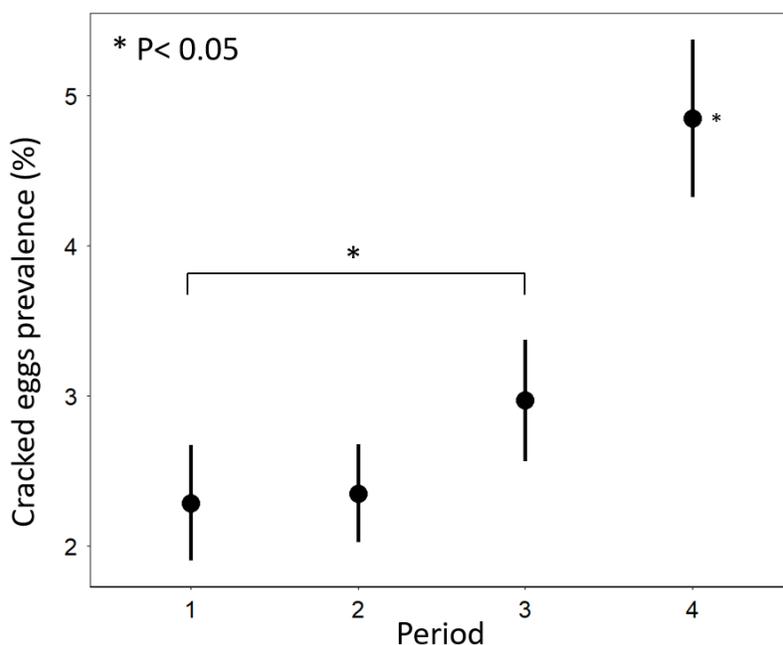


Figure 10. Means (\pm SE) for the four periods for the variable of cracked eggs prevalence ($n = 34\ 560$ eggs)

The effect of housing type, sampling period and housing-sampling period interaction on egg quality are shown in Table 4. No differences were detected between aviaries and enriched cages on all egg quality parameters studied. Despite, egg quality parameters statistically similar between aviaries and enriched cages, sampling period had a significant effect on all parameters ($P < 0.001$) while Haugh unit and yolk color intensity were significantly affected by the housing-sampling period interaction ($P < 0.001$).

Table 4. Effects of housing, sampling period and the housing-sampling period interaction on egg quality in commercial laying hens ($n = 1\ 920$ eggs)

Var. depend.	Var. explic.	Som. sq	Moy. Sq	NumDf	DenDf	F-value	P-value
Haugh Unit (score)	Housing	0.93	0.93	1	13.46	0.031	0.863
	Period	3098.60	1032.87	3	911.78	34.329	< 0.001
	Housing × Period	760.25	253.42	3	911.78	8.423	< 0.001
Shell strength (kgf)	Housing	2.37	2.37	1	13.70	4.207	0.060
	Period	90.45	30.15	3	872.02	53.464	< 0.001
	Housing × Period	3.83	1.28	3	872.02	2.264	0.080
Shell thickness (mm)	Housing	0.00	0.00	1	13.84	1.453	0.248
	Period	0.04	0.01	3	854.42	16.123	< 0.001
	Housing × Period	0.00	0.00	3	854.42	0.060	0.981
Yolk color intensity (score)	Housing	0.58	0.58	1	13.18	1.299	0.275
	Period	11.08	3.69	3	844.27	8.197	< 0.001
	Housing × Period	9.02	3.01	3	844.27	6.674	< 0.001
Egg mass (g)	Housing	0.15	0.15	1	13.75	0.01	0.922
	Period	462.13	154.04	3	913.68	10.26	< 0.001
	Housing × Period	58.52	19.51	3	913.68	1.30	0.274

Table 5 compiles Tukey's post-hoc tests results for multiple comparisons between periods for the Haugh unit, shell strength and thickness, yolk color intensity and egg mass parameters. There would appear to be many significant differences (after Benjamini-Hochberg correction) between sampling periods. For the variables Haugh unit and shell strength, differences between periods were all significant ($P < 0.05$).

Table 5. Multiple comparisons between sampling periods for the Haugh unit, strength and thickness shell, yolk color intensity, egg mass parameters in commercial laying hens (n= 1 920 eggs)

Comparison	Haugh unit		Shell strength		Shell thickness		Yolk color intensity		Egg mass	
	Estimate	P-value	Estimate	P-value	Estimate	P-value	Estimate	P-value	Estimate	P-value
1-2	1.32	0.039	0.20	0.022	0.00	0.405	-0.26	0.003	-0.48	0.290
1-3	3.24	< 0.001	0.63	< 0.001	0.01	0.002	0.00	0.951	-1.15	0.017
1-4	5.64	< 0.001	0.92	< 0.001	0.01	< 0.001	0.03	0.884	-2.16	< 0.001
2-3	1.91	< 0.001	0.43	< 0.001	0.01	< 0.001	0.26	< 0.001	-0.67	0.083
2-4	4.32	< 0.001	0.72	< 0.001	0.02	< 0.001	0.29	< 0.001	-1.69	< 0.001
3-4	2.41	< 0.001	0.29	< 0.001	0.00	0.276	0.03	0.884	-1.02	0.012

For a better representation of the results, the Figure 11 illustrates the results presented in Table 5 for the variables Haugh unit (a) and shell strength (b) and Figure 12 those for the variables shell thickness (c), yolk color intensity (d) and egg mass (e).

The Haugh unit, as freshness indicator, did not differ between housing type but fluctuated significantly with time ($P < 0.05$) with an increase early in lay and then a decrease as the hens aged (Figure 11.a).

An effect of bird age was observed for shell strength which decreased over time ($P < 0.05$). During periods 1 and 2, shell strength decreased slightly (between 5.00 - 5.25 kgf) significantly ($P < 0.05$) but showed a marked significant drop ($P < 0.05$) thereafter (below 4.50 kgf at the end). As the hens aged, the shell strength deteriorated with a significant ($P < 0.05$) degradation between periods 2 and 3) (Figure 11.b).

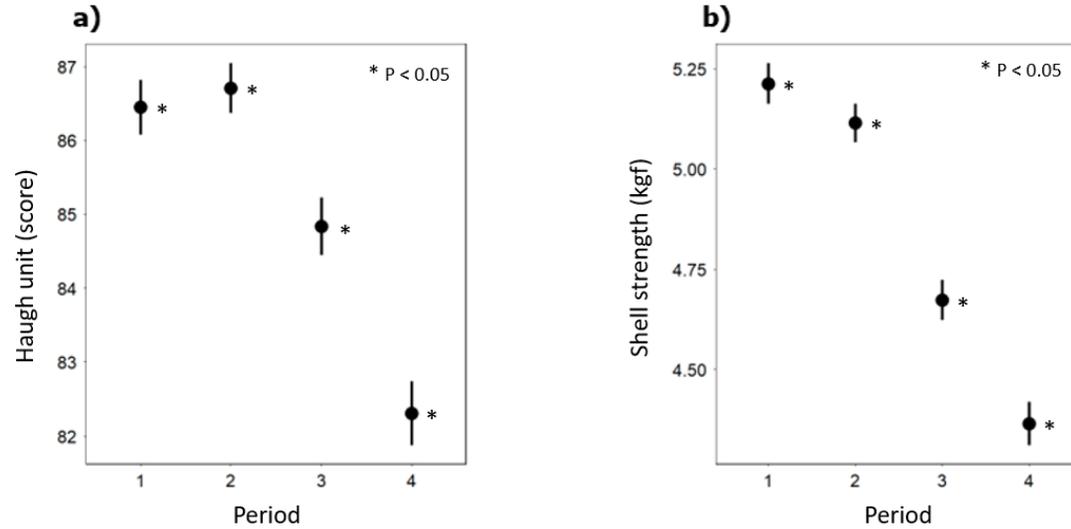


Figure 11. Means (\pm SE) for the four periods of the variables a) Haugh unit (score); b) Shell strength (kgF); $n = 1\ 920$ eggs

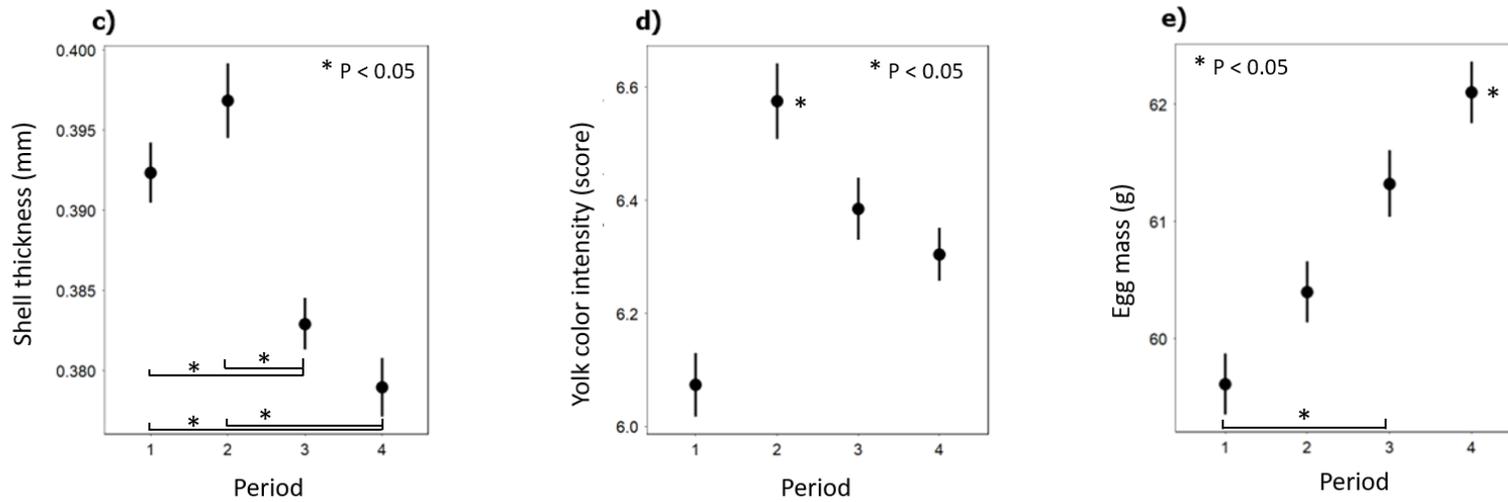


Figure 12. Means (\pm SE) for the four periods of the variables c) Shell thickness (mm); d) Yolk color intensity (score); e) Egg mass (g); $n = 1\ 920$ eggs

According to the Figure 12, eggs had significantly thicker shells in periods 1 and 2 compared to periods 3 and 4 ($P < 0.05$). However, age did not affect shell thickness after 54 weeks of age (periods 3 and 4).

Yolk color intensity fluctuated with hen age with the highest yolk color intensity observed between 45 and 47 weeks of age (period 2). The yolk was significantly darker in period 2 compared to the other periods of the cycle ($P < 0.05$).

Egg mass increased gradually with the age of the hen. At the end of the laying cycle (period 4), hen age had a significant effect on egg mass ($P < 0.05$).

Table 6. Multiple comparisons for interactions between type of housing and period for the Haugh Unit and yolk color intensity variables

Period	Type of housing	Comparison	Haugh unit		Yolk color intensity	
			Estimate	P-value	Estimate	P-value
1		EC - A	-4.46	0.010	-0.17	0.662
2		EC - A	1.05	0.460	-0.41	0.249
3		EC - A	1.19	0.425	-0.61	0.111
4		EC - A	1.40	0.366	-0.06	0.832
	EC	1-2	-1.43	0.049	-0.14	0.195
	EC	1-3	0.42	0.544	0.22	0.052
	EC	1-4	2.72	0.001	-0.03	0.832
	EC	2-3	1.84	0.018	0.36	0.001
	EC	2-4	4.14	< 0.001	0.11	0.343
	EC	3-4	2.30	0.007	-0.24	0.052
	A	1-2	4.08	0.001	-0.38	0.018
	A	1-3	6.06	< 0.001	-0.23	0.167
	A	1-4	8.57	< 0.001	0.08	0.652
	A	2-3	1.99	0.011	0.15	0.167
	A	2-4	4.50	< 0.001	0.46	< 0.001
	A	3-4	2.51	0.001	0.31	0.002

Table 6 presents Tukey's post-hoc tests results for multiple comparisons between housing type and period interactions for the Haugh unit and yolk color intensity variables. There would appear to be several significant differences between periods. Interestingly these differences differed depending on the housing (Figure 13).

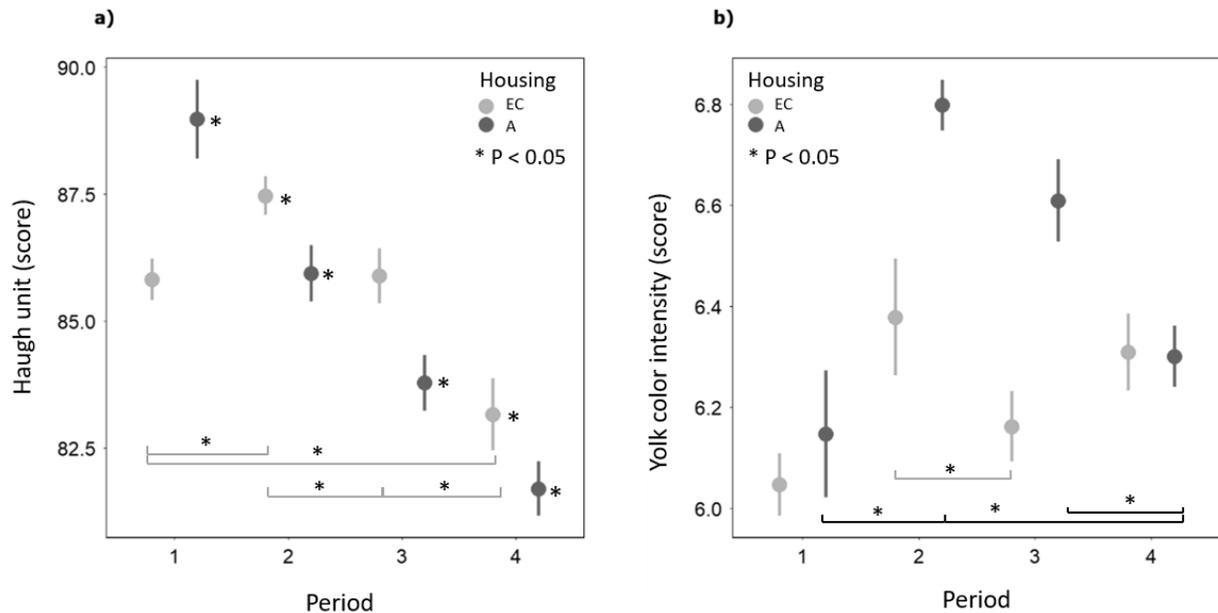


Figure 13. Means (\pm SE) by housing and period of a) Haugh unit (score) and b) yolk color intensity (score); $n= 1\ 920$ eggs

Age and housing (A or EC) interactions had a significant effect on Haugh unit ($P < 0.05$). In aviary, Haugh unit scores were on average significantly higher at the beginning of the cycle ($P < 0.05$), then progressively decreased over time ($P < 0.05$) while in enriched cages, it first increased from period 1 to 2 then decreased steadily as the hens aged. On average, for both housing types, the Haugh unit score was significantly higher in period 2 ($P < 0.05$).

Yolk color intensity was significantly affected ($P < 0.05$) by the interaction between age and housing (aviary or enriched cage). In aviary, yolk intensity increased between period 1 and 2, and then gradually decreased with hen age. In enriched cages, yolk color underwent a series of increases and decrease of intensity as the hens aged.

Discussion

This is the first study conducted on commercial farms in Quebec to evaluate hens' performance and egg quality between aviaries and enriched cages. Our results should be very encouraging to egg producers as we did not observe difference in performance and egg quality strictly related to farm type.

The farms in the sample differed in many ways such as flock size and management, thus a farm factor was defined as a random effect and included in the statistical analysis to correct for differences between farms. These data explore the full complexity of research carried out at the commercial scale (Karcher et al., 2015).

Alternative housing has been designed to meet the behavioural needs of laying hens in terms of nesting, perching, scratching and pecking and, to some extent, dust bathing behaviour. As a result, the complexity of the environment provided by aviaries leads to increased physical activity of hens (Elson and Croxall, 2006; Yilmaz Dikmen et al., 2016) and potential competition between birds for equipment or resources thus generating higher energy expenditure and lower productivity (Michel and Huonnic, 2003; Shimmura et al., 2007). However, our study showed that performance parameters were statistically similar between these two alternative systems. Similar egg production in aviary and enriched cages, as reported here, agrees with previous publications (Taylor and Hurnik, 1996; Shimmura et al., 2010; Ahammed et al., 2014). In the present experiment, the laying rate was on average 93.15 % (± 0.49) in aviary compared to 79.80 % measured in the Englmaierova et al. (2014) study. The experience gained over time by producers is also a factor to consider when evaluating flock performance. The experience of the participating producers was up to 3 years in enriched cages and 4 years in aviaries. Of the 24 farms, only two enriched cage producers and one aviary producer were at their first flock ever with their new system. Whether in enriched cages or in aviaries, the average experience of producers was 2 years.

In the systematic review by Aerni et al. (2005) collecting studies published between 1980 and 2003 on the productivity of laying hens in aviaries, the authors found higher consumption in hens housed in aviaries compared to those in conventional. This comparative analysis revealed that hens in aviaries consumed 3.0 % more feed. However, even if hens in our participating aviaries consumed on average 1.0 % more feed than those housed in enriched cages, this difference was not significant and overall feed consumption was equivalent.

This result agrees with Ahammed et al. (2014) and Englmaierova et al. (2014). It is well known that type of equipment, additional space, and dispersal of feed resources have led to an increase physical and exploratory activity of birds housed in aviaries (Elson and Croxall, 2006; Yilmaz Dikmen et al., 2016), and a higher energy requirement. Feed should therefore be more energetic to adequately balance physiological needs. Unfortunately feed analysis and nutritional values could not be carried out throughout the production cycle on all farms. Further research is needed to better understand how housing type affects feed intake and especially the distribution of energy according to the level of activity of birds.

For multi-tier and single-tier aviaries, the literature reports negative impacts on performance parameters and egg quality that can affect the profitability of commercial farms (Elson and Croxall, 2006; Englmaierova et al., 2014; Jones et al., 2014; Karcher et al., 2015; Matthews and Sumner, 2015). For Van Staaveren et al. (2018), cumulative mortality was on average higher in aviaries with 2.1 % (± 0.34) compared to 1.1 % (± 0.99) in enriched cages. In this experiment, the results are similar with an average mortality of 2.3 % (± 0.10) in aviary compared to 1.2 % (± 0.05) in enriched cages. In our study, from the moment they entered the laying house around 20 weeks of age, mortality increased faster with age in aviaries compared to enriched cages. For Rodenburg et al. (2005) mortality in aviaries is mainly due to environmental adaptation problems. However, during their growth phase the pullets were reared in the same production system as in the laying house in order to overcome the problems of adaptation to the environment. In other words, the hens housed in aviaries or enriched cages were reared in their respective production system. As the flocks follow one another in laying house, mortality gradually decreases because producers gain experience in managing these new systems. In aviary each year of experience gained by producers is associated with an average reduction of 0.4 to 0.6 % in mortality (Schuck-Paim et al., 2021). It is now inappropriate to pool or compare mortality data that are a few years old. The similarity in Haugh unit scores between the enriched aviaries and cages found in this study agrees with the results of Dedousi et al. (2020) who showed no significant difference in Haugh unit based on housing. In contrast, variations in egg Haugh units are mainly related to bird aging. Indeed, the increase in scores according to age observed at the beginning of the egg-laying cycle is consistent with the observations of Philippe et al. (2020).

Similarly, the gradual degradation of Haugh units over time is in adequacy with the results presented by Molnar et al. (2016) and Philippe et al. (2020). For Philippe et al (2020), Haugh units averaged 88.5 in enriched cages and 89.5 in aviaries at 32 weeks of age. Compared to period 1 of this study, these results coincide with those found in aviaries (average between 87.5 and 90.0) but are clearly higher than those found in enriched cages (average below 87.5). For Coutts and Wilson (1990) cited in Gerber's study (2006), Haugh units would decrease by 1.5 to 2 units for each month of laying. Toward the end of the laying cycle, the Haugh unit of eggs at 60 weeks of age was 79.5 and then significantly decreased ($P < 0.001$) each week by 0.38 units as the hens aged (Molnar et al., 2016). Haugh units observed in this study averaged above 82.0 at the end of the cycle (period 4). Some authors agree that many factors influence albumen quality such as hen strain and age, storage time and conditions, and feed composition (Roberts, 2004; Jones et al., 2014; Lordelo et al., 2017; Pires et al., 2021). In addition, the timing of laying and collection would have an influence the Haugh unit of eggs. In their study, Bovera et al. (2014) found a lower Haugh unit for eggs laid and collected in the morning compared to the afternoon. Philippe et al. (2020) explained that their variations could be associated with a series of chemical changes. As the egg ages, the protein in the albumen degrades, causing a loss of water and carbon dioxide. These losses result in a decrease in albumen height and an increase in its pH. In their study, Singh et al. (2009) hypothesized that eggs from single-tier or multi-tier aviary systems would be more exposed to ammonia from litter, which would reduce the score of Haugh unit. Although the Haugh unit is an important measure to consider in the internal characteristics of egg quality, it may be difficult to assess this parameter only by the housing system. This topic could be further explored with a study on the influence of temperature and storage time on egg freshness.

Regarding the prevalence of dirty eggs and cracked eggs, it may be that over time, improvement in nest design and their layout by manufacturers, as well as husbandry management, have helped to reduce differences between enriched cages and aviaries. In general, the results presented in this study support those of Roberts (2004) and Pires et al. (2021) who showed that the effects on egg quality are multifactorial. The impact of age on the proportion of cracked eggs and shell parameters (strength and thickness) could be explained by the influence of diet and egg size. In this study, the positive association observed between egg mass and hen age is consistent with many studies that reported that hens lay heavier eggs as they age (Bennett, 1992; Saunders-Blades et al., 2009; Tumova and Gous, 2012; Molnar et al., 2016; Philippe et al., 2020).

To ensure shell formation, the hen must export more than 2 g of calcium, or 10 % of total body calcium (Nys et al., 2010). As hens age, a larger area must be covered by the shell. As a result, since the amount of calcium exported is limited (from 2.0 to 2.5 g), the size of the egg results in a thinner shell, which is susceptible to cracking. In contrast, a smaller egg will tend to be stronger because of its thicker shell. Vitamin D also has an important role to play in calcium and phosphorus binding. Vitamin D deficiency leads to shell fragility thus increasing the risk of cracks (Hendrix Genetics, 2019). In addition, collection and transport are critical times for egg handling (Dunn, 2013; Hamilton and Bryden, 2021). Due to their higher kinetic energy, large eggs are more difficult to handle and could easily break, which require greater care and delicacy in their handling. The negative effect of aging observed in this study on shell quality characteristics (thickness and strength) has already been reported by Ketelaere et al. (2002), Guesdon et al. (2006) and Kemps et al. (2006).

The lack of a significant effect of housing system on yolk color intensity observed in this study agrees with many authors (Dukic Stojcic et al., 2009; Sekeroglu et al., 2010; Yilmaz Dikmen et al., 2017). Variations in yolk intensity with housing and age are consistent with the results of Philippe et al. (2020). However, their results showed a more intense yolk at 32 weeks of age (7.08 in aviary and 6.80 in enriched cage) compared to period 1 of this study (yolk between 6.0 and 6.2 regardless of housing type). The nutritional aspect should have been studied in order to provide more explanations for the variations in yolk intensity according to age. Indeed, the analysis of the ingredients that make up the feed, in particular the proportion of corn naturally containing pigments, could have largely explained the intensity of the yolk.

The impact of age on egg mass is an expected result that supports the consensus that egg mass increases with bird age and is thus related to hen body weight (Bennett, 1992; Saunders-Blades et al., 2009; Tumova et Gous, 2012; Englmaierova et al., 2014; Molnar et al., 2016; Philippe et al., 2020).

Based on these results, the performance of birds and eggs quality in aviaries and enriched cages are similar. Age is not the only factor that has an impact on the performance of laying hens and eggs quality. Genetics, animal density, nutrition, health, management and environment are also important factors to consider. The study design used may include potential biases such as the number of weeks included in each period (5 weeks in period 1, 3 in period 2, 10 in period 3 and 7 in period 4), the sample size (12 in EC and 12 in A) or the flock size for each farm (between 9 500 and 100 000 in enriched cages vs. 13 000 - 43 000 in aviaries).

Conclusion

Enriched cages and aviaries are two types of alternative housing designed to improve animal welfare and promote the expression of natural bird behaviors. While bird performance parameters were similar between EC and A, a rapid increase in mortality rate with age was noted in aviaries. However, age was not the only factor impacting the performance of laying hens. Genetic improvement of birds and aviary design by manufacturers as well as the accumulation of greater producer experience have likely reduced the differences between aviaries and enriched cages in bird performance over the past decades. Although egg quality was found to be similar in both housing systems, internal and external egg characteristics such as shell thickness and strength or yolk color are more directly influenced by age and diet than by the type of housing as such. Therefore, future studies should focus on more controlled research contexts to delineate the specific impact of housing on egg quality measures. In conclusion, this study has shown that in Quebec, on a commercial scale, performance and egg quality are similar between aviaries and enriched cages.

Acknowledgments

This study was supported and funded by the Egg farmers of Canada (Ottawa, Canada), Egg farmers of Quebec (Quebec, Canada) and a MITACS program. The authors gratefully acknowledge the contribution of Nathalie Gaulin and Angele Hudon Tanguay (Egg farmers of Quebec, Quebec, Canada) in farm selection and egg measurements; Lila Maduro (Chair in Poultry Research, Faculty of veterinary medicine of the University of Montreal, Quebec, Canada) in data collection; Guy Beauchamp and Tristan Juette (Faculty of veterinary medicine of the University of Montreal, Quebec, Canada) in statistical analysis; and participating egg farmers in this study for giving access to their flocks and farm records.

References

1. Abrahamsson P., and R. Tauson. 1998. Performance and Egg Quality of Laying Hens in an Aviary System. *J. Appl. Poult. Res.* 7(3):225-232.
2. Aerni V., Brinkhof M. W. G., Wechsler B., Oester H., and E. Fröhlich. 2005. Productivity and mortality of laying hens in aviaries: a systematic review. *Worlds Poult. Sci. J.* 61(1):130-142.
3. Ahammed M., Chae B. J., Lohakare J., Keohavong B., Lee M. H., Lee S. J., Kim D. M., Lee J. Y., 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(8):1196-1203.
4. Bennett C. D. 1992. Influence of Egg Weight on Egg Breakage in the Field. *J. Appl. Poult. Res.* 1(4):399-402.
5. Blokhuis H. J., Van Niekerk T. F., Bessei W., Elson A., Guémené D., Kjaer J. B., Maria Levrino G. A., Nicol C. J., Tauson R., Weeks C. A., and H. A. Van De Weerd. 2007. The LayWel project: welfare implications of changes in production systems for laying hens. *Worlds Poult. Sci. J.* 63(1):101-114.
6. Bovera F., Iannaccone F., Piccolo G., Meo C. D., Russo F., Piscitelli D., Attia Y. A., Hassan S. S. A. and A. Nizza. 2014. Effect of Group Size on Performance and Egg Quality of Laying Hens During 20 to 36 Weeks of Age. *Ital. J. Anim. Sci.* 13(1):3148.
7. Brand H. V. D., Parmentier H. K., and B. Kemp. 2004. Effects of housing system (outdoor vs cages) and age of laying hens on egg characteristics. *Br. Poult. Sci.* 45(6):745-752.
8. Dedousi A., Đukić Stojčić M., and E. Sossidou. 2020. Effects of housing systems on keel bone damage and egg quality of laying hens. *Vet. Res. Forum Int. Q. J.* 11(4):299-304.
9. Đukić Stojčić M., Perić L., Bjedov S., and N. Milošević. 2009. The quality of table eggs produced in different housing systems. *Biotechnol. Anim. Husb.* 25(5/6):1103-1108.
10. Dunn I. 2013. Long Life Layer; genetic and physiological limitations to extending the laying period. 19th European Symposium on Poultry Nutrition. 19:124-129.
11. Elson H. A., and R. Croxall. 2006. European study on the comparative welfare of laying hens in cage and non-cage systems. *Arch. Für Geflügelkd.* 70(5):194-198.
12. Englmaierová M., Tůmová E., Charvátová V., 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(8):345-352.

13. Fédération des producteurs d'œufs du Québec. 2022. Nos publications : Rapport annuel 21-22. Accessed May 2022. <https://oeuf.ca/la-federation/nos-publications/>
14. Gautron J., Réhault-Godbert S., Van de Braak T. G. H., and I. C. Dunn. 2021. Review: What are the challenges facing the table egg industry in the next decades and what can be done to address them? *Animal*. 15:100282.
15. Gerber N. 2006. Factors affecting egg quality in the commercial laying hen: a review. Accessed Oct. 2022. https://www.eggfarmers.org.nz/wp-content/uploads/2012/04/factors_affecting_egg_quality.pdf
16. Guesdon V., Ahmed A. M. H., Mallet S., Faure J. M., and Y. Nys. 2006. Effects of beak trimming and cage design on laying hen performance and egg quality. *Br. Poult. Sci.* 47(1):1-12.
17. Guinebretière M., Huneau-Salaün A., Huonnic D., and V. Michel. 2012. Cage hygiene, laying location, and egg quality: The effects of linings and litter provision in furnished cages for laying hens. *Poult. Sci.* 91(4):808-816.
18. Hamilton R. M. G., and W. L. Bryden. 2021. Relationship between egg shell breakage and laying hen housing systems – an overview. *Worlds Poult. Sci. J.* 77(2):249-266.
19. Hendrix Genetics. 2019. La qualité de coquille. Accessed Sept. 2022. <https://pondeuses.hendrix-genetics.fr/fr/news/qualite-de-coquille/>
20. Hidalgo A., Rossi M., Clerici F., and S. Ratti. 2008. A market study on the quality characteristics of eggs from different housing systems. *Food Chem.* 106(3):1031-1038.
21. Jones D. R., Karcher D. M., and Z. Abdo. 2014. Effect of a commercial housing system on egg quality during extended storage. *Poult. Sci.* 93(5):1282-1288.
22. Karcher D. M., Jones D. R., Abdo Z., Zhao Y., Shepherd T.A., and H. Xin. 2015. Impact of commercial housing systems and nutrient and energy intake on laying hen performance and egg quality parameters. *Poult. Sci.* 94(3):485-501.
23. Kemps B. J., Govaerts T., De Ketelaere B., Mertens K., Bamelis F. R., Bain M. M., Decuyper E. M., and J. G. De Baerdemaeker. 2006. The influence of line and laying period on the relationship between different eggshell and membrane strength parameters. *Poult. Sci.* 85(7):1309-1317.
24. Ketelaere B. D., Govaerts T., Coucke P., Dewil E., Visscher J., Decuyper E., and J. De Baerdemaeker. 2002. Measuring the eggshell strength of 6 different genetic strains of laying hens: Techniques and comparisons. *Br. Poult. Sci.* 43(2):238-244.

25. Les Producteurs d'Oeufs du Canada. 2022. Rapport annuel 2021. Accessed May 2022. <https://www.producteursdoeufs.ca/?s=rapport+annuel>
26. Lesnierowski G, and J. Stangierski. 2018. What's new in chicken egg research and technology for human health promotion? - A review. *Trends Food Sci. Technol.* 71:46-51.
27. Lordelo M., Fernandes E., Bessa R. J. B., and S. P. Alves. 2017. Quality of eggs from different laying hen production systems, from indigenous breeds and specialty eggs. *Poult. Sci.* 96(5):1485-1491.
28. Matthews W. A., and D. A. Sumner. 2015. Effects of housing system on the costs of commercial egg production. *Poult. Sci.* 94(3):552-557.
29. Meng F., Chen D., Li X., Li J., and J. Bao. 2015. Effects of large or small furnished cages on performance, welfare and egg quality of laying hens. *Anim. Prod. Sci.* 55(6):793.
30. Michel V., and D. Huonnic. 2003. A comparison of welfare, health and production performance of laying hens reared in cages or in aviaries. *Br. Poult. Sci.* 44(5):775-776.
31. Molnár A., Maertens L., Ampe B., Buyse J., Kempen I., Zoons J., and E. Delezie. 2016. Changes in egg quality traits during the last phase of production: is there potential for an extended laying cycle? *Br. Poult. Sci.* 57(6):842-847.
32. Nimmermark S., Lund V., Gustafsson G., and W. Eduard. 2009. Ammonia, dust and bacteria in welfare-oriented systems for laying hens. *Ann. Agric. Environ. Med.* 16(1):103-113.
33. Nys Y., Hincke M. T., Hernandez-Hernandez A., Rodriguez-Navarro A. B., Gomez-Morales J., Jonchère V., Garcia- Ruiz J. M., and J. Gautron. 2010. Eggshell ultrastructure, properties and the process of mineralization: involvement of organic matrix in the eggshell fabric. *INRA Prod. Anim.* 23(2):143-154.
34. Oliveira D. L. de, Nascimento J. W. B. do, Camerini N. L., Silva R. C., Furtado D. A., and T. G. P. Araujo. 2014. Performance and quality of egg laying hens raised in furnished cages and controlled environment. *Rev. Bras. Eng. Agríc. E Ambient.* 18(11):1186-1191.
35. Philippe F. X., Mahmoudi Y., Cinq-Mars D., Lefrançois M., Moula N., Palacios J., Pelletier F., and S. Godbout. 2020. Comparison of egg production, quality and composition in three production systems for laying hens. *Livest. Sci.* 232:103917.
36. Pires P. G. da S., Bavaresco C., Prato B. S., Wirth M. L., and P. de O. Moraes. 2021. The relationship between egg quality and hen housing systems - A systematic review. *Livest. Sci.* 250:104597.
37. Roberts J. R. 2004. Factors Affecting Egg Internal Quality and Egg Shell Quality in Laying Hens. *J. Poult. Sci.* 41(3):161-177.

38. Rodenburg T. B., Tuytens F. A. M., Sonck B., De Reu K., Herman L., and J. Zoons. 2005. Welfare, Health, and Hygiene of Laying Hens Housed in Furnished Cages and in Alternative Housing Systems. *J. Appl. Anim. Welf. Sci.* 8(3):211-226.
39. Rondoni A., Asioli D., and E. Millan. 2020. Consumer behaviour, perceptions, and preferences towards eggs: A review of the literature and discussion of industry implications. *Trends Food Sci. Technol.* 106:391-401.
40. Saunders-Blades J. L., MacIsaac J. L., Korver D. R., and D. M. Anderson. 2009. The effect of calcium source and particle size on the production performance and bone quality of laying hens. *Poult. Sci.* 88(2):338-353.
41. Schuck-Paim C., Negro-Calduch E., and W. J. Alonso. 2021. Laying hen mortality in different indoor housing systems: a meta-analysis of data from commercial farms in 16 countries. *Sci. Rep.* 11(1):3052.
42. Sekeroglu A., Sarica M., Demir E., Ulutas Z., Tilki M., Saatci M., and H. Omed. 2010. Effects of Different Housing Systems on Some Performance Traits and Egg Qualities of Laying Hens. *J. Anim. Vet. Adv.* 9(12):1739-1744.
43. Sharma M. K., McDaniel C., Kiess A. S., Loar R. E., and P. Adhikari. 2022. Effect of housing environment and hen strain on egg production and egg quality as well as cloacal and eggshell microbiology in laying hens. *Poult. Sci. J.* 101(2):101595.
44. Shimmura T., Eguchi Y., Uetake K., and T. Tanaka. 2007. Behavior, performance and physical condition of laying hens in conventional and small furnished cages. *Anim. Sci. J.* 78(3):323-329.
45. Shimmura T., Hirahara S., Azuma T., Suzuki T., Eguchi Y., Uetake K., and T. Tanaka. 2010. Multi-factorial investigation of various housing systems for laying hens. *Br. Poult. Sci.* 51(1):31-42.
46. Singh R., Cheng K. M., and F. G. Silversides. 2009. Production performance and egg quality of four strains of laying hens kept in conventional cages and floor pens. *Poult. Sci.* 88(2):256-264.
47. Stämpfli K., Buchwalder T., Fröhlich E. K. F., and B. A. Roth. 2013. Design of nest access grids and perches in front of the nests: Influence on the behavior of laying hens. *Poult. Sci.* 92(4):890-899.
48. Taylor A. A., and J. F. Hurnik. 1996. The Long-Term Productivity of Hens Housed in Battery Cages and an Aviary. *Poult. Sci.* 75(1):47-51.
49. The R Foundation. 2022. R: The R Project for Statistical Computing. Accessed Jul. 2022. <https://www.r-project.org/>

50. Tůmová E., and R. M. Gous. 2012. Interaction of hen production type, age, and temperature on laying pattern and egg quality. *Poult. Sci.* 91(5):1269-1275.
51. Tuytens F. A. M., Struelens E., and B. Ampe. 2013. Remedies for a high incidence of broken eggs in furnished cages: Effectiveness of increasing nest attractiveness and lowering perch height. *Poult. Sci.* 92(1):19-25.
52. Van Staaveren N., Decina C., Baes C., Widowski T., Berke O., and A. Harlander-Matauschek. 2018. A Description of Laying Hen Husbandry and Management Practices in Canada. *Animals.* 8(7):114.
53. Weeks C. A., and C. J. Nicol. 2006. Behavioural needs, priorities and preferences of laying hens. *Worlds Poult. Sci. J.* 62(2):296-307.
54. Yilmaz Dikmen B., İpek A., Şahan Ü., Petek M., and A. Sözcü. 2016. Egg production and welfare of laying hens kept in different housing systems (conventional, enriched cage, and free range). *Poult. Sci.* 95(7):1564-1572.
55. Yilmaz Dikmen B., Ipek A., Şahan Ü., Sözcü A., and S. C. Baycan. 2017. Impact of different housing systems and age of layers on egg quality characteristics. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 41(1):77-84.

Discussion générale

Tandis que ces nouveaux systèmes de production sont adoptés par les producteurs d'œufs et implantés progressivement à travers le Québec, certaines incertitudes persistent quant à l'impact des logements alternatifs (volières et cages enrichies) sur les performances zootechniques et sur la qualité des œufs. Cette étude scientifique est la première réalisée dans des fermes commerciales au Québec pour évaluer et comparer les performances et la qualité des œufs entre les volières et les cages enrichies. Les fermes de l'échantillon différaient à bien des égards, mais un facteur élevage a été défini comme effet aléatoire et inclus dans l'analyse statistique pour corriger les différences entre les élevages. Ces données explorent toute la complexité de la recherche menée à l'échelle commerciale (Karcher et al., 2015).

Tel que présenté dans cette étude, les logements alternatifs ont été conçus pour répondre favorablement aux besoins comportementaux des poules pondeuses en matière de nidification, de perchoir, de grattage et de picorage et, dans une certaine mesure, de comportement de bain de poussière. De ce fait, la complexité de l'environnement qu'offrent notamment les volières, entraîne une augmentation de l'activité physique des poules (Elson et Croxall, 2006; Yilmaz Dikmen et al., 2016), une concurrence potentielle entre les oiseaux pour les installations engendrant ainsi une dépense d'énergie plus importante et une productivité moindre (Michel et Huonnic, 2003; Shimmura et al., 2007). Cette étude a montré que les paramètres de performance étaient similaires entre les deux logements alternatifs. Une production d'œufs semblable en volière et en cage enrichie, telle que rapportée ici, est en accord avec des recherches antérieures (Taylor et Hurnik, 1996; Shimmura et al., 2010; Ahammed et al., 2014).

Au fil des années, les cages conventionnelles ont subi une série de transformations et d'améliorations pour devenir les cages enrichies telles que connues à l'heure actuelle. Ce type de logement repose en réalité sur un modèle déjà existant et performant pour répondre aux normes de bien-être animal. En revanche, les systèmes en liberté, notamment les volières, sont des types de logement spécifique et surtout bien distinct de celui des cages. Vers les années 2010, le taux d'œufs égarés en système volière a été problématique et souvent discuté dans la littérature. Depuis, les améliorations faites dans la conception des volières par les fabricants combinées à une meilleure régie des producteurs ont contribué à réduire le nombre d'œufs pondus au sol.

Par exemple, dans leur étude sur l'effet d'une plate-forme d'accès au nid en volière, Stampfi et al. (2013) recommandaient une grille en plastique plutôt que des perchoirs en bois qui réduisaient l'espace et l'accès au nid entraînant un plus grand nombre d'œufs pondus à l'extérieur du nid. Dans la conception des logements, l'emplacement des autres équipements est tout aussi important et peut influencer le taux d'œufs égarés. En comparant différents types de volières, Abrahamsson et Tauson (1998) ont rapporté qu'un plus grand nombre d'œufs étaient pondus sur la litière lorsque la nourriture et l'eau étaient fournies au sol comparativement à des plates-formes surélevées.

Dans la revue systématique d'Aerni et al. (2005) qui regroupe des études publiées entre 1980 et 2003 sur la productivité des poules pondeuses dans les volières, les auteurs ont constaté une consommation plus élevée chez les poules logées en volière par rapport à celles en conventionnel. Cette analyse comparative a révélé que les poules en volière consommaient 3,0 % de plus d'aliment. Dans notre étude, les poules en volière consommaient en moyenne 1,0 % de plus d'aliment que celles en cage enrichie. Il n'y avait pas de différence significative observée, de ce fait, que ce soit en volière ou en cage enrichie la consommation alimentaire était équivalente. Ce résultat est en accord avec ceux relevés par Ahammed et al. (2014) et Englmaierová et al. (2014).

L'enrichissement des logements en liberté que ce soit en termes de matériels, d'espace supplémentaire ou de dispersion des ressources alimentaires a engendré une augmentation de l'activité physique et exploratoire des oiseaux (Elson et Croxall, 2006; Yilmaz Dikmen et al., 2016), compensée par un besoin énergétique plus important. De ce fait, l'apport nutritionnel contenu dans l'aliment devrait être plus énergétique afin de répondre adéquatement à leur besoin physiologique. Il est regrettable que l'analyse de la composition et des valeurs nutritionnelles des aliments distribués au sein des élevages tout au long du cycle de production n'a pas pu être réalisée au cours de notre étude. Plusieurs experts en nutrition animale recommandent des aliments plus énergétiques pour les poules pondeuses logées en volière. En général, l'aliment pour les volières contient 1 % de plus d'énergie métabolisable qu'un aliment pour les cages enrichies, soit environ entre 25 et 30 kcal/kg d'aliment. Une recherche plus approfondie est nécessaire pour mieux comprendre comment le type de logement affecte l'apport alimentaire et surtout la répartition de l'énergie en fonction du niveau d'activité des oiseaux.

Pour les volières et les parquets, la littérature fait état d'impacts négatifs sur les paramètres de performance pouvant nuire à la rentabilité des fermes commerciales (Elson et Croxall, 2006; Englmaierová et al., 2014; Jones et al., 2015; Karcher et al., 2015; Matthews et Sumner, 2015). Pour Van Staaveren et al. (2018), la mortalité cumulative était en moyenne plus élevée en volière avec 2,1 % contre 1,1 % en cages enrichies. Dans cette expérience, les résultats sont similaires avec en moyenne une mortalité de 2,3 % en volière contre 1,2 % en cages enrichies. Cependant, dès l'entrée en pondoir vers l'âge de 20 semaines, la mortalité augmentait plus vite avec l'âge dans les volières comparativement aux cages enrichies. D'autres études sont en cours pour répondre aux questions relatives aux causes de mortalité. Ces études porteront sur l'évaluation du bien-être animal au travers de nombreuses séries de nécropsies et d'analyses de l'état d'emplument des oiseaux dans ces mêmes élevages commerciaux participants. Pour Rodenburg et al. (2005) la mortalité dans les volières est principalement due à des problèmes d'adaptation à l'environnement. Toutefois, durant leur phase de croissance les poulettes ont été élevées dans le même système de production qu'en pondoir afin de pallier les problèmes d'adaptation à l'environnement. En d'autres termes, les poules logées en volière ou en cage enrichie ont été élevées dans leur système de production respectif. À mesure que les lots se succèdent en pondoir, la mortalité diminue progressivement car les producteurs acquièrent de l'expérience dans la gestion de ces nouveaux systèmes. En volière chaque année d'expérience acquise par les producteurs est associée à une réduction moyenne de 0,4 à 0,6 % de la mortalité (Schuck-Paim et al., 2021). À la suite d'un changement important de production, il est normal au départ de s'attendre à ce que les systèmes nouvellement implantés connaissent une mortalité plus élevée en raison du manque d'expérience (Cotra, 2017), de la nécessité d'adapter correctement les régimes alimentaires, les programmes lumineux, les pratiques d'élevage et de gestion, et la conception de la structure de logement elle-même.

L'impact de l'âge sur la proportion d'œufs fêlés et les paramètres de la coquille (force et épaisseur) pourraient s'expliquer par l'influence de l'alimentation et de la grosseur des œufs. Dans cette étude, l'association positive observée entre la masse de l'œuf et l'âge de la poule est cohérente avec de nombreuses études qui ont rapporté que les poules pondent des œufs plus lourds à mesure qu'elles vieillissent (Bennett, 1992; Saunders-Blades et al., 2009; Tůmová et Gous, 2012; Molnár et al., 2016; Philippe et al., 2020). Pour assurer la formation de la coquille, la poule doit exporter plus de 2 g de calcium, soit 10 % du calcium corporel total (Nys et al., 2010).

Au fur et à mesure que les poules vieillissent, une plus grande surface doit être recouverte par la coquille. De ce fait, compte tenu que la quantité de calcium exportée est limitée (de 2,0 à 2,5 g), la grosseur de l'œuf engendre une coquille plus mince, susceptible de se fissurer. A contrario, un œuf plus petit aura tendance à être plus solide du fait de sa coquille plus épaisse. La vitamine D a également un rôle important à jouer dans la fixation du calcium et du phosphore. Une carence en vitamine D entraîne une fragilité de la coquille augmentant ainsi le risque de fêlures (Hendrix Genetics, 2019). De plus, la collecte et le transport sont des périodes critiques lors de la manipulation des œufs (Dunn, 2013; Hamilton et Bryden, 2021). Compte tenu de leur énergie cinétique plus élevée, les gros œufs sont plus difficiles à manipuler et pourraient facilement se casser ce qui nécessitent une plus grande attention et délicatesse dans leur manutention. L'effet négatif du vieillissement observé dans cette étude concernant les caractéristiques de qualité de la coquille (épaisseur et force) a déjà été rapporté par Ketelaere et al. (2002), Guesdon et al. (2006) et Kemps et al. (2006).

La similitude des scores de l'unité Haugh entre les volières et les cages enrichies présentée dans cette étude est en accord avec les résultats de Dedousi et al. (2020) qui n'ont montré aucune différence significative de l'unité Haugh en fonction du logement. En revanche, les variations des unités Haugh des œufs sont principalement liées au vieillissement des oiseaux. En effet, l'augmentation des scores en fonction de l'âge observée en début de cycle de ponte est cohérente avec les observations de Philippe et al. (2020). De même, la dégradation progressive des unités de Haugh au fil du temps est en adéquation avec les résultats présentés par Molnár et al. (2016) et par Philippe et al. (2020). L'unité Haugh est un trait de qualité important tant pour l'industrie ovoicole que pour le consommateur. Pour Philippe et al. (2020), les unités Haugh étaient en moyenne de 88,5 en cage enrichie et 89,5 en volière à 32 semaines d'âge. Comparativement à la période 1 de cette étude, ces résultats coïncident avec ceux trouvés en volières (moyenne comprise entre 87,5 et 90,0) mais sont nettement supérieurs à ceux trouvés en cages enrichies (moyenne inférieure à 87,5). Pour Coutts et Wilson (1990) cités dans les travaux de Gerber (2006), les unités Haugh diminueraient de 1,5 à 2 unités pour chaque mois de ponte. Vers la fin du cycle de ponte, l'unité Haugh des œufs à 60 semaines d'âge était de 79,5 puis diminuait significativement ($P < 0,001$) chaque semaine de 0,38 unité à mesure que les poules vieillissaient (Molnár et al., 2016). Les unités Haugh observées dans cette étude étaient en moyenne au-dessus de 82,0 en fin de cycle (période 4).

Certains auteurs s'entendent à dire que de nombreux facteurs ont une influence sur la qualité de l'albumen comme la souche et l'âge des poules, le temps et les conditions de stockage et la composition des aliments (Roberts, 2004; Jones et al., 2014; Lordelo et al., 2017; Pires et al., 2021). De plus, le moment de la ponte et de la collecte des œufs aurait une influence sur l'unité de Haugh des œufs. Dans leur étude, Bovera et al. (2014) ont relevé une unité de Haugh plus faible pour les œufs pondus et collectés le matin comparativement à l'après-midi. Pour Philippe et al. (2020) l'unité Haugh et le pH de l'albumen restent des indicateurs fiables pour évaluer la fraîcheur des œufs. Ces auteurs ont expliqué que leurs variations pouvaient être associées à une série de changements chimiques. À mesure que l'œuf vieillit, la protéine contenue dans l'albumen se dégrade causant une perte d'eau et de dioxyde de carbone. Ces pertes entraînent une diminution de la hauteur de l'albumen et une augmentation de son pH. Dans leur étude, Singh et al. (2009) ont supposé que les œufs issus de systèmes sur parquet ou volières seraient plus exposés à l'ammoniac issu de la litière, ce qui réduirait le score de l'unité Haugh.

Même si l'unité Haugh est une mesure importante à prendre en compte dans les caractéristiques internes de la qualité des œufs, il peut être difficile d'évaluer ce paramètre uniquement par le système de logement. Ce sujet pourrait être approfondi avec une étude sur l'influence de la température et de la durée de stockage sur la fraîcheur de l'œuf.

L'absence d'effet significatif du système de logement sur l'intensité de la couleur du jaune observée dans cette étude est en accord avec de nombreux auteurs (Đukić Stojčić et al., 2009; Sekeroglu et al., 2010; Yilmaz Dikmen et al., 2017). Les variations de l'intensité du jaune en fonction du logement et de l'âge rejoignent les résultats de Philippe et al. (2020). Toutefois, leurs résultats ont montré un jaune plus intense à 32 semaines d'âge (7,08 en volière et 6,80 en cage enrichie) comparativement à la période 1 de cette étude (couleur du jaune compris entre 6,0 et 6,2 quel que soit le type de logement). L'aspect nutritionnel aurait pu être étudié afin d'apporter davantage d'explications aux variations de l'intensité du jaune en fonction de l'âge.

En effet, l'analyse des ingrédients composants les aliments, notamment la proportion de maïs contenant naturellement des pigments, aurait pu expliquer en grande partie l'intensité du jaune.

À la lumière de ces résultats, les performances des oiseaux et la qualité des œufs en volière sont aussi bonnes que celles en cages enrichies. Toutefois, l'âge n'est pas le seul facteur ayant un impact sur les performances des poules pondeuses et la qualité des œufs. La génétique, la densité animale, la nutrition, la santé ou encore la régie d'élevage et l'environnement sont également des facteurs à prendre en compte. Le design de l'étude utilisé peut comporter des biais potentiels tels que le nombre de semaines incluses dans chaque période (5 semaines dans la période 1, 3 dans la période 2, 10 dans la période 3 et 7 dans la période 4), le nombre de fermes choisies (12 dans la CE et 12 dans la V) ou la taille du troupeau pour chaque ferme (entre 9 500 et 100 000 dans les cages enrichies contre 13 000 - 43 000 dans la volière).

Conclusion générale

Les systèmes de logements alternatifs ont été conçus pour améliorer le bien-être des animaux et favoriser l'expression de comportements naturels des oiseaux. La cage enrichie est, pour ainsi dire, une version améliorée du standard de référence telle que connue sur le marché ovicole sous le nom de cage conventionnelle. Depuis plusieurs années déjà, de nombreuses recherches se sont également consacrées aux logements en liberté comme les volières pour tenter de comprendre et d'optimiser ce concept de logement particulier à plusieurs dimensions (sans cage) offrant un accès direct à la litière. La littérature a souvent fait état d'impacts négatifs des volières sur les performances et la qualité des œufs comparativement aux cages enrichies.

À l'heure actuelle, l'accumulation d'une plus grande expérience de gestion acquise par les producteurs pour ces nouveaux systèmes et l'amélioration de la génétique des oiseaux et du concept des volières par les fabricants, le tout soutenu par des efforts de recherche considérables ont permis de réduire les différences entre les cages enrichies et les volières concernant les performances et la qualité des œufs produits.

L'objectif de cette étude n'était pas de confronter ces deux systèmes alternatifs ni même de déterminer le meilleur mais bel est bien d'évaluer ces deux logements afin :

- d'apporter des éléments de réponses à la filière ovicole du Québec,
- de guider les producteurs québécois dans leur choix de logement lors de cette transition,
- de participer au travers de cette étude à l'effort de la recherche sur cette thématique et à l'émergence d'une industrie des œufs plus optimale et éthique.

La présente étude démontre que les performances et la qualité des œufs sont similaires entre les cages enrichies et les volières entre 19 et 65 semaines d'âge. À l'échelle commerciale, ces résultats se sont révélés très prometteurs pour l'industrie ovicole et encourageants pour les producteurs d'œufs en pleine phase de transition au Québec. Contrairement à notre hypothèse initiale, les indicateurs de performances en volières sont aussi bonnes que celles en cages enrichies. En d'autres termes, dans cette étude ces résultats ont montré que ces deux systèmes de production alternatifs s'équivalent tant sur l'aspect des performances que sur celui de la qualité des œufs.

Ainsi les producteurs ont le libre choix d'adopter aussi bien les cages enrichies que les volières sans se soucier d'une productivité ou d'une qualité moindre dans la rentabilité de leurs élevages commerciaux. Néanmoins, au cours du cycle de ponte, la mortalité plus élevée observée en volière ne doit pas être négligée par les producteurs. À la suite d'un tel changement de production, il est légitime de s'attendre à ce que lors du premier lot d'oiseaux, ces logements nouvellement implantés connaissent au départ de moindres résultats. Toutefois, l'importance de cette transition réside également dans le succès de la phase d'élevage des poulettes. La recherche doit aussi poursuivre ses efforts sur la qualité de l'air en volière plus particulièrement de l'impact de la litière sur la santé des poules mais également sur celle des travailleurs.

Ces résultats de recherche réalisés dans des élevages commerciaux au Québec 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 qualité des œufs. Malgré les nombreux défis auxquels l'industrie ovicole doit faire face, ces résultats permettront aux producteurs québécois de faire un choix plus éclairé et assureront un bon déroulement dans cette transition vers les systèmes alternatifs d'ici 2036 au Québec.

Bibliographie

1. Abo Ghanima MM, Alagawany M, Abd El-Hack ME, Taha A, Elnesr SS, Ajarem J, et al. Consequences of various housing systems and dietary supplementation of thymol, carvacrol, and euganol on performance, egg quality, blood chemistry, and antioxidant parameters. *Poult Sci.* sept 2020;99(9):4384-4397.
2. Abrahamsson P, Tauson R, Appleby MC. Performance of Four Hybrids of Laying Hens in Modified and Conventional Cages. *Acta Agric Scand Sect - Anim Sci.* nov 1995;45(4):286-296.
3. Abrahamsson P, Tauson R, Elwinger K. Effects on Production, Health and Egg Quality of Varying Proportions of Wheat and Barley in Diets for Two Hybrids of Laying Hens Kept in Different Housing Systems. *Acta Agric Scand Sect - Anim Sci.* août 1996;46(3):173-182.
4. Abrahamsson P, Tauson R. Aviary Systems and Conventional Cages for Laying Hens: Effects on Production, Egg Quality, Health and Bird Location in Three Hybrids. *Acta Agric Scand Sect — Anim Sci.* août 1995;45(3):191-203.
5. Abrahamsson P, Tauson R. Performance and Egg Quality of Laying Hens in an Aviary System. *J Appl Poult Res.* oct 1998;7(3):225-232.
6. Aerni V, Brinkhof MWG, Wechsler B, Oester H, Fröhlich E. Productivity and mortality of laying hens in aviaries: a systematic review. *Worlds Poult Sci J.* 1 mars 2005;61(1):130-142.
7. Ahammed M, Chae BJ, Lohakare J, Keohavong B, Lee MH, Lee SJ, et al. Comparison of Aviary, Barn and Conventional Cage Raising of Chickens on Laying Performance and Egg Quality. *Asian-Australas J Anim Sci.* 22 juin 2014;27(8):1196-1203.
8. Alfonso-Carrillo C, Benavides-Reyes C, de los Mozos J, Dominguez-Gasca N, Sanchez-Rodríguez E, Garcia-Ruiz AI, et al. Relationship between Bone Quality, Egg Production and Eggshell Quality in Laying Hens at the End of an Extended Production Cycle (105 Weeks). *Animals.* 26 févr 2021;11(3):623.
9. Altuntaş E, Şekeroğlu A. Effect of egg shape index on mechanical properties of chicken eggs. *J Food Eng.* avr 2008;85(4):606-612.
10. Anderson KE. Comparison of fatty acid, cholesterol, and vitamin A and E composition in eggs from hens housed in conventional cage and range production facilities. *Poult Sci.* juill 2011;90(7):1600-1608.
11. Anderson KE, Adams AW. 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.* août 1994;73(8):1233-1240.

12. Appleby MC, McRae HE, Duncan IJ. Nesting and floor-laying by domestic hens: Effects of individual variation in perching behaviour. *Behav Anal Lett.* 1983;3(6):345-352.
13. Appleby MC, Duncan IJN. Development of perching in hens. *Biol Behav Fr.* 1989;14(2):157-168.
14. Astier M. Les œufs de plein air, une production encore très industrielle [Internet]. *Reporterre: le quotidien de l'écologie.* 2017 [cité 11 mars 2022]. Disponible à: <https://reporterre.net/Les-oeufs-de-plein-air-une-production-encore-tres-industrielle>
15. Barbosa Filho J, Silva M, Silva I, Coelho A. Egg quality in layers housed in different production systems and submitted to two environmental conditions. *Rev Bras Ciênc Avícola.* mars 2006;8(1):23-28.
16. Bari MS, Cohen-Barnhouse AM, Campbell DLM. Early rearing enrichments influenced nest use and egg quality in free-range laying hens. *Animal.* 2020;14(6):1249-1257.
17. Basmacioğlu H, Ergül M. Research on the factors affecting cholesterol content and some other characteristics of eggs in laying hens: The effects of genotype and rearing system. *Turk J Vet Anim Sci.* 1 janv 2005;29(1):157-164.
18. Baykalir Y, Simsek UG. Impact of Different Rearing Systems and Age on Bovans White Layer's Performance, Egg Quality Traits and Synthesis of Heat Shock Protein 70 kDa. *Ann Anim Sci.* 1 oct 2018;18(4):1045-1060.
19. Ben & Jerry's. Œufs sans cages | Ben & Jerry's [Internet]. 2021 [cité 21 févr 2022]. Disponible à: <https://www.benandjerrys.ca/fr/values/how-we-do-business/cage-free-eggs>
20. Bennett CD. Influence of Egg Weight on Egg Breakage in the Field. *J Appl Poult Res.* déc 1992;1(4):399-402.
21. Blokhuis HJ, Van Niekerk TF, Bessei W, Elson A, Guémené D, Kjaer JB, et al. The LayWel project: welfare implications of changes in production systems for laying hens. *Worlds Poult Sci J.* 1 mars 2007;63(1):101-114.
22. Bovera F, Iannaccone F, Piccolo G, Meo CD, Russo F, Piscitelli D, et al. Effect of Group Size on Performance and Egg Quality of Laying Hens During 20 to 36 Weeks of Age. *Ital J Anim Sci.* janv 2014;13(1):3148.
23. Brand HVD, Parmentier HK, Kemp B. Effects of housing system (outdoor vs cages) and age of laying hens on egg characteristics. *Br Poult Sci.* 1 déc 2004;45(6):745-752.
24. Brown LT. A critical period in the learning of motionless stimulus properties in chicks. *Anim Behav.* avr 1964;12(2-3):353-361.

25. Colson S, Arnould C, Michel V. Influence of rearing conditions of pullets on space use and performance of hens placed in aviaries at the beginning of the laying period. *Appl Anim Behav Sci.* juin 2008;111(3-4):286-300.
26. Compassion in world farming. EggTrack | The cage-free progress report [Internet]. 2022 [cité 21 mars 2022]. Disponible à: <https://www.eggtrack.com/en/>
27. Conseil National Pour Les Soins Aux Animaux d'Élevage. Code de pratiques pour le soin et manipulation des poulettes et pondeuses [Internet]. 2017 [cité 3 mai 2022]. Disponible à: <https://www.nfacc.ca/codes-de-pratiques/poulettes-et-pondeuses#section1>
28. Cotra A. How Will Hen Welfare Be Impacted by the Transition to Cage-Free Housing? [Internet]. Open Philanthropy. 2017 [cité 16 sept 2022]. Disponible à: <https://www.openphilanthropy.org/research/how-will-hen-welfare-be-impacted-by-the-transition-to-cage-free-housing/>
29. Craig JV, Okpokho NA, Milliken GA. Floor- and cage-rearing effects on pullets' initial adaptation to multiple-hen cages. *Appl Anim Behav Sci.* août 1988;20(3-4):319-333.
30. David B, Moe R, Michel V, Lund V, Mejdell C. Air Quality in Alternative Housing Systems May Have an Impact on Laying Hen Welfare. Part I—Dust. *Animals.* 9 juill 2015;5(3):495-511.
31. Dedousi A, Đukić Stojčić M, Sossidou E. Effects of housing systems on keel bone damage and egg quality of laying hens. *Vet Res Forum Int Q J.* 2020;11(4):299-304.
32. Denis É. L'impact des systèmes de logement alternatifs sur la santé et les performances des poules pondeuses [Internet]. [Faculté de Médecine Vétérinaire, Québec, Canada]: Montréal; 2019 [cité 27 janv 2022]. Disponible à: <https://papyrus.bib.umontreal.ca/xmlui/handle/1866/23148>
33. Dey M, Mayo JA, Saville D, Wolyniak C, Klontz KC. Recalls of Foods due to Microbiological Contamination Classified by the U.S. Food and Drug Administration, Fiscal Years 2003 through 2011. *J Food Prot.* 1 juin 2013;76(6):932-938.
34. Doyon M, Bergeron S, Cranfield J, Tamini L, Criner G. Consumer Preferences for Improved Hen Housing: Is a Cage a Cage? *Can J Agric Econ Can Agroéconomie.* déc 2016;64(4):739-751.
35. Du X, Qin P, Liu Y, Amevor FK, Shu G, Li D, et al. Effects of Key Farm Management Practices on Pullets Welfare—A Review. *Animals.* 14 mars 2022;12(6):729.
36. Đukić Stojčić M, Perić L, Bjedov S, Milošević N. The quality of table eggs produced in different housing systems. *Biotechnol Anim Husb.* 2009;25(5/6):1103-1108.

37. Đukić Stojčić M, Perić L, Milosević N, Rodić V, Glamocić D, Škrbić Z, et al. Effect of genotype and housing system on egg production, egg quality and welfare of laying hens. *J Food Agric Environ.* 1 avr 2012;10:556-559.
38. Dunn I. Long Life Layer; genetic and physiological limitations to extending the laying period. 19th European Symposium on Poultry Nutrition. août 2013;19:124-129.
39. Dunn IC, Joseph NT, Bain M, Edmond A, Wilson PW, Milona P, et al. Polymorphisms in eggshell organic matrix genes are associated with eggshell quality measurements in pedigree Rhode Island Red hens. *Anim Genet.* févr 2009;40(1):110-114.
40. Eisen EJ, Bohren BB, McKean HE. The Haugh Unit as a Measure of Egg Albumen Quality. *Poult Sci.* sept 1962;41(5):1461-1468.
41. Elaroussi MA, Forte LR, Eber SL, Biellier HV. Calcium Homeostasis in the Laying Hen. *Poult Sci.* oct 1994;73(10):1581-1589.
42. Elson HA, Croxall R. European study on the comparative welfare of laying hens in cage and non-cage systems. *Arch Für Geflügelkd.* 2006;70(5):194-198.
43. Englmaierová M, Tůmová E, Charvátová V, Skřivan M. Effects of laying hens housing system on laying performance, egg quality characteristics, and egg microbial contamination. *Czech J Anim Sci.* 26 août 2014;59(8):345-352.
44. Epp M. Companies make progress on cage-free commitments | The Poultry Site [Internet]. 2021 [cité 21 mars 2022]. Disponible à: <https://www.thepoultrysite.com/news/2021/11/companies-make-progress-on-cage-free-commitments>
45. FAO. FAOSTAT : Cultures et produits animaux [Internet]. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. 2020 [cité 11 mars 2022]. Disponible à: <https://www.fao.org/faostat/fr/#data/QCL> (2020)
46. Fathi MM, Galal A, Ali UM, Abou-Emera OK. Physical and mechanical properties of eggshell as affected by chicken breed and flock age. *Br Poult Sci.* 3 sept 2019;60(5):506-512.
47. Faure JM, Bryan Jones R. Effects of age, access and time of day on perching behaviour in the domestic fowl. *Appl Anim Ethol.* avr 1982;8(4):357-364.
48. Fédération des producteurs d'œufs du Québec. Nos publications: Rapport annuel 21-22 [Internet]. 2022 [cité 18 mai 2022]. Disponible à: <https://oeuf.ca/la-federation/nos-publications/>
49. Fossum O, Jansson DS, Etterlin PE, Vågsholm I. Causes of mortality in laying hens in different housing systems in 2001 to 2004. *Acta Vet Scand.* déc 2009;51(1):3.
50. Freelancer. Comment le paysage canadien des logements pour poules pondeuses est en train de changer – et pourquoi | Le site avicole [Internet]. The Poultry Site. 2016 [cité 13 mars

2022]. Disponible à: <https://www.thepoultrysite.com/articles/how-the-canadian-laying-hen-housing-landscape-is-changing-and-why>

51. Fulton RM. Health of Commercial Egg Laying Chickens in Different Housing Systems. *Avian Dis.* 30 avr 2019;63(3):420.

52. Gautron J, Réhault-Godbert S, Van de Braak TGH, Dunn IC. Review: What are the challenges facing the table egg industry in the next decades and what can be done to address them? *Animal.* déc 2021;15:100282.

53. Gerber N. Factors affecting egg quality in the commercial laying hen: a review [Internet]. Egg Producers Federation New Zealand. 2006 [cité 3 oct 2022]. Disponible à: https://www.eggfarmers.org.nz/wp-content/uploads/2012/04/factors_affecting_egg_quality.pdf

54. Global Ag Media. Caged animal farming must end in EU, European Commission says | The Poultry Site [Internet]. 2021 [cité 21 mars 2022]. Disponible à: <https://www.thepoultrysite.com/news/2021/07/caged-animal-farming-must-end-in-eu-european-commission-says>

55. Goldberg EM, Gakhar N, Ryland D, Aliani M, Gibson RA, House JD. Fatty Acid Profile and Sensory Characteristics of Table Eggs from Laying Hens Fed Hempseed and Hempseed Oil. *J Food Sci.* avr 2012;77(4):S153-S160.

56. Gordon RW, Roland DA. Influence of supplemental phytase on calcium and phosphorus utilization in laying hens. *Poult Sci.* févr 1998;77(2):290-294.

57. Guesdon V, Ahmed AMH, Mallet S, Faure JM, Nys Y. Effects of beak trimming and cage design on laying hen performance and egg quality. *Br Poult Sci.* févr 2006;47(1):1-12.

58. Guesdon V, Faure JM. Laying performance and egg quality in hens kept in standard or furnished cages. *Anim Res.* janv 2004;53(1):45-57.

59. Guinebretière M, Huneau-Salaün A, Huonnic D, Michel V. Cage hygiene, laying location, and egg quality: The effects of linings and litter provision in furnished cages for laying hens. *Poult Sci.* avr 2012;91(4):808-816.

60. Gunnarsson S, Yngvesson J, Keeling LJ, Forkman B. Rearing without early access to perches impairs the spatial skills of laying hens. *Appl Anim Behav Sci.* avr 2000;67(3):217-228.

61. Hamann J. Après les cages à poules | Recherche | ULaval Nouvelles [Internet]. 2015 [cité 24 avr 2022]. Disponible à: <https://nouvelles.ulaval.ca/2015/11/18/apres-les-cages-a-poules-d367154cbd9ca2826e15d34ba5e697ed>

62. Hamilton RMG, Hollands KG, Voisey PW, Grunder AA. Relationship Between Egg Shell Quality and Shell Breakage and Factors that Affect Shell Breakage in the Field—A Review. *Worlds Poult Sci J.* 1 août 1979;35(3):177-190.

63. Hamilton RMG, Bryden WL. Relationship between egg shell breakage and laying hen housing systems – an overview. *Worlds Poult Sci J.* 3 avr 2021;77(2):249-266.
64. Heerkens JLT, Delezie E, Kempen I, Zoons J, Ampe B, Rodenburg TB, et al. Specific characteristics of the aviary housing system affect plumage condition, mortality and production in laying hens. *Poult Sci.* sept 2015;94(9):2008-2017.
65. Hendrix Genetics. La qualité de coquille [Internet]. 2019 [cité 29 sept 2022]. Disponible à: <https://pondeuses.hendrix-genetics.fr/fr/news/qualite-de-coquille/>
66. Hess EH. Imprinting in Birds: Research has borne out the concept of imprinting as a type of learning different from association learning. *Science.* 27 nov 1964;146(3648):1128-1139.
67. Hester PY, Enneking SA, Jefferson-Moore KY, Einstein ME, Cheng HW, Rubin DA. The effect of perches in cages during pullet rearing and egg laying on hen performance, foot health, and plumage. *Poult Sci.* févr 2013;92(2):310-320.
68. Hester PY, Garner JP, Enneking SA, Cheng HW, Einstein ME. The effect of perch availability during pullet rearing and egg laying on the behavior of caged White Leghorn hens. *Poult Sci.* oct 2014;93(10):2423-2431.
69. Hetland H, Svihus B, Lervik S, Moe R. Effect of Feed Structure on Performance and Welfare in Laying Hens Housed in Conventional and Furnished Cages. *Acta Agric Scand Sect - Anim Sci.* juin 2003;53(2):92-100.
70. Hetland H, Moe RO, Tauson R, Lervik S, Svihus B. Effect of including whole oats into pellets on performance and plumage condition in laying hens housed in conventional and furnished cages. *Acta Agric Scand Sect — Anim Sci.* août 2004;54(4):206-212.
71. Hidalgo A, Rossi M, Clerici F, Ratti S. A market study on the quality characteristics of eggs from different housing systems. *Food Chem.* févr 2008;106(3):1031-1038.
72. Hocking PM, Bain M, Channing CE, Fleming R, Wilson S. Genetic variation for egg production, egg quality and bone strength in selected and traditional breeds of laying fowl. *Br Poult Sci.* juill 2003;44(3):365-373.
73. Holt PS, Davies RH, Dewulf J, Gast RK, Huwe JK, Jones DR, et al. The impact of different housing systems on egg safety and quality. *Poult Sci.* janv 2011;90(1):251-262.
74. Hughes BO, Dun P, McCorquodale CC. Shell strength of eggs from medium-bodied hybrid hens housed in cages or on range in outside pens. *Br Poult Sci.* janv 1985;26(1):129-136.
75. Hunton P. Understanding the architecture of the egg shell. *Worlds Poult Sci J.* 1 juill 1995;51(2):141-147.

76. ICI.Radio-Canada. La semaine verte : La Suède, pays des poules en liberté [Internet]. La semaine verte. 2022 [cité 25 avr 2022]. Disponible à: <https://ici.radio-canada.ca/tele/la-semaine-verte/site/segments/reportage/398847/bien-etre-animal-poules-pondeuses-suede?isAutoPlay=1>
77. ICI.Radio-Canada. La semaine verte : Poule cherche logement adapté [Internet]. Radio Canada. 2022 [cité 25 avr 2022]. Disponible à: <https://ici.radio-canada.ca/tele/la-semaine-verte/site/segments/reportage/398845/bien-etre-animal-poules-pondeuses-cages?isAutoPlay=1>
78. ICI.Radio-Canada ZS. Les poules ne vivent plus dans des cages, mais dans des logements, pourquoi? [Internet]. Radio-Canada. Radio-Canada.ca; 2022 [cité 29 avr 2022]. Disponible à: <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1877301/poules-cages-logements-pondeuses>
79. Janczak AM, Riber AB. Review of rearing-related factors affecting the welfare of laying hens. *Poult Sci.* juill 2015;94(7):1454-1469.
80. Jin L, Craig JV. Some Effects of Cage and Floor Rearing on Commercial White Leghorn Pullets During Growth and the First Year of Egg Production. *Poult Sci.* oct 1988;67(10):1400-1406.
81. Jones DR. The haugh unit and its measurement [Internet]. National Egg Quality School Proceedings: Agricultural Research Service : U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE; 2005 mai [cité 11 juill 2022]. Report No.: 180107. Disponible à: <https://www.ars.usda.gov/research/publications/publication/?seqNo115=180107>
82. Jones DR, Karcher DM, Abdo Z. Effect of a commercial housing system on egg quality during extended storage. *Poult Sci.* mai 2014;93(5):1282-1288.
83. Kajlich AS, Shivaprasad HL, Trampel DW, Hill AE, Parsons RL, Millman ST, et al. Incidence, Severity, and Welfare Implications of Lesions Observed Postmortem in Laying Hens from Commercial Noncage Farms in California and Iowa. *Avian Dis.* mars 2016;60(1):8-15.
84. Karcher DM, Jones DR, Abdo Z, Zhao Y, Shepherd TA, Xin H. Impact of commercial housing systems and nutrient and energy intake on laying hen performance and egg quality parameters. *Poult Sci.* mars 2015;94(3):485-501.
85. Karunajeewa H. The performance of cross-bred hens given free choice feeding of whole grains and a concentrate mixture and the influence of source of xanthophylls on yolk colour. *Br Poult Sci.* nov 1978;19(6):699-708.
86. Kaufmann-Bart M, Hoop RK. Diseases in chicks and laying hens during the first 12 years after battery cages were banned in Switzerland. *Vet Rec.* févr 2009;164(7):203-207.
87. Kemps BJ, Govaerts T, De Ketelaere B, Mertens K, Bamelis FR, Bain MM, et al. The influence of line and laying period on the relationship between different eggshell and membrane strength parameters. *Poult Sci.* juill 2006;85(7):1309-1317.

88. Ketelaere BD, Govaerts T, Coucke P, Dewil E, Visscher J, Decuypere E, et al. Measuring the eggshell strength of 6 different genetic strains of laying hens: Techniques and comparisons. *Br Poult Sci.* mai 2002;43(2):238-244.
89. Ketta M, Tůmová E, Englmaierová M, Chodová D. Combined Effect of Genotype, Housing System, and Calcium on Performance and Eggshell Quality of Laying Hens. *Animals.* 16 nov 2020;10(11):2120.
90. Ketta M, Tůmová E. Eggshell structure, measurements, and quality-affecting factors in laying hens: a review. *Czech J Anim Sci.* 24 juill 2016;61(07):299-309.
91. Khanal T, Bédécarrats GY, Widowski TM, Kiarie EG. Rearing cage type and dietary limestone particle size: II, effects on egg production, eggshell, and bone quality in Lohmann selected Leghorn-Lite hens. *Poult Sci.* nov 2020;99(11):5763-5770.
92. Küçükyılmaz K, Bozkurt M, Herken EN, Çınar M, Çatlı AU, Bintaş E, et al. Effects of Rearing Systems on Performance, Egg Characteristics and Immune Response in Two Layer Hen Genotype. *Asian-Australas J Anim Sci.* 21 févr 2012;25(4):559-568.
93. Kulshreshtha G, Benavides-Reyes C, Rodriguez-Navarro AB, Diep T, Hincke MT. Impact of Different Layer Housing Systems on Eggshell Cuticle Quality and Salmonella Adherence in Table Eggs. *Foods.* 23 oct 2021;10(11):2559.
94. La Terre de Chez Nous. Poules et poussières en liberté : la qualité de l'air des logements alternatifs pour pondeuses [Internet]. 2021 [cité 20 mai 2022]. Disponible à: <https://www.laterre.ca/actualites/page-conseils/poules-et-poussieres-en-liberte-la-qualite-de-lair-des-logements-alternatifs-pour-pondeuses>
95. Larivière T. Plus de bien-être pour les poules [Internet]. La Terre de Chez Nous. 2017 [cité 27 janv 2022]. Disponible à: <https://www.laterre.ca/actualites/elevages/plus-de-bien-etre-poules>
96. Lay DC, Fulton RM, Hester PY, Karcher DM, Kjaer JB, Mench JA, et al. Hen welfare in different housing systems. *Poult Sci.* janv 2011;90(1):278-294.
97. Ledvinka Z, Tůmová E, Arent E, Holoubek J, Klesalová L. Egg shell quality in some white-egg and brown-egg cross combinations of dominant hens. *Czech J Anim Sci.* 2000;45(6):285-288.
98. Ledvinka Z, Tůmová E, Englmaierová M, Podsednicek M. Egg quality of three laying hen genotypes kept in conventional cages and on litter. *Arch Geflügelkunde.* 1 janv 2012;76(1):38-43.
99. Leeson S, Summers JD. *Commercial Poultry Nutrition*: 3rd edition. Nottingham University press. 2005. 406 p.
100. Les Producteurs d'Oeufs du Canada. Rapport annuel 2021 [Internet]. 2022 [cité 18 mai 2022]. Disponible à: <https://www.producteursdoeufs.ca/?s=rapport+annuel>

101. Lesnierowski G, Stangierski J. What's new in chicken egg research and technology for human health promotion? - A review. *Trends Food Sci Technol.* janv 2018;71:46-51.
102. Lewko L, Gornowicz E. Effect of Housing System on Egg Quality in Laying Hens. *Ann Anim Sci.* 1 août 2011;11(4):607-611.
103. Leyendecker M, Hamann H, Hartung J, Kamphues J, Ring C, Glünder G, et al. Analysis of genotype-environment interactions between layer lines and hen housing systems for performance traits, egg quality and bone breaking strength 3rd communication: Bone breaking strength. *Zuchtungskunde.* 1 juill 2001;73(5):387-398.
104. Lichovníková M, Zeman L. Effect of housing system on the calcium requirement of laying hens and on eggshell quality. *Czech J Anim Sci.* 4 avr 2008;53(No. 4):162-168.
105. Lordelo M, Fernandes E, Bessa RJB, Alves SP. Quality of eggs from different laying hen production systems, from indigenous breeds and specialty eggs. *Poult Sci.* mai 2017;96(5):1485-1491.
106. Mabe I, Rapp C, Bain M, Nys Y. Supplementation of a corn-soybean meal diet with manganese, copper, and zinc from organic or inorganic sources improves eggshell quality in aged laying hens. *Poult Sci.* déc 2003;82(12):1903-1913.
107. Mahmoudi Y. Impacts du type de logement en élevage de poules pondeuses sur les performances zootechniques et le bien-être animal [Internet] [Mémoire]. [Québec, Canada]: Laval; 2016 [cité 27 janv 2022]. Disponible à: <https://corpus.ulaval.ca/jspui/bitstream/20.500.11794/26829/1/32448.pdf>
108. Matthews WA, Sumner DA. Effects of housing system on the costs of commercial egg production. *Poult Sci.* mars 2015;94(3):552-557.
109. Ménard M. Le bien-être animal et les poules pondeuses [Internet]. *La Terre de Chez Nous.* 2011 [cité 27 janv 2022]. Disponible à: <https://www.laterre.ca/actualites/elevages/le-bien-etre-animal-et-les-poules-pondeuses>
110. Mench JA, Sumner DA, Rosen-Molina JT. Sustainability of egg production in the United States—The policy and market context. *Poult Sci.* janv 2011;90(1):229-240.
111. Meng F, Chen D, Li X, Li J, Bao J. Effects of large or small furnished cages on performance, welfare and egg quality of laying hens. *Anim Prod Sci.* 2015;55(6):793.
112. Mertens K, Bamelis F, Kemps B, Kamers B, Verhoelst E, De Ketelaere B, et al. Monitoring of Eggshell Breakage and Eggshell Strength in Different Production Chains of Consumption Eggs. *Poult Sci.* sept 2006;85(9):1670-1677.

113. Messens W, Grijspeerdt K, Herman L. Eggshell characteristics and penetration by *Salmonella enterica* serovar Enteritidis through the production period of a layer flock. *Br Poult Sci.* déc 2005;46(6):694-700.
114. Michel V, Huonnic D. A comparison of welfare, health and production performance of laying hens reared in cages or in aviaries. *Br Poult Sci.* déc 2003;44(5):775-776.
115. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. MAPAQ - Portrait-diagnostic sectoriel de l'industrie de la poulette au Québec [Internet]. 2018 [cité 3 mai 2022]. Disponible à: <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Pages/Details-Publication.aspx?docid=DDJ7DZ3RAA3J-202-12328>
116. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. MAPAQ - Portrait-diagnostic sectoriel des oeufs de consommation [Internet]. 2019 [cité 11 juill 2022]. Disponible à: <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Pages/Details-Publication.aspx?docid=DDJ7DZ3RAA3J-202-329>
117. Mintus C. More States in the United States to Switch to Cage-Free Eggs | The Poultry Site [Internet]. 2021 [cité 21 mars 2022]. Disponible à: <https://www.thepoultrysite.com/news/2021/06/more-states-in-the-united-states-to-switch-to-cage-free-eggs>
118. Moe RO, Guémené D, Bakken M, Larsen HJS, Shini S, Lervik S, et al. Effects of housing conditions during the rearing and laying period on adrenal reactivity, immune response and heterophil to lymphocyte (H/L) ratios in laying hens. *Animal.* 2010;4(10):1709-1715.
119. Molnár A, Maertens L, Ampe B, Buyse J, Kempen I, Zoons J, et al. Changes in egg quality traits during the last phase of production: is there potential for an extended laying cycle? *Br Poult Sci.* nov 2016;57(6):842-847.
120. Mostert BE, Bowes EH, Van Der Walt JC. Influence of different housing systems on the performance of hens of four laying strains. *South Afr Soc Anim Sci.* 1995;25(3):80-86.
121. Mugnai C, Dal Bosco A, Castellini C. Effect of rearing system and season on the performance and egg characteristics of Ancona laying hens. *Ital J Anim Sci.* janv 2009;8(2):175-188.
122. Nabel. Unité Haugh et indice du jaune : Indicateurs de la qualité des œufs pouvant être mesurés par le DET6500. [Internet]. 2016 [cité 4 févr 2022]. Disponible à: <https://digitaleggtester.com/fr/egg-quality/>
123. Neijat M, House JD, Guenter W, Kebreab E. Calcium and phosphorus dynamics in commercial laying hens housed in conventional or enriched cage systems. *Poult Sci.* oct 2011;90(10):2383-2396.

124. Newberry RC, Estevez I, Keeling LJ. Group size and perching behaviour in young domestic fowl. *Appl Anim Behav Sci.* juill 2001;73(2):117-129.
125. Nicol CJ, Brown SN, Glen E, Pope SJ, Short FJ, Warriss PD, et al. Effects of stocking density, flock size and management on the welfare of laying hens in single-tier aviaries. *Br Poult Sci.* avr 2006;47(2):135-146.
126. Nimmermark S, Lund V, Gustafsson G, Eduard W. Ammonia, dust and bacteria in welfare-oriented systems for laying hens. *Ann Agric Environ Med.* 1 juill 2009;16(1):103-113.
127. Nys Y. Relationships between age, shell quality and individual rate and duration of shell formation in domestic hens. *Br Poult Sci.* juin 1986;27(2):253-259.
128. Nys Y, Hincke MT, Hernandez-Hernandez A, Rodriguez-Navarro AB, Gomez-Morales J, Jonchère V, et al. Eggshell ultrastructure, properties and the process of mineralization: involvement of organic matrix in the eggshell fabric. *INRA Prod Anim.* 2010;23(2):143-154.
129. Ochs D, Wolf CA, Widmar NO, Bir C, Lai J. Hen housing system information effects on U.S. egg demand. *Food Policy.* août 2019;87:101743.
130. Ochs DS, Wolf CA, Widmar NJO, Bir C. Consumer perceptions of egg-laying hen housing systems. *Poult Sci.* 1 oct 2018;97(10):3390-3396.
131. Oliveira DL de, Nascimento JWB do, Camerini NL, Silva RC, Furtado DA, Araujo TGP. Performance and quality of egg laying hens raised in furnished cages and controlled environment. *Rev Bras Eng Agríc E Ambient.* 1 nov 2014;18(11):1186-1191.
132. Patterson PH, Koelkebeck KW, Bell DD, Carey JB, Darre MJ, Anderson KE. Egg Marketing in National Supermarkets: Specialty Eggs–Part 2. *Poult Sci.* avr 2001;80(4):390-395.
133. Pavlovski Z, Hopic S, Lukic M. Housing systems for layers and egg quality. *Biotechnol Anim Husband.* 2001;17(5-6):197-201.
134. Petrik MT, Guerin MT, Widowski TM. On-farm comparison of keel fracture prevalence and other welfare indicators in conventional cage and floor-housed laying hens in Ontario, Canada. *Poult Sci.* avr 2015;94(4):579-585.
135. Philippe FX, Mahmoudi Y, Cinq-Mars D, Lefrançois M, Moula N, Palacios J, Pelletier, F et Godbout, S. Comparison of egg production, quality and composition in three production systems for laying hens. *Livest Sci.* févr 2020;232:103917.
136. Pires PG da S, Bavaresco C, Prato BS, Wirth ML, Moraes P de O. The relationship between egg quality and hen housing systems - A systematic review. *Livest Sci.* août 2021;250:104597.
137. Pištěková V, Hovorka M, Večerek V, Straková E, Suchý P. The quality comparison of eggs laid by laying hens kept in battery cages and in a deep litter system. *Czech J Anim Sci.* 5 déc 2011;51(No. 7):318-325.

138. Popova T, Petkov E, Ayasan T, Ignatova M. Quality of Eggs from Layers Reared under Alternative and Conventional System. *Braz J Poult Sci.* 2020;22(1).
139. Rakonjac S, Bogosavljević-Bošković S, Pavlovski Z, Škrbić Z, Dosković V, Petrović MD, et al. Laying hen rearing systems: a review of major production results and egg quality traits. *Worlds Poult Sci J.* 1 mars 2014;70(1):93-104.
140. Riber AB, Wichman A, Braastad BO, Forkman B. Effects of broody hens on perch use, ground pecking, feather pecking and cannibalism in domestic fowl (*Gallus gallus domesticus*). *Appl Anim Behav Sci.* août 2007;106(1-3):39-51.
141. Roberts JR. Factors Affecting Egg Internal Quality and Egg Shell Quality in Laying Hens. *J Poult Sci.* 2004;41(3):161-177.
142. Roberts JR, Chousalkar KK. Egg quality and food safety of table eggs: egg quality and age of flock - a longitudinal study. *Proc 23rd Annu Aust Poult Sci Symp Syd New South Wales Aust* 19-22 Febr 2012. 2012;23:241-244.
143. Rodenburg TB, Tuytens FAM, Sonck B, De Reu K, Herman L, Zoons J. Welfare, Health, and Hygiene of Laying Hens Housed in Furnished Cages and in Alternative Housing Systems. *J Appl Anim Welf Sci.* juill 2005;8(3):211-226.
144. Roland DA. Research Note: Egg Shell Problems: Estimates of Incidence and Economic Impact. *Poult Sci.* déc 1988;67(12):1801-1803.
145. Roll VFB, Levrino GAM, Briz RC. Rearing system and behavioural adaptation of laying hens to furnished cages. *Ciênc Rural.* oct 2008;38(7):1997-2003.
146. Roll VFB, Briz RC, Levrino GAM. Floor versus cage rearing: effects on production, egg quality and physical condition of laying hens housed in furnished cages. *Ciênc Rural.* août 2009;39(5):1527-1532.
147. Rondoni A, Asioli D, Millan E. Consumer behaviour, perceptions, and preferences towards eggs: A review of the literature and discussion of industry implications. *Trends Food Sci Technol.* déc 2020;106:391-401.
148. Rose-Martel M, Du J, Hincke MT. Proteomic analysis provides new insight into the chicken eggshell cuticle. *J Proteomics.* mai 2012;75(9):2697-2706.
149. Rose-Martel M, Hincke MT. 33. The eggshell as a barrier to contamination. Dans: Watson RR, De Meester F, éditeurs. *Human Health Handbooks [Internet]. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers; 2015 [cité 22 juin 2022]. p. 615-26. Disponible à: https://www.wageningenacademic.com/doi/10.3920/978-90-8686-804-9_33*

150. Samiullah, Roberts JR, Chousalkar KK. Effect of production system and flock age on egg quality and total bacterial load in commercial laying hens. *J Appl Poult Res.* mars 2014;23(1):59-70.
151. Samiullah S, Omar AS, Roberts J, Chousalkar K. Effect of production system and flock age on eggshell and egg internal quality measurements. *Poult Sci.* janv 2017;96(1):246-258.
152. Sanotra GS, Vestergaard KS, Agger JF, Lawson LG. The relative preferences for feathers, straw, wood-shavings and sand for dustbathing, pecking and scratching in domestic chicks. *Appl Anim Behav Sci.* juill 1995;43(4):263-277.
153. Sass CAB, Kuriya S, da Silva GV, Silva HLA, da Cruz AG, Esmerino EA, et al. Completion task to uncover consumer's perception: a case study using distinct types of hen's eggs. *Poult Sci.* 1 juill 2018;97(7):2591-2599.
154. Saunders-Blades JL, MacIsaac JL, Korver DR, Anderson DM. The effect of calcium source and particle size on the production performance and bone quality of laying hens. *Poult Sci.* févr 2009;88(2):338-353.
155. Scholz B, Rönchen S, Hamann H, Sürle C, Neumann U, Kamphues J, et al. Evaluation of bone strength, keel bone deformity and egg quality of laying hens housed in small group housing systems and furnished cages in comparison to an aviary housing system. *Arch Anim Breed.* 10 oct 2008;51(2):179-186.
156. Schuck-Paim C, Negro-Calduch E, Alonso WJ. Laying hen mortality in different indoor housing systems: a meta-analysis of data from commercial farms in 16 countries. *Sci Rep.* déc 2021;11(1):3052.
157. Sekeroglu A, Sarica M, Demir E, Ulutas Z, Tilki M., Saatci M, et al. Effects of Different Housing Systems on Some Performance Traits and Egg Qualities of Laying Hens. *J Anim Vet Adv.* 1 déc 2010;9(12):1739-1744.
158. Sharma MK, McDaniel CD, Kiess AS, Loar RE, Adhikari P. Effect of housing environment and hen strain on egg production and egg quality as well as cloacal and eggshell microbiology in laying hens. *Poult Sci.* févr 2022;101(2):101595.
159. Sherwin CM, Richards GJ, Nicol CJ. Comparison of the welfare of layer hens in 4 housing systems in the UK. *Br Poult Sci.* août 2010;51(4):488-499.
160. Shimmura T, Eguchi Y, Uetake K, Tanaka T. Behavior, performance and physical condition of laying hens in conventional and small furnished cages. *Anim Sci J.* juin 2007;78(3):323-329.
161. Shimmura T, Hirahara S, Azuma T, Suzuki T, Eguchi Y, Uetake K, et al. Multi-factorial investigation of various housing systems for laying hens. *Br Poult Sci.* févr 2010;51(1):31-42.

162. Silversides FG, Scott TA. Effect of Storage and Layer Age on Quality of Eggs From Two Lines of Hens. *Poult Sci.* août 2001;80(8):1240-1245.
163. Singh J, Ferrier C, Singh P. Measurement and Analysis of the Shocks Generated During Egg Production. *J Appl Packag Res.* 1 sept 2007;2(1):45-59.
164. Singh R, Cheng KM, Silversides FG. Production performance and egg quality of four strains of laying hens kept in conventional cages and floor pens. *Poult Sci.* févr 2009;88(2):256-264.
165. Sirri F, Zampiga M, Berardinelli A, Meluzzi A. Variability and interaction of some egg physical and eggshell quality attributes during the entire laying hen cycle. *Poult Sci.* mai 2018;97(5):1818-1823.
166. Smart V. Some organic, free-range eggs more nutritious, Marketplace investigation finds | CBC News [Internet]. 2016 [cité 15 avr 2022]. Disponible à: <https://www.cbc.ca/news/health/organic-eggs-nutrition-1.3485640>
167. Sokołowicz Z, Krawczyk J, Dykiel M. The Effect of the Type of Alternative Housing System, Genotype and Age of Laying Hens on Egg Quality. *Ann Anim Sci.* 1 mai 2018a;18(2):541-556.
168. Sokołowicz Z, Krawczyk J, Dykiel M. Effect of Alternative Housing System and Hen Genotype on Egg Quality Characteristics. *Emir J Food Agric.* 23 août 2018b;30(8):695-703.
169. Solomon SE, Bain MM, Cranstoun S, Nascimento V. Hen's egg shell structure and function. Dans: Board RG, Fuller R, éditeurs. *Microbiology of the Avian Egg* [Internet]. Boston, MA: Springer US; 1994 [cité 9 juill 2022]. p. 1-24. Disponible à: http://link.springer.com/10.1007/978-1-4615-3060-2_1
170. Stadig LM, Ampe BA, Van Gansbeke S, Van den Bogaert T, D'Haenens E, Heerkens JLT, et al. Survey of egg farmers regarding the ban on conventional cages in the EU and their opinion of alternative layer housing systems in Flanders, Belgium. *Poult Sci.* 1 mars 2016;95(3):715-725.
171. Stämpfli K, Buchwalder T, Fröhlich EKF, Roth BA. Design of nest access grids and perches in front of the nests: Influence on the behavior of laying hens. *Poult Sci.* avr 2013;92(4):890-899.
172. Sumner DA, Gow H, Hayes D, Matthews W, Norwood B, Rosen-Molina JT, et al. Economic and market issues on the sustainability of egg production in the United States: Analysis of alternative production systems I. *Poult Sci.* 1 janv 2011;90(1):241-250.
173. Süto Z, Horn P, Ujvári J. The effect of different housing systems on production and egg quality traits of brown and Leghorn type layers. *Acta Agrar Kaposvariensis.* 1997;1(1):29-35.

174. Swanson JC, Mench JA, Thompson PB. Introduction—The Socially Sustainable Egg Production project. *Poult Sci.* janv 2011;90(1):227-228.
175. Świątkiewicz S, Arczewska-Włosek A, Krawczyk J, Puchała M, Józefiak D. Dietary factors improving eggshell quality: an updated review with special emphasis on microelements and feed additives. *Worlds Poult Sci J.* 1 mars 2015;71(1):83-94.
176. Tactacan GB, Guenter W, Lewis NJ, Rodriguez-Lecompte JC, House JD. Performance and welfare of laying hens in conventional and enriched cages. *Poult Sci.* avr 2009;88(4):698-707.
177. Tanaka T, Hurnik JF. Comparison of Behavior and Performance of Laying Hens Housed in Battery Cages and an Aviary. *Poult Sci.* févr 1992;71(2):235-243.
178. Tauson R. Furnished cages and aviaries: production and health. *Worlds Poult Sci J.* 1 mars 2002;58(1):49-63.
179. Tauson R. Management and housing systems for layers – effects on welfare and production. *Worlds Poult Sci J.* sept 2005;61(3):477-490.
180. Tauson R, Wahlström A, Abrahamsson P. Effect of Two Floor Housing Systems and Cages on Health, Production, and Fear Response in Layers. *J Appl Poult Res.* juill 1999;8(2):152-159.
181. Taylor AA, Hurnik JF. The Long-Term Productivity of Hens Housed in Battery Cages and an Aviary. *Poult Sci.* janv 1996;75(1):47-51.
182. The Poultry Site. Taco Bell to end the use of cage eggs in its European supply chain | The Poultry Site [Internet]. 2021 [cité 21 mars 2022]. Disponible à: <https://www.thepoultrysite.com/news/2021/08/taco-bell-to-end-the-use-of-cage-eggs-in-its-european-supply-chain>
183. The R Foundation. R: The R Project for Statistical Computing [Internet]. 2022 [cité 29 juill 2022]. Disponible à: <https://www.r-project.org/>
184. Tůmová E, Skřivan M, Englmaierová M, Zita L. The effect of genotype, housing system and egg collection time on egg quality in egg type hens. *Czech Acad Agric Sci.* 2009;54(1):17-23.
185. Tůmová E, Englmaierová M, Ledvinka Z, Charvátová V. Interaction between housing system and genotype in relation to internal and external egg quality parameters. *Czech Acad Agric Sci.* 2011;56(11):490-498.
186. Tůmová E, Vlčková J, Charvátová V, Drábek O, Tejnecký V, Ketta M, et al. Interactions of genotype, housing and dietary calcium in layer performance, eggshell quality and tibia characteristics. *South Afr J Anim Sci.* 31 août 2016;46(3):285-293.
187. Tůmová E, Ebeid T. Effect of time of oviposition on egg quality characteristics in cages and in a litter housing system. *Czech J Anim Sci.* 6 déc 2011;50(3):129-134.

188. Tůmová E, Gous RM. Interaction of hen production type, age, and temperature on laying pattern and egg quality. *Poult Sci.* mai 2012;91(5):1269-1275.
189. Tuytens FAM, Sonck B, Staes M, Van Gansbeke S, Van den Bogaert T, Ampe B. Survey of egg producers on the introduction of alternative housing systems for laying hens in Flanders, Belgium. *Poult Sci.* 1 avr 2011;90(4):941-950.
190. Tuytens FAM, Struelens E, Ampe B. Remedies for a high incidence of broken eggs in furnished cages: Effectiveness of increasing nest attractiveness and lowering perch height. *Poult Sci.* janv 2013;92(1):19-25.
191. Unilever USA. Hellmann's mayonnaise and mayonnaise dressings now use 100% cage-free eggs in the U.S.*, three years ahead of schedule | Unilever [Internet]. 2017 [cité 11 mars 2022]. Disponible à: <https://www.unileverusa.com/news/press-releases/2017/hellmanns-mayonnaise-and-dressings-now-use-100-percent-cage-free-eggs/>
192. United Egg Producers. Facts & Stats - United Egg Producers [Internet]. [cité 12 mars 2022]. Disponible à: <https://unitedegg.com/facts-stats/> (2021)
193. United States Department of Agriculture. Shell Eggs: Monthly USDA Cage-Free Shell Egg Report [Internet]. 2022 [cité 20 avr 2022]. Disponible à: <https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/rj4304553?locale=en>
194. USDA-Agricultural Marketing Service. Shell Egg Grades and Standards [Internet]. United States Department of Agriculture (USDA). 2000 [cité 11 juill 2022]. Disponible à: <https://www.ams.usda.gov/grades-standards/shell-egg-grades-and-standards>
195. Valkonen E, Venäläinen E, Rossow L, Valaja J. Effects of Dietary Energy Content on the Performance of Laying Hens in Furnished and Conventional Cages. *Poult Sci.* mai 2008;87(5):844-852.
196. Valkonen E, Venäläinen E, Rossow L, Valaja J. Effects of calcium diet supplements on egg strength in conventional and furnished cages, and effects of 2 different nest floor materials. *Poult Sci.* nov 2010;89(11):2307-2316.
197. Van Staaveren N, Decina C, Baes C, Widowski T, Berke O, Harlander-Matauschek A. A Description of Laying Hen Husbandry and Management Practices in Canada. *Animals.* 11 juill 2018;8(7):114.
198. van Mourik S, Alders BPGJ, Helderma F, van de Ven LJF, Groot Koerkamp PWG. Predicting hairline fractures in eggs of mature hens. *Poult Sci.* juin 2017;96(6):1956-1962.
199. Varguez-Montero G, Sarmiento-Franco L, Santos-Ricalde R, Segura-Correa J. Egg production and quality under three housing systems in the tropics. *Trop Anim Health Prod.* févr 2012;44(2):201-204.

200. Vestergaard KS, Baranyiová E. Pecking and Scratching in the Development of Dust Perception in Young Chicks. *Acta Vet Brno*. 1996;65(2):133-42.
201. Vlčková J, Tůmová E, Míková K, Englmaierová M, Okrouhlá M, Chodová D. Changes in the quality of eggs during storage depending on the housing system and the age of hens. *Poult Sci*. nov 2019;98(11):6187-6193.
202. Wall H, Tauson R. Egg Quality in Furnished Cages for Laying Hens—Effects of Crack Reduction Measures and Hybrid. *Poult Sci*. mars 2002;81(3):340-348.
203. Wan Y, Yang H, Zhang H, Ma R, Qi R, Li J, et al. Effects of Different Non-Cage Housing Systems on the Production Performance, Serum Parameters and Intestinal Morphology of Laying Hens. *Animals*. 4 juin 2021;11(6):1673.
204. Weeks CA, Lambton SL, Williams AG. Implications for Welfare, Productivity and Sustainability of the Variation in Reported Levels of Mortality for Laying Hen Flocks Kept in Different Housing Systems: A Meta-Analysis of Ten Studies. Pritchett-Corning KR, éditeur. *PLOS ONE*. 6 janv 2016;11(1):e0146394.
205. Weeks CA, Nicol CJ. Behavioural needs, priorities and preferences of laying hens. *Worlds Poult Sci J*. 1 juin 2006;62(2):296-307.
206. Weitzenbürger D, Vits A, Hamann H, Distl O. Effect of furnished small group housing systems and furnished cages on mortality and causes of death in two layer strains. *Br Poult Sci*. oct 2005;46(5):553-559.
207. Workman L, Andrew RJ. Simultaneous changes in behaviour and in lateralization during the development of male and female domestic chicks. *Anim Behav*. oct 1989;38(4):596-605.
208. Yang SH, Nugraha WS. What Makes Consumers Purchase Fresh Eggs in Supermarkets: The Effect of Unrealistic Choice Set Matters. *Animals*. 13 déc 2021;11(12):3542.
209. Yilmaz Dikmen B, İpek A, Şahan Ü, Petek M, Sözcü A. Egg production and welfare of laying hens kept in different housing systems (conventional, enriched cage, and free range). *Poult Sci*. juill 2016;95(7):1564-1572.
210. Yilmaz Dikmen B, İpek A, Şahan Ü, Sözcü A, Baycan SC. Impact of different housing systems and age of layers on egg quality characteristics. *Turk J Vet Anim Sci*. 2017;41(1):77-84.