



**HAL**  
open science

# QUALICOUV : quels leviers d'action pour améliorer la qualité du poussin en cas de stockage prolongé des oeufs à couver avant l'incubation, ou d'attente prolongée du poussin d'un jour avant la mise en élevage ?

Julie Puterflam, Maryse Guinebretière, Alassane Keita, Pascal Galliot,  
Rosinski Thomas

## ► To cite this version:

Julie Puterflam, Maryse Guinebretière, Alassane Keita, Pascal Galliot, Rosinski Thomas. QUALICOUV : quels leviers d'action pour améliorer la qualité du poussin en cas de stockage prolongé des oeufs à couver avant l'incubation, ou d'attente prolongée du poussin d'un jour avant la mise en élevage ?. Innovations Agronomiques, 2020, 79, pp.299-314. 10.15454/3xp6-hb85 . hal-04674324

**HAL Id: hal-04674324**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04674324>**

Submitted on 21 Aug 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

## **QUALICOUV : quels leviers d'action pour améliorer la qualité du poussin en cas de stockage prolongé des œufs à couvrir avant l'incubation, ou d'attente prolongée du poussin d'un jour avant la mise en élevage ?**

**Puterflam J.<sup>1</sup>, Guinebretière M.<sup>2</sup>, Keita A.<sup>2</sup>, Galliot P.<sup>1</sup>, Thomas R.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> ITAVI, 41 rue de Beaucemaine, F-22440 Ploufragan

<sup>2</sup> ANSES, F-22440 Ploufragan

**Correspondance** : puterflam@itavi.asso.fr

### **Résumé**

La robustesse des poussins définit leur potentiel d'adaptation et leur capacité à endurer différents stress, tout en conservant un potentiel de production élevé. Il s'agit d'un paramètre crucial à optimiser afin de limiter leur mortalité et réduire l'usage des antibiotiques durant la phase d'élevage. La robustesse des poussins et les performances zootechniques qui en découlent au cours de l'élevage dépendent de nombreux facteurs comme la qualité des œufs à couvrir (OAC), elle-même liée à l'âge du troupeau reproducteur et à la durée de stockage des œufs ou à la durée d'attente des poussins avant la mise en élevage. Ces paramètres sont inhérents à la disponibilité en troupeaux de reproducteurs ainsi qu'aux besoins du marché, et ne peuvent donc pas toujours être optimisés.

Ce projet vise à tester différents leviers d'action intervenant lors du stockage des œufs à couvrir avant incubation et lors de l'attente des poussins avant transport vers les élevages, pour compenser ces situations critiques mais impondérables. Il a pour objectif d'optimiser à la fois les performances d'éclosion et la robustesse des poussins, mais aussi les performances zootechniques, la santé et le bien-être des animaux tout au long de la phase d'élevage, évaluées par une approche multicritères et par le biais d'indicateurs innovants dans le domaine des technologies émergentes.

Dans le cadre de l'action 1, deux lots de poussins issus de reproducteurs en début de ponte (DP) et en fin de ponte (FP), ont été mis en attente au couvoir pendant une durée de 24 heures avant transfert à l'élevage. 5 modalités ont été testées pendant l'attente : témoin (T) : poussins en caisses empilées en conditions d'ambiance non contrôlée ; densité réduite (D) : mêmes conditions excepté une densité plus faible ; ambiance contrôlée (A) : ambiance contrôlée avec caisse vide entre chaque caisse de poussin pour améliorer la circulation d'air ; ambiance contrôlée + densité réduite (AD) et enfin ambiance contrôlée + densité réduite + ajout d'hydratant (ADH) (bloc de gélose dans les caisses). Après les 24 heures d'attente, les différents lots ont été élevés en conditions similaires. Les effets des traitements ont été évalués sur : la qualité des poussins à la mise en place (évaluée par une grille visuelle), la mortalité, les performances zootechniques et le bien-être des animaux en cours d'élevage jusqu'à l'abattage. Aucune des modalités n'a eu d'impact significatif sur les indicateurs de qualité des poussins relevés ni sur la mortalité au démarrage ou en cours de lot. On observe que si chaque levier appliqué séparément n'a eu qu'un impact limité sur certains des indicateurs relevés, le cumul de ces leviers (ADH) a permis de favoriser de façon significative pour les DP et les FP : une meilleure homogénéité de poids des animaux à partir de J5, une diminution du taux de lésions pododermatites en fin de lot, et pour le lot DP, une augmentation significative du poids à J1, J5 et J22. Ainsi, il semblerait que l'optimisation des conditions d'attente des poussins au couvoir, testée ici sous forme du cumul de différentes mesures mises en œuvre, puisse permettre une amélioration des performances et du bien-être des animaux en cours de lot.

Dans le cadre de la seconde action, des œufs ont été stockés selon 3 modalités : 1) « F » ou Froid à 11,5°C pour limiter la mort des cellules embryonnaires, 2) « SP » ou Spides avec deux pré-chauffages à 6 et 10 jours après la ponte, chacune pendant 4 heures entre 32 et 35°C pour que l'embryon atteigne un stade de développement embryonnaire robuste, et le reste du temps à 18°C, et 3) « T » ou Témoin à 18°C pendant toute la période de stockage. A l'issue de l'éclosion, les animaux ont été élevés dans la même ferme expérimentale. Les résultats ont montré que, pour les DP et les FP, le développement embryonnaire était accéléré chez les SP (stades EG et K 12,4 et 12,6 dans les œufs SP en DP et FP contre 10 dans les autres groupes,  $p < 0,01$ ). On observe aussi que les taux d'éclosion étaient plus élevés dans F et SP par rapport à T (pour DP : 86% en T contre 95% en SP et en F ; pour FP : 75% en T contre 86% en SP et 88% en test F,  $X^2$ ,  $p < 0,05$  pour chaque comparaison avec T). F et SP ont diminué la mortalité embryonnaire pendant le stockage et pendant l'incubation par rapport au traitement T, et ont amélioré la qualité des poussins en termes de pourcentage de poussins de 1ère année ( $p < 0,05$ ). La mortalité pendant l'élevage n'était pas significativement différente entre les groupes. Les poussins T étaient plus lourds que les SP et F à J1 (pour FP) et que SP uniquement pour DP ( $p < 0,05$ ). Cependant, il n'y avait pas de différence significative entre les groupes sur le poids corporel après le jour 4. La consommation de nourriture n'était pas différente entre les groupes.

Les traitements thermiques pour les œufs de reproducteurs jeunes et âgés semblent compenser les effets négatifs d'un stockage prolongé des œufs sur les résultats d'éclosion, même si les différences de mortalité ou de poids ne persistent pas chez tous les animaux.

**Mots-clés** : Développement embryonnaire, bien-être, performances

**Abstract: QUALICOUV: What action levels for improving chicks quality in case of long storage of hatching eggs before incubation, or prolonged storage of the chicks before breeding**

The robustness of the chicks defines their adaptability and their ability to withstand different stresses, while maintaining a high production potential. This is a crucial parameter to optimize in order to limit their mortality and reduce antibiotic use during the breeding phase. The robustness of chicks and the resulting animal performance during rearing depend on many factors such as the quality of hatching eggs (HBO), which in turn is related to the age of the breeding flock and the storage time of the eggs or the waiting time of the chicks before being placed in rearing. These parameters are inherent to the availability of breeding herds and market needs, and therefore cannot always be optimized.

This project aims to test different levers of action during the storage of hatching eggs before incubation and during the waiting of chicks before transport to the farms, to compensate for these critical but imponderable situations. It aims to optimize both the hatching performance and robustness of chicks, but also the zootechnical performance, health and welfare of animals throughout the breeding phase, assessed by a multi-criteria approach and through innovative indicators in the field of emerging technologies.

Under Action 1, two batches of chicks from early (DP) and late (FP) spawners were held in the hatchery for 24 hours before being transferred to the farm. 5 modalities were tested during the waiting period: control (T): chicks in crates stacked in uncontrolled environment conditions; reduced density (D): same conditions except for a lower density; controlled environment (A): controlled environment with empty crate between each crate of chicks to improve air circulation; controlled environment + reduced density (AD) and finally controlled environment + reduced density + addition of hydrator (ADH) (agar block in the crates). After the 24-hour waiting period, the different batches were raised under similar conditions. The effects of the treatments were evaluated on the quality of the chicks at installation (assessed by a visual grid, mortality, zootechnical performance and animal welfare during breeding up to slaughter). None of the modalities had a significant impact on the quality indicators of the chicks recorded or on the mortality at the start or during the batch. It can be seen that while each lever applied separately had

only a limited impact on some of the indicators identified, the combination of these levers (ADH) made it possible to significantly improve the homogeneity of animal weight from D5 onwards, a decrease in the rate of pododermatitis lesions at the end of the batch, and for the DP batch, a significant increase in weight at D1, D5 and D22. Thus, it would seem that the optimization of the waiting conditions for chicks in the hatchery, tested here in the form of the combination of different measures implemented, could lead to an improvement in the performance and well-being of the animals during the batch.

In the second action, eggs were stored in 3 ways: 1/ "F" or Cold at 11.5°C to limit embryonic cell death, 2/ "SP" or Spides with two pre-heats at 6 and 10 days after egg laying, each for 4 hours between 32 and 35°C to reach a robust embryonic development stage, and the remainder at 18°C, and 3/ "T" or Control at 18°C during the entire storage period. At the end of the hatching, the animals were raised on the same experimental farm. The results showed that, for DP and FP, embryonic development was accelerated in SPs (stages EG and K 12.4 and 12.6 in SP eggs in DP and FP against 10 in the other groups,  $p < 0.01$ ). It is also observed that hatching rates were increased in F and SP relative to T (for DP : 86% in T versus 95% in SP and F; for FP: 75% in T versus 86% in SP and 88% in F,  $X^2$ ,  $p < 0.05$  for each comparison with T). F and SP decreased embryonic mortality during storage and incubation compared to T treatment, and improved the quality of chicks in terms of percentage of 1st year chicks ( $p < 0.05$ ). Mortality during breeding was not significantly different between groups. T chicks were heavier than SP and F at J1 (for FP) and SP only for DP ( $p < 0.05$ ). However, there was no significant difference between the groups on body weight after Day 4. Food consumption was no different between the groups.

Heat treatments for eggs of young and old breeders appear to compensate for the negative effects of prolonged egg storage on hatching results, although the differences between the two seem to be less significant.

**Keywords:** Embryonic development, well-being, performance

## Introduction

### Contexte

Les poussins d'un jour, produits finis du maillon accoupage, constituent un préalable à la réussite du lot de poulet de chair en élevage, car leurs qualités physiques, leur état de stress ainsi que l'homogénéité des lots sont déterminants pour la viabilité et la croissance des lots de poulets. Les pertes des deux premières semaines représentent en général plus de 50 % de la mortalité totale : la viabilité et la robustesse des poussins sont donc des paramètres cruciaux à optimiser dans l'objectif de permettre aux éleveurs de mieux maîtriser la mortalité des premiers jours d'élevage. Différents facteurs influencent la robustesse. Ils interviennent avant l'incubation comme la qualité des œufs à couvrir, liée à l'âge du troupeau reproducteur ou aux conditions et durées de stockage des œufs à couvrir, ou après l'éclosion comme les conditions et la durée de stockage des poussins avant leur mise en élevage.

Bien que les professionnels du secteur accoupage aient une bonne connaissance des impacts négatifs que peuvent avoir ces facteurs sur la qualité des poussins d'un jour, ils ne peuvent pas toujours les éviter pour des raisons de disponibilité des troupeaux de reproducteurs ou de besoins du marché. En effet, l'évolution récente du marché des filières de volailles chair implique une production des poussins de plus en plus saisonnière, avec un retour récurrent d'une année sur l'autre de deux périodes où les livraisons de lots de poussins en élevage sont plus espacées. Il en résulte une nécessité pour les couvoirs d'allonger les durées de stockage des OAC avant l'incubation, ces durées pouvant aller jusqu'à plus de 15 jours en fonction des commandes, mais aussi un allongement de la durée d'attente des poussins au couvoir avant leur transport pouvant atteindre jusqu'à 24 h pour des raisons de planning.

## Objectifs du projet

Le présent projet vise à tester des leviers d'action pour compenser une durée de stockage des OAC d'au moins 15 jours, ou une durée d'attente des poussins au couvoir d'au moins 24 h avant le transport en élevage, couplés à des âges de troupeaux reproducteurs pénalisants (début et fin de ponte). L'objectif est d'améliorer les conditions périnatales de stockage des œufs et d'attente des poussins afin d'optimiser à la fois les performances d'éclosion au niveau des couvoirs (fertilité, éclosabilité, mortalité embryonnaire, poids des poussins à la naissance), la robustesse du jeune poussin, ainsi que les performances zootechniques, la santé et le bien-être des animaux qui en résultent lors de la phase d'élevage.

## Les partenaires du projet

- Syndicat National des Accouveurs
- ANSES Unité GVB
- ANSES Unité VIPAC
- Laboratoire Frank Duncombe
- INRAE – UR83 Recherches
- SNGTV (Syndicat National des Groupements Techniques Vétérinaires)
- GDS (Groupement de Défense sanitaire) des côtes d'Armor

## 1. Etat de l'art

La robustesse des poussins d'un jour et les performances zootechniques qui en résultent au cours de l'élevage dépendent de nombreux facteurs.

**L'âge du troupeau reproducteur.** L'augmentation de l'âge du troupeau reproducteur diminue la fertilité (Gumulka et Kapkowska, 2005) et l'éclosabilité. Le taux d'éclosion d'œufs issus de reproducteurs âgés de 27 semaines se situe aux alentours de 88 %, et atteint un maximum de 96 % à 40-42 semaines, pour redescendre à 73 % à 59-61 semaines (Tona et al., 2001). L'âge du troupeau reproducteur influence aussi la qualité des OAC en termes de solidité et de porosité de la coquille.

Par ailleurs, selon Meijerhof et al. (1992), l'âge du troupeau reproducteur impacte le moment de l'oviposition et donc le stade de développement embryonnaire, lui-même facteur essentiel dans la survie de l'embryon au cours de l'incubation. Plus encore, l'âge du troupeau semble jouer un rôle primordial dans la capacité de l'embryon à résister à des périodes de stockage prolongées (Fasenko et al., 2003 ; Reijrink et al., 2009). Des OAC issus de troupeaux jeunes peuvent être stockés plus longtemps sans être dégradés par rapport aux OAC issus de troupeaux plus âgés. Brake et al. (1997) ont montré que les OAC issus de jeunes troupeaux devraient être stockés à une température et une hygrométrie supérieures à celle d'OAC issus de troupeaux plus âgés pour garantir une bonne qualité d'OAC. L'âge du troupeau reproducteur influence fortement le poids des OAC, généralement plus lourds s'ils sont issus d'un troupeau de reproducteurs en fin de ponte (55 g à 27 semaines d'âge contre 70 g à 60 semaines d'âge ; Tona et al. 2001). Par conséquent il impacte la durée d'incubation, plus longue avec des œufs plus lourds (Wilson, 1991), et le poids des poussins à la naissance, lui-même corrélé au poids de l'œuf (Almeida et al., 2006b ; Hulet et al., 2007 ; Tanure et al., 2009). Enfin, la qualité des poussins issus de reproducteurs en début de ponte semble meilleure (score de Tona, gain de poids moyen et croissance dans les 7 premiers jours ; Tona et al., 2004), et leur taux de mortalité plus faible que ceux issus de fin de ponte (5,04 % et 3,11 %, respectivement à 35 et 27 semaines vs. 9,67 % à 63 semaines ; Peebles et al., 1999). En revanche, les poussins plus légers à la naissance obtiennent de moins bonnes performances zootechniques (GMQ plus faible durant les trois premières semaines de vie, poids à l'abattage plus léger). Les poussins issus de début de ponte seraient donc

désavantagés en termes de performances zootechniques par rapport à ceux produits plus tard dans le cycle de production (Ulmer-Franco et al., 2010).

**Les conditions et durées de stockage des OAC.** L'œuf pondu se trouve généralement à un stade de développement qui semble mal supporter le stockage. En conditions naturelles, la couvaie des œufs permet de courtes périodes intermittentes de réchauffage des œufs qui amènent les embryons à un stade plus avancé de développement. En couvoir, le stockage des œufs préalable à l'incubation est généralement réalisé à une température constante de  $18 \pm 2^\circ\text{C}$  et une hygrométrie de 70 à 75 % pour des œufs stockés jusqu'à une semaine (Christensen et al., 2002 ; Elibol et al., 2002).

Ces conditions d'ambiance interagissent avec l'œuf fertile au cours du temps, allant jusqu'à affecter l'incubation (Brake et al., 1997 ; Onagbesan et al., 2007) : une durée de stockage prolongée des OAC diminue la viabilité embryonnaire et donc le taux d'éclosion (Butcher et Nilipour, 2009 ; Elibol et Brake, 2008), retarde l'éclosion et réduit la qualité et la croissance des poussins (Reijrink et al., 2010 ; Tona et al., 2003). Chaque jour supplémentaire de stockage réduit l'éclosabilité de 0,2 % jusqu'à 7 jours, et de 0,5 % entre 7 et 14 jours (Yassin et al., 2008), et selon Schmidt et al. (2009) de 1,17 % et augmente la mortalité embryonnaire de 1,15 %. Alsobayel et Al-Miman (2010) ont par ailleurs démontré qu'une durée de stockage prolongée (7 jours ou plus) pouvait avoir un effet négatif sur les performances des poulets à long terme (poids vif, poids carcasse). Cet effet semble prononcé pour des OAC ayant subi une très longue période de stockage (14 jours), et est particulièrement visible durant les premières semaines d'élevage (indice de consommation, consommation d'aliment). En pratique dans les couvoirs commerciaux, la température dans les salles de stockage des OAC est abaissée à  $12-13^\circ\text{C}$  si les OAC doivent être stockés plus de 7 jours (source Syndicat National des accoueurs). Cependant cette pratique n'est pas validée scientifiquement et peut être améliorée au regard des faibles résultats d'éclosion et de qualité des poussins obtenus.

**Des techniques innovantes** permettraient d'emmener l'œuf à des stades plus avancés supportant davantage le stockage, comme le **préchauffage des OAC** qui tente de reproduire le mécanisme naturel par la mise en incubation des œufs ( $37,7-37,8^\circ\text{C}$  pendant 6 heures) dès leur arrivée au couvoir et avant leur mise en stockage. Les résultats obtenus semblent variables, le taux d'éclosion aurait été augmenté de 4 % pour des OAC stockés entre 4 et 13 jours selon Hubbard (source interne), le taux d'éclosion a été augmenté et la mortalité embryonnaire diminuée dans les travaux de Silva et al. (2008) lorsque les OAC étaient préchauffés pendant 6 h à  $37^\circ\text{C}$ . Cependant, Fassenko et al. (2003) ont obtenu des effets négatifs sur le taux d'éclosion, en pratiquant cette technique quelques jours après la ponte. Une autre méthode consiste à stocker **les OAC à très basse température**, afin de bloquer les multiplications cellulaires sans affecter l'embryon. Ruiz et Lunam (2002) ont obtenu de meilleurs résultats sur le taux d'éclosion et sur le poids des poussins à la naissance pour des OAC stockés à  $10^\circ\text{C}$ , comparé à  $16,5^\circ\text{C}$ . Des études visant à tester des températures de stockage des OAC encore plus basses (5 voire  $3^\circ\text{C}$ ), sont actuellement en cours en Angleterre, avec des résultats qui semblent très prometteurs. Ces techniques de stockage sont pour le moment en phase de test, et à ce jour très peu de publications de ces travaux sont disponibles, et aucune n'a évalué l'impact sur l'animal jusqu'en phase d'élevage.

**Les conditions et durées d'attente des poussins avant transport en élevage.** De longues durées d'attente sont fréquemment rencontrées sur le terrain du fait des variations de la durée d'éclosion et de la durée des traitements et manipulations réalisés sur les poussins au couvoir avant leur transport en élevage. Bar Shira et al. (2005) ont montré qu'une période de jeûne pour le poussin avant la première prise alimentaire de 24 à 72 h retarde le début du développement de l'intestin. Ainsi, une longue durée d'attente des poussins avant le premier accès à la nourriture dégrade les performances zootechniques des poulets, surtout dans la première semaine d'élevage (GMQ, activation du système immunitaire, stimulation des enzymes digestives et développement de l'intestin, poids corporel) (Corless et Sell, 1999 ; Pinchasov et Noy, 1993 ; Potturi et al., 2005 ; Willemsen et al., 2010).

Ces effets néfastes seraient d'autant plus marqués lorsque les poussins sont exposés à un stress, par exemple une variation importante de la température ou de l'hygrométrie. Lin et al. (2005) indiquent que les poussins sont sensibles à des variations de l'hygrométrie, quelle que soit la température du milieu car leur capacité de thermorégulation est affectée : à 25°C comme à 35°C, une augmentation de l'hygrométrie provoque une augmentation de la température du plumage et une diminution de la température rectale. Des variations de température peuvent également affecter la qualité des poussins comme le montrent Al Aqil et Zulkifli (2009) : des animaux élevés en conditions de température contrôlée (32°C au démarrage puis baisse progressive à 23°C à 21 jours) présentent une tolérance accrue au stress (ici engendré par le transport) que des animaux élevés en bâtiment ouvert avec des températures variant cycliquement de 24°C à 34°C.

Dans les couvoirs de production, une longue mise en attente des poussins d'un jour n'est généralement pas assurée dans des conditions idéales, souvent par absence de salle en atmosphère contrôlée dédiée à l'attente des poussins. Les poussins attendent alors au sein même des salles d'éclosion ou dans des salles annexes sans ventilation spécifique à leurs besoins et sans contrôle de l'hygrométrie, provoquant parfois une mauvaise oxygénation, et avec des températures relativement basses provoquant des chocs thermiques avec la salle d'éclosion (source Syndicat National des accoueurs). Actuellement très peu d'études ont analysé l'impact des conditions optimisées d'attente des poussins au couvoir sur leur qualité à un jour, mais aussi tout au long de leur période d'élevage, ce qui explique que les couvoirs de production n'appliquent pas de manière systématique une ambiance optimale pour l'attente des poussins, surtout lorsqu'ils doivent attendre relativement longtemps. Les diverses conditions périnatales pourraient donc impacter la robustesse du poussin, notamment son état de stress, ses compétences immunitaires, son niveau de stress oxydatif et sa résistance aux maladies. Ces différents paramètres peuvent être explorés via des techniques ou des approches innovantes qui permettraient d'avoir une évaluation multicritère de la santé et du bien-être des animaux.

**L'immunité et la résistance aux maladies.** Chez l'homme, le stress peut, en agissant sur l'axe hypophysaire et la production de cytokines, modifier le statut immunitaire d'un individu (Feuerecker et al., 2013). Plus généralement, les hormones de stress comme les corticoïdes sont impliquées dans la régulation du système immunitaire de tous les vertébrés (Harizi et al., 2007 ; Stolte et al., 2008). Plusieurs auteurs ont montré une relation entre le stress et l'immunité chez les oiseaux : diminution de la production d'anticorps suite à une immunisation due à un stress (Krams et al., 2013). Zhao et al. (2014) ont montré qu'un stress par le froid chez des poulets induisait un stress oxydatif dans les organes liés à l'immunité et une augmentation de l'expression des « heat shock » protéines qui peuvent contribuer à la protection des organes immunitaires contre le stress de froid. Si un stress oxydatif peut avoir un impact négatif sur l'immunocompétence des poulets (Zhang et al., 2012), la distribution de molécules antioxydantes (vitamine E, C...) dans l'alimentation peut permettre, lors d'un stress de froid par exemple, de limiter la production en corticoïdes et d'améliorer l'immunité à médiation humorale (Sandhu et al., 2013). Homberger et al. (2013) ont montré chez des perdrix la corrélation négative existant entre la production de corticoïdes suite à un stress, les capacités immunitaires et le stress oxydatif et soulignent l'intérêt d'une approche considérant de manière globale ces différents systèmes de régulation, comme nous proposons de le faire dans le présent projet. Quelques travaux montrent l'effet délétère d'un stress (principalement alimentaire ou thermique) sur la résistance aux maladies (Burkholder et al., 2008 ; Humphrey, 2006). Mais à notre connaissance, aucune publication n'existe sur l'impact de modification des conditions environnementales périnatales sur la résistance aux maladies des animaux. L'hypothèse qui sous-tend nos travaux est ici de vérifier si des conditions périnatales plus stressantes impactent le niveau de stress des animaux, l'immunocompétence, le stress oxydatif et *in fine*, la résistance aux maladies.

**Le stress oxydatif.** Le stress oxydatif est un état de déséquilibre de la balance entre les molécules pro et anti-oxydantes en faveur des premières, qui peut être induit par différentes conditions dont des états pathologiques chez les animaux et l'homme (Pincemail et al., 1999) ou des stress. Le stress oxydatif

est potentiellement toxique pour l'organisme car il peut conduire à l'inactivation de protéines, endommager l'ADN avec, en conséquence, une altération du message génétique, dégrader les sucres, initier la peroxydation lipidique au sein de la membrane cellulaire en s'attaquant aux acides gras polyinsaturés (Pamok et al, 2009 ; Pincemail et al., 1999). Mahmoud et al. (2005) ont montré, à l'inverse, qu'une supplémentation alimentaire en sélénium permet de diminuer le stress oxydatif lié à un challenge infectieux avec *E.coli* et à un stress thermique chez des poulets de chair, ce qui confère aux animaux une meilleure résistance. Simsek et al. (2009) et Simitzis et al. (2012) ont montré que l'augmentation des densités d'élevage chez le poulet de chair pouvait conduire à l'augmentation de la concentration en molécules qui sont le produit final d'oxydation des lipides ou des protéines. Le stress oxydatif peut également augmenter chez le poulet suite à l'exposition à des stress thermiques (Lin et al., 2006) ou à certaines molécules dans l'alimentation comme les mycotoxines (Wu et al., 2013). D'autres molécules, comme le sélénium ou certaines vitamines (C, E), apportées dans l'alimentation peuvent avoir une action anti-oxydante, notamment en cas de stress thermique (Harsini et al., 2012 ; Mahmoud et al., 2005). Par contre, peu de travaux ont à notre connaissance été menés sur la relation entre les conditions périnatales et le stress oxydatif puis entre le stress oxydatif et l'état de santé global des animaux.

## 2. Actions menées

### 2.1 Action 1

Willemsem et al. (2010) ont indiqué qu'une longue période d'attente des poussins avant le premier accès à la nourriture dégradait les performances zootechniques des poulets, surtout au cours de la première semaine d'élevage. Ces effets néfastes sont d'autant plus marqués lorsque les poussins sont exposés à un stress thermique (Al Aquil et al., 2009).

L'objectif de cette première action était d'évaluer l'impact d'une optimisation des conditions d'ambiance lors d'une attente prolongée de poussins issus de reproducteurs en début ou fin de ponte, sur différents indicateurs de robustesse de ces poussins (qualité, performances zootechniques, mortalité, santé...).

#### 2.1.1 Protocole d'étude

##### ▪ Origine des poussins

Les poussins sont issus de deux élevages de reproducteurs de souche Ross 308 : l'un en début de ponte (DP : 28 semaines) et l'autre en fin de ponte (FP : 52 semaines). Les œufs à couvrir sont stockés pendant 7 jours puis mis à incuber ensemble avec un programme classique en couvoir de production. A l'issue de l'éclosion les poussins sont triés, vaccinés, puis stockés pendant une durée de 24 h avant leur transport à l'élevage.

Afin de pouvoir dissocier les effets de l'âge des reproducteurs des effets des conditions d'attente, les deux lots DP et FP sont considérés pour la suite de l'étude comme 2 expérimentations séparées.

##### ▪ Traitement des poussins

Les poussins DP et FP sont séparés chacun en deux groupes de 1550 animaux :

#### Groupe témoin (T)

Les poussins sont mis en caisse à la densité de 21 cm<sup>2</sup>/poussin. Les caisses sont empilées dans le sas situé entre la salle de stockage et le quai de chargement. L'ambiance (température, hygrométrie) n'est pas contrôlée et est susceptible d'être modifiée par des variations dues à l'ouverture des portes.

#### Groupe ambiance optimisée (A)

Les poussins sont mis en caisse à une densité plus faible (28 cm<sup>2</sup>/poussin) pour favoriser la circulation d'air dans les caisses. Les caisses sont empilées dans une salle de stockage à ambiance optimale



stable et contrôlée (température de l'air : 24-25°C, et hygrométrie : 55-60%, consignes issues de Mitchell et al., 2009) avec une caisse vide entre chaque caisse de poussins de façon à favoriser la circulation de l'air entre les caisses, et ainsi de permettre une meilleure thermorégulation par convection.

#### ▪ Mise en élevage

A l'issue des 24 heures d'attente au couvoir, les poussins ont été transportés à l'élevage expérimental de l'Anses. Les lots DP et FP ont été placés dans deux salles distinctes d'un même bâtiment. Les poussins des groupes T et A ont été mis en place chacun dans 5 parquets répartis de 310 animaux sur l'ensemble de la salle et élevés en conditions identiques jusqu'à l'abattage.

#### ▪ Mesures réalisées

Lors de l'attente des poussins, des mesures d'ambiance ont été réalisées dans les zones d'attente avec des sondes de température et d'hygrométrie placées dans les caisses de poussins et dans les salles.

Par ailleurs, 16 caisses par groupe ont été pesées à l'éclosion et à l'arrivée à l'élevage. A l'arrivée à l'élevage, des mesures de température cloacale ont été effectuées sur 20 poussins par groupe. En cours d'élevage, 150 animaux par groupe étaient pesés à J1, 5, 8, 12, 21, 29. L'état des pododermatites et tarsi a été évalué sur 60 animaux par groupe, à J21 et 29. L'enregistrement de la mortalité était effectué quotidiennement pour chacun des parquets. A J29, les poids de filets ont été notés sur 25 animaux par groupe, uniquement en FP.

#### ▪ Traitement des données

Les données issues de DP et de FP ont été traitées séparément par le logiciel R. Des analyses multivariées avec le test non paramétrique de Kruskal-Wallis ont été réalisées à partir des différentes variables relevées afin de mettre en évidence de potentielles différences entre traitements.

### 2.1.2 Résultats et discussion

#### ▪ Ambiance dans la zone d'attente

Dans la salle T (ambiance non contrôlée), l'analyse des sondes a indiqué des variations importantes de température : 18,6 à 28,1°C pendant les 24 heures d'attente, soit près de 10°C d'amplitude. Il en est de même pour l'hygrométrie qui a varié de 38,2 à 74,2 % soit 36% d'écart.

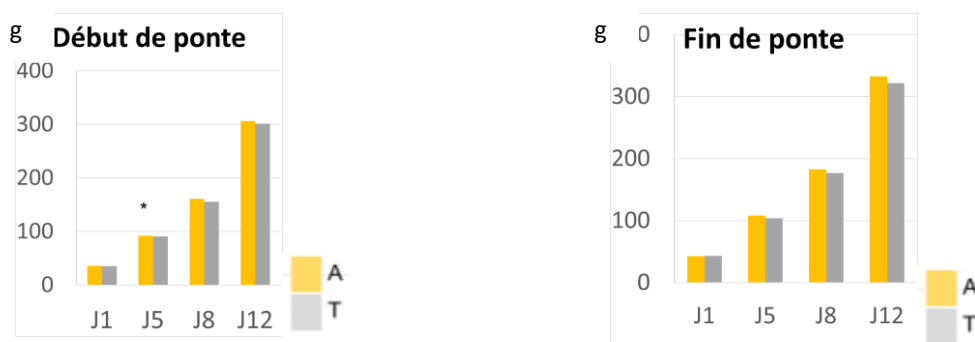
A l'inverse, l'ambiance de la salle A correspondait aux consignes : 24-25°C et hygrométrie de 55-60%.

#### ▪ Poids des animaux

La perte moyenne de poids des animaux entre l'éclosion et l'élevage est significativement plus faible chez les animaux issus du traitement A que chez les animaux T, et cela pour les DP (respectivement : 1,9±2,9% et 3,4±1,9%, p=0,05) comme pour les FP (respectivement : 3,2±3,25% et 5,5±1,9%, p=0,05).

On peut penser que ces pertes de poids peuvent être liées à des phénomènes de thermorégulation par évaporation chez les animaux T qui ont subi un stress thermique pendant leur attente, confirmant les résultats de Mitchell et al. (2009). Chez les DP, le poids moyen des poussins issus du traitement A est significativement supérieur à celui des poussins T à J1 (p=0,04), à J5 (p=0,0002) et à J12 (p=0,01). Chez les FP, le poids moyen des poussins issus du traitement A tend à être supérieur à celui des poussins T à J1 (p=0,1), et est significativement supérieur aux poussins T à J5 (p=0,0004), à J8 (p=0,002) et à J12 (p=0,001). A J21 et J29 on n'observe plus de différence de poids entre les poussins issus des différents traitements (Figures 1 et 2). Aksit et al. (2013) ont eux aussi observé que des températures plus froides durant l'incubation et après le stockage, comme ici des baisses importantes de température lors de l'attente des poussins, sont susceptibles de réduire le poids corporel des animaux. De même selon Al Alquil et al. (2009), des animaux élevés en conditions de température

contrôlée (ici A) présentent une tolérance accrue au stress, ici engendré par le transport et les variations de température.



Figures 1 et 2 : Poids des poussins (g) entre 2 et 12 jours selon leurs conditions d'attente au couvoir

#### ▪ Mortalité

On n'observe pas de différence significative entre les taux de mortalité relevés en cours d'élevage chez les animaux issus des traitements A et T (entre 3 et 5% pour tous les groupes,  $p > 0,05$ ). A l'inverse, Aksit et al. (2013) indiquaient que des températures plus froides durant l'incubation et après le stockage augmentaient la mortalité totale.

#### ▪ Température cloacale

La température cloacale des poussins d'un jour est plus élevée chez les poussins A que chez les poussins T pour les FP ( $40,7 \pm 0,9$  °C chez les poussins A vs.  $40,4 \pm 0,7$  °C pour les poussins T ;  $p=0,02$ ). Ce résultat va dans le sens des observations de Lin et al. (2005), selon lesquelles des variations d'hygrométrie, ici rencontrées par les T lors de leur attente, peuvent impacter la capacité de thermorégulation des poussins et provoquer une augmentation de la température de plumage et une diminution de la température cloacale.

#### ▪ Pododermatites et torses

Chez les DP, à J21, la fréquence d'animaux présentant des pododermatites et des torses brûlés est plus importante chez les T (15% et 31,7%) que chez les animaux A (3,3% et 17,1%). Ces résultats ne sont pas statistiquement significatifs, mais se répètent à J29 pour la fréquence de torses brûlés (44% chez les T et 35% chez les A). De Cristo et al. (2017) ont indiqué que la densité avait un impact sur l'incidence des pododermatites et que des densités plus élevées résultaient en des incidences supérieures de lésions des pattes. Au regard de nos résultats, on peut se demander si la densité en caisse, pendant la période d'attente des poussins au couvoir, peut également avoir un impact a posteriori sur la fragilisation du derme et ainsi expliquer une différence d'apparition des pododermatites et torses en élevage.

#### ▪ Rendement filet

Le rendement filet relevé chez les A à J29 est significativement supérieur à celui des T (chez les DP : respectivement  $92,2 \pm 1,3$  et  $88,04 \pm 0,9$  g/kg de poids vif,  $p=0,01$ ). Les conditions d'incubation peuvent impacter la masse musculaire des poulets (Hammond et al., 2007). Il est donc également possible que les conditions précoces de vie des poussins aient également un impact sur le développement musculaire et donc sur le rendement filet.

#### ▪ Conclusion

Cette étude confirme que les premières heures après l'éclosion sont critiques et susceptibles d'impacter certains éléments de robustesse à la mise en place (Bergoug et al., 2013), notamment la prise de poids et l'homéostasie. En particulier, les résultats indiquent que la maîtrise de la température et de l'hygrométrie durant les heures suivant l'éclosion est fondamentale, y compris pour des paramètres

économiques mesurés comme la masse musculaire. Ainsi cette étude indique la nécessité de prendre en compte, dans le cadre du management des poussins, l'interaction entre les paramètres d'ambiance (température, hygrométrie) et l'âge des reproducteurs, dans le but d'améliorer la qualité des poussins, le bien-être des animaux et leurs performances futures.

## 2.2 Action 2

A partir d'une semaine de stockage, les œufs fécondés commencent à dégénérer : il y a perte métabolique et mort des cellules embryonnaires, la qualité de l'albumen diminue ainsi que l'intégrité de la membrane vitelline. Cela mène à une mortalité précoce, une augmentation de la durée d'incubation, et par conséquent une mauvaise qualité du poussin.

L'objectif de l'action 2 vise à tester différents leviers d'action intervenant lors du stockage des OAC avant incubation, pour compenser ces situations critiques mais impondérables. Elle vise donc à comparer des stockages longs des OAC, à priori optimaux, à la situation habituelle rencontrée en couvoir. L'objectif est d'optimiser à la fois les performances d'éclosion et la robustesse des poussins, mais aussi les performances zootechniques, la santé et le bien-être des animaux tout au long de la phase d'élevage.

### 2.2.1 Protocole d'étude

#### ▪ Origine des œufs à couvrir

Deux groupes de 9 600 OAC, provenant de 2 troupeaux de reproducteurs ROSS 308 distincts, l'un en début et l'autre en fin de ponte (DP : 28,7 semaines d'âge, FP : 59 semaines d'âge) sont utilisés. Ils sont considérés par la suite comme 2 expérimentations distinctes et nommés groupe DP et groupe FP.

#### ▪ Traitements des œufs à couvrir

Dans chaque groupe, tous les OAC sont stockés 15 jours au laboratoire de l'Anses Ploufragan, selon 3 modalités, formant 3 lots d'environ 3 200 OAC :

- Lot témoin (Lot T) : conditions habituelles de stockage rencontrées en couvoir commercial « classique », c'est-à-dire à 18°C pendant toute la durée du stockage.
- Lot dont les œufs sont stockés en chambre froide (Lot F), c'est-à-dire à 11°C pendant toute la durée du stockage.
- Lot dont les œufs sont stockés à 18°C, avec 2 montées en température (= Spides) à 34°C (à J6 et J10 post ponte) (Lot SP).

#### ▪ Incubation des œufs à couvrir

Après stockage pendant 15 jours sur des plateaux d'incubation placés sur des étagères, les OAC sont incubés pendant 21 jours : un incubateur par groupe, les 3 lots F, SP, T par groupe sont répartis de manière homogène dans l'incubateur et incubés de manière identique. Avant le début d'incubation, les œufs suivent un préchauffage différent selon les lots. Les lots F sont préchauffés plus longtemps que les lots T qui le sont plus que les lots F. Tous les lots commencent l'incubation au même moment. A 18 jours d'incubation, les œufs sont mirés afin d'éliminer les œufs clairs, et replacés en incubateurs, dans des paniers d'éclosion.

#### ▪ Mise en élevage

Les poussins issus de ces œufs sont sexés, puis mis en caisses de transport par 100. Après 24h d'attente au couvoir, ils sont placés en élevage expérimental par 170 en parquets de 9 m<sup>2</sup> : dans une salle par groupe, un côté par sexe, et les 3 lots par groupe sont répartis de manière homogène par côté et sont élevés de manière identique. Les paramètres d'élevage (alimentation, programme lumineux, chauffage, ventilation...) suivent les recommandations classiques du guide ROSS (Aviagen®).

### ▪ Mesures réalisées

Pendant le stockage des œufs, la température et l'hygrométrie ont été mesurées avec des sondes dans les différents lieux de stockage. Le pH, le poids des œufs et le stade de développement embryonnaire ont été mesurés avant et après le stockage. Le pourcentage d'œufs clairs et la mortalité embryonnaire ont été mesurés au moment du mirage. Au moment de l'éclosion, on a mesuré le pourcentage de poussins de premier choix et la qualité de poussins (score de Tona). En cours d'élevage, les mesures suivantes ont été réalisées : mortalité, poids des animaux, consommation d'aliment, pododermatites et torses, stress oxydant, immunité, rendement filet, résistance aux coccidies.

### ▪ Traitement des données

Les données issues de DP et de FP ont été traitées séparément par le logiciel R. Des analyses multivariées avec le test non paramétrique de Kruskal-Wallis ont été réalisées à partir des différentes variables relevées afin de mettre en évidence de potentielles différences entre traitements.

## 2.2.2 Résultats et discussion

### ▪ Poids des œufs avant incubation

Les œufs F ont perdu moins de poids pendant le stockage par rapport aux Témoins. Les œufs SP ont perdu plus de poids par rapport aux Témoins ( $p < 0,01$ ). Toutefois, la perte de poids ne dépasse pas 2% du poids initial de l'œuf dans tous les cas (Figure 3).

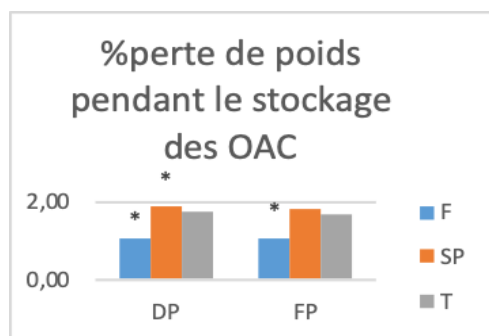


Figure 3 : Perte de poids des œufs pendant 14 jours de stockage F, SP ou T

### ▪ pH des œufs

Avant stockage : les pH sont de 8,5 et 8,4 en DP et FP respectivement. Après 14 jours de stockage, en FP et en DP : les pH sont significativement différents en F et en SP en comparaison avec les œufs T ( $p < 0,0001$ ) :  $F < T < SP$ . Le pH augmente avec le stockage. Il augmente moins si les œufs sont conservés au froid par rapport à T, et il augmente davantage en SP par rapport à T (Figure 4).

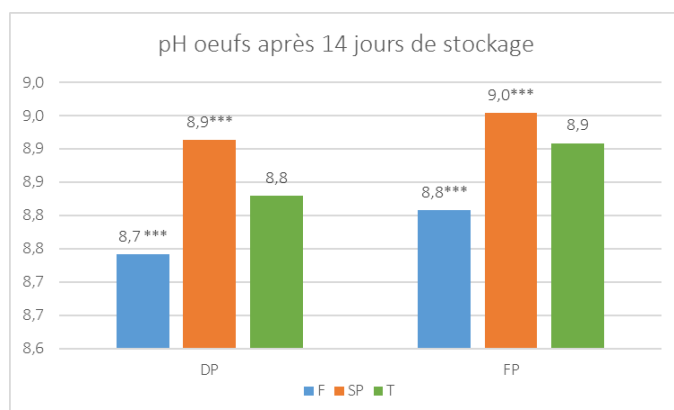


Figure 4 : pH des œufs après 14 jours de stockage

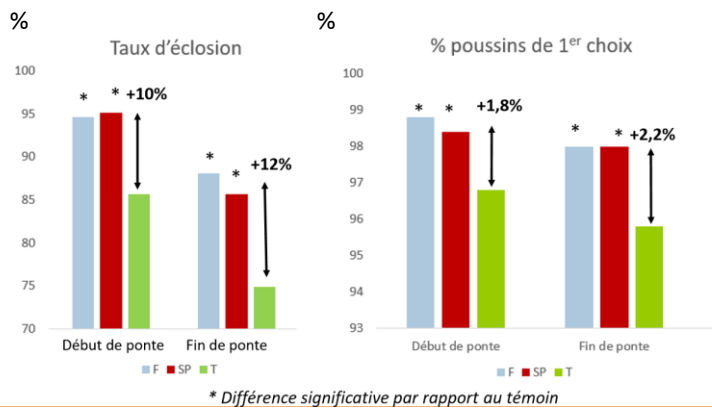
▪ **Stade de développement embryonnaire**

Le traitement SP a permis d'augmenter le stade de développement embryonnaire, sans toutefois dépasser le stade critique de 14. Le traitement F n'a pas fait évoluer le stade de développement embryonnaire par rapport au témoin T (Tableau 1).

**Tableau 1** : Moyennes des stades de développement embryonnaire selon le traitement (F, SP, T)

	<b>Avant traitement</b>	10,2	
<b>DP</b>	<b>Après traitement</b>	<b>F</b>	10
		<b>SP</b>	12,4*
		<b>T</b>	10,1
	<b>Avant traitement</b>	11,3	
<b>FP</b>	<b>Après traitement</b>	<b>F</b>	10,4
		<b>SP</b>	12,6*
		<b>T</b>	10,2

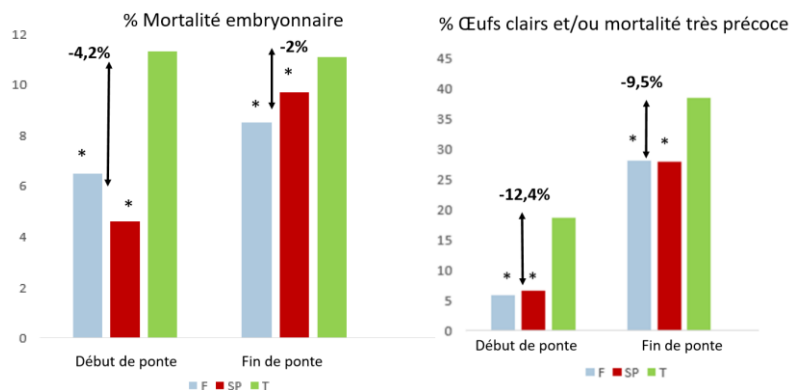
▪ **Paramètres d'éclosion**



**Figure 5 et 6** : Taux d'éclosion et pourcentage de poussins de 1<sup>er</sup> choix selon les traitements

Les traitements SP et T ont eu un effet bénéfique en diminuant la mortalité très précoce pendant le stockage et/ou les œufs clairs (pas de possibilité de distinguer à ce stade la mortalité très précoce des œufs clairs), (Figure 8), la mortalité embryonnaire en cours d'incubation (Figure 7), et donc le pourcentage d'œufs non éclos, résultant en une augmentation du taux global d'éclosion (de 69% pour le lot Témoin DP à 88% pour le lot SP et 87% pour le lot F ; de 49 % pour le lot Témoin FP à 61% pour le lot SP et 62% pour le lot F), (Figure 5).

▪ **Mortalité embryonnaire**



**Figures 7 et 8** : Taux de mortalité embryonnaire et taux d'œufs clairs et/ou de mortalité très précoce selon les traitements

Le nombre de poussins éclos tardivement est réduit pour les SP et les F par rapport à T : soit grâce à un raccourcissement de la fenêtre d'éclosion, ou à la mise en incubation plus précoce.

En DP ou FP, il y a davantage de poussins de 1<sup>er</sup> choix et moins de poussins de 2<sup>nd</sup> choix grâce aux traitements thermiques (Figure 6).

#### ▪ Sex ratio

Il y a 43,4% femelles dans le lot Témoin, en DP et 50,1% en FP.

Les préchauffages (SPIDES) augmentent le pourcentage de femelles (50,5% en DP), et le froid (F) également (49% en DP). Il semblerait donc que les femelles soient plus sensibles au stockage long, et que les traitements en cours de stockage réduisent leur mortalité liée à ce long stockage (Tableau 2).

**Tableau 2** : Sex ratio selon les traitements

	DP			FP		
	F	SP	T	F	SP	T
% Mâles sur 1 <sup>er</sup> choix	51.0*	49.5*	56.6	49.2*	50.9	49.9
% Femelles sur 1 <sup>er</sup> choix	49.0*	50.5*	43.4	50.8*	49.1	50.1

#### ▪ Résultats en élevage

Les traitements thermiques n'ont pas permis de diminuer la mortalité des animaux en élevage, quel que soit le sexe. De plus, les traitements thermiques n'ont pas d'impact significatif sur les poids des animaux en cours d'élevage, ni sur le poids des filets en fin d'élevage (brut ou rapporté au kg de poids vif). La consommation d'aliment n'est pas différente entre les lots. L'état des pattes (pododermatites, torses) n'est pas différent entre les lots (à 22 et 29 jours d'âge). Cela s'explique par le fait que la litière n'est pas dégradée différemment selon les lots.

Les lots ne diffèrent pas en DP sur les formules sanguines. En FP, les poulets T ont globalement moins de thrombocytes, monocytes, lymphocytes B et lymphocytes T.

Le challenge aux coccidioses d'un échantillon de chaque lot et sexe a rendu les animaux légèrement malades sans qu'il n'apparaisse de mortalité, comme souhaité. L'infection s'est faite avec *Eimeria acervulina* et *Eimeria tenella* ; une 1<sup>ère</sup> inoculation à 8 jours d'âge faisait intervenir l'immunité passive (présente depuis l'éclosion), la 2<sup>nde</sup> inoculation à 18 jours d'âge permettait d'évaluer la mise en place d'une immunité active. Cette seconde n'a provoqué aucune morbidité (aucune oocyste retrouvée, aucune lésion à *E.acervulina*). Globalement, il n'y a pas de différence nette entre les lots sur la morbidité, les oocystes retrouvés dans les fèces, l'aspect des matières fécales. Les lésions observées ne sont pas différentes entre lots.

## Conclusion

Concernant l'attente prolongée des poussins au couvoir avant la mise en élevage, il semblerait que l'optimisation testée ici sous forme du cumul de différentes mesures mises en œuvre, puisse permettre une amélioration des performances et du bien-être des animaux en cours de lot.

Concernant une longue durée de stockage des œufs à couvrir : les traitements thermiques pour les œufs de reproducteurs jeunes et âgés semblent compenser les effets négatifs d'un stockage prolongé des œufs sur les résultats d'éclosion, même si les différences de mortalité ou de poids ne persistent pas chez tous les animaux.

## Références bibliographiques

- Al-Aqil A., Zulkifli I., 2009. Changes in heat shock protein 70 expression and blood characteristics in transported broiler chickens as affected by housing and early age feed restriction. *Poultry Science* 88, 1358-1364.
- Almeida J.G., Vieira S.L., Gallo B.B., Conde O.R.A., Olmos A.R., 2006b. Period of incubation and posthatching holding time influence on broiler performance. *Revista Brasileira de Ciência Avícola* 8(3), 153-158.
- Alsobayel A.A., AL-Miman S.S., 2010. Effect of pre-incubation storage of hatching eggs subsequent post-hatch growth performance and carcass quality. *International Journal of Poultry Science* 9(5), 436-439.
- Bar Shira E., Sklan D., Fiedman A., 2005. Impaired immune responses in broiler hatchling hindgut following delayed access to feed. *Veterinary immunology and immunopathology* 105, 33-45.
- Bergoug H., Guinebretière M., Tong Q., Roulston N., Romanini C. E. B., Exadaktylos V., Berckmans D., Garain P., Demmers T.G.M., McGonnell I.M., Bahr C., Burel C., Etteradossi N., Michel V., 2013. Effect of transportation duration of 1-day-old chicks on postplacement production performances and pododermatitis of broilers up to slaughter age. *Poultry Science* 92 (12), 3300-3309.
- Brake J., Walsh T., et al., 1997. Egg handling and storage. *Poultry Science* 76(1), 144-151.
- Burkholder K.M., Thompson K.L., et al., 2008. Influence of stressors on normal intestinal microbiota, intestinal morphology, and susceptibility to *Salmonella* Enteritidis colonization in broilers. *Poultry Science* 87(9), 1734-1741.
- Butcher G.D., Nilipour A.H., 2009. Management of hatching eggs and broiler performance. Institute of Food and Agricultural Sciences Extension
- Christensen V., Wineland M., et al., 2002. Egg storage alters weight of supply and demand organs of broiler chicken embryos. *Poultry Science* 81, 1738-1743.
- Corless A.B., Sell J.L., 1999. The effects of delayed access to feed and water on the physical and functional development of the digestive system of young turkeys. *Poultry Science* 78, 1158-1169.
- Elibol O., Brake J., 2008. Effect of Egg Position During Three and Fourteen Days of Storage and Turning Frequency During Subsequent Incubation on Hatchability of Broiler Hatching Eggs. *Poultry Science* 87, 1237-1241.
- Elibol O., Hodgetts B., et al., 2002. The effect of storage and pre-warming periods on hatch time and hatchability. *Avian and Poultry Biology Reviews* 13, 243-244.
- Fasenko G.M., Robinson F.E., et al., 2003. Effects of pre-storage incubation on the hatchability of long-term stored broiler breeder eggs. *New developments in reproduction and incubation of broiler chickens. Volume 2: Broiler breeders production series.* Spotted Cow Press.
- Feuerecker M., Mayer W., et al., 2013. A corticoid-sensitive cytokine release assay for monitoring stress-mediated immune modulation. *Clinical and Experimental Immunology* 172(2), 290-299.
- Harizi H., Homo-Delarche F., et al., 2007. Marked genetic differences in the regulation of blood glucose under immune and restraint stress in mice reveals a wide range of corticosenstivity. *Journal of Neuroimmunology* 189(1-2), 59-68.
- Harsini S.G., Habibiyani M., et al., 2012. Effects of dietary selenium, vitamin E, and their combination on growth, serum metabolites, and antioxidant defense system in skeletal muscle of broilers under heat stress. *Biological Trace Element Research* 148(3), 322-330.
- Homberger B., Jenni-Eiermann S., et al., 2013. The impact of pre- and post-natal contexts on immunity, glucocorticoids and oxidative stress resistance in wild and domesticated grey partridges. *Functional Ecology* 27(4), 1042-1054.
- Hulet R., Gladys G., et al., 2007. Influence of egg shell embryonic incubation temperature and broiler breeder flock age on posthatch growth performance and carcass characteristics. *Poultry Science* 86(2), 408-412
- Humphrey T., 2006. Are happy chickens safer chickens? Poultry welfare and disease susceptibility. *British Poultry Science* 47(4), 379-391.

- Krams I., Vrublevska J., et al., 2013. Stress, Behaviour and Immunity in Wild-Caught Wintering Great Tits (*Parus major*). *Ethology* 119(5), 397-406.
- Lin H., Decuypere E., et al., 2006. Acute heat stress induces oxidative stress in broiler chickens. *Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology* 144(1), 11-17.
- Lin H., Zhang H.F., et al., 2005. Thermoregulation responses of broiler chickens to humidity at different ambient temperatures. I. One of age. *Poultry Science* 84, 1166-1172.
- Mahmoud K.Z., Edens F.W., 2005. Influence of organic selenium on hsp70 response of heat-stressed and enteropathogenic *Escherichia coli*-challenged broiler chickens (*Gallus gallus*). *Comparative Biochemistry and Physiology - C Toxicology and Pharmacology* 141(1), 69-75.
- Meijerhof R., 1992. Pre-incubation holding of hatching eggs. *World's Poultry Science Journal* 48, 57-68.
- Onagbesan O., Bruggeman V., et al., 2007. Gas exchange during storage and incubation: effects on embryogenesis, hatchability, chick quality and post-hatch growth. *World's Poultry Science Journal* 63(4), 557-573.
- Pamok S., Aengwanich W., et al., 2009. Adaptation to oxidative stress and impact of chronic oxidative stress on immunity in heat-stressed broilers. *Journal of Thermal Biology* 34(7), 353-357. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtherbio.2009.06.003>
- Peebles E., Doyle S., et al., 1999. Effects of breeder age and dietary fat on subsequent broiler performance. 1. Growth, mortality, and feed conversion. *Poultry Science* 78(4), 505-511.
- Pincemail J., Meurisse M., et al., 1999. L'évaluation du stress oxydatif d'un individu : une réalité pour le médecin. *Vaisseaux, Cœur, Poumon* 4, 148-154.
- Pinchasov Y., Noy Y., 1993. Comparison of post-hatch holding time and subsequent early performance of broiler chicks and turkey poults. *British Poultry Science* 34(1), 111-120.
- Potturi P.V.L., Patterson J.A., et al., 2005. Effects of delayed placement on intestinal characteristics in turkey poults. *Poultry Science* 84, 816-824.
- Reijrink I., Berghmans D., et al., 2010. Influence of egg storage time and preincubation warming profile on embryonic development, hatchability, and chick quality. *Poultry Science* 89(6), 1225-1238.
- Reijrink I., 2009. How to survive prolonged egg storage? HtchTech Incubation Technology. Technical Information.
- Ruiz J., Lunam C.A., 2002. Effect of pre-incubation storage conditions on hatchability, chick weight at hatch and hatching time in broiler breeders. *British Poultry Science* 43(3), 374-383.
- Sandhu M.A., Raza M., et al., 2013. Managing immunocompetence of broiler chicken through vitamin E supplementation at low ambient temperature. *International Journal of Agriculture and Biology* 15(6), 1051-1058.
- Schmidt G.S., Figueiredo E.A.P., et al., 2009. Effect of storage period and egg weight on embryo development and incubation results. *Revista Brasileira de Ciencia Avicola* 11, 1-5
- Silva F.H.A., Faria D.E., et al., 2008. Influence of egg pre-storage heating period and storage length on incubation results. *Brazilian Journal of Poultry Science* 10, 17-22.
- Simitzis P.E., Kalogeraki E., et al., 2012. Impact of stocking density on broiler growth performance, meat characteristics, behavioural components and indicators of physiological and oxidative stress. *British Poultry Science* 53(6), 721-730.
- Simsek U.G., Dalkilic B., et al., 2009. The Influences of Different Stocking Densities on Some Welfare Indicators, Lipid Peroxidation (MDA) and Antioxidant Enzyme Activities (GSH, GSH-Px, CAT) in Broiler Chickens. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 8, 1568-1572.
- Stolte E.H., Nabuurs S.B., et al., 2008. Stress and innate immunity in carp: Corticosteroid receptors and pro-inflammatory cytokines. *Molecular Immunology* 46(1), 70-79.
- Tanure C., Cafe M.B., et al., 2009. Effects of ages of light breeder hens and storage period of hatchable eggs on the incubation efficiency. *Arquivo Brasileiro De Medicina Veterinaria E Zootecnia* 61, 1391-1396.



Tona K., Bamelis F., et al., 2001. Relationship between broiler breeder's age and egg weight loss and embryonic mortality during incubation in large-scale conditions. *Journal of Applied Poultry Research* 10(3), 221-227.

Tona K., Bamelis F., et al., 2003. Effects of egg storage time on spread of hatch, chick quality, and chick juvenile growth. *Poultry Science* 82, 736-741.

Tona K., Onagbesan O.M. et al., 2004. Comparison of embryo physiological parameters during incubation, chick quality, and growth performance of three lines of broiler breeders differing in genetic composition and growth rate. *Poultry Science* 83(3), 507-513.

Ulmer-Franco A.M., Fasenko G.M., et al., 2010. Hatching egg characteristics: chick quality, and broiler performance at 2 breeder flock ages and from 3 egg weights. *Poultry science* 89(12), 2735-2742

Willemsen H., Debonne M., et al., 2010. Delay in feed access and spread of hatch: importance of early nutrition. *World's Poultry Science Journal* 66, 177-188.

Wilson H.R., 1991. Interrelationships of egg size, chick size, posthatching growth and hatchability. *World's Poultry Science Journal* 47(1), 5-20

Wu B., Cui H., et al., 2013. Dietary nickel chloride induces oxidative intestinal damage in broilers. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 10(6), 2109-2119.

Yassin H., Velthuis A.G.J., et al., 2008. Field Study on Broiler Eggs Hatchability. *Poultry Science* 87, 2408-2417.

Zhang Z.W., Wang, Q.H., et al., 2012. Effects of oxidative stress on immunosuppression induced by selenium deficiency in chickens. *Biological Trace Element Research* 149(3), 352-361.

Zhao F.Q., Zhang Z.W., et al., 2014. Cold stress induces antioxidants and Hsps in chicken immune organs. *Cell Stress and Chaperones* 19, 635-648.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son URL ou DOI).