

EVALUATION MULTICRITERE DE L'UTILISATION DE LED ROUGES ET BLANCHES VS HALOGENES EN ELEVAGE ALTERNATIF DE POULES PONDEUSES

Chiron Geoffrey¹, Warin Laura²

¹ITAVI-23 rue Jean Baldassini -69364 LYON cedex 07,

²ITAVI - Centre INRA Val de Loire, 37380 NOUZILLY
chiron@itavi.asso.fr

RÉSUMÉ

Les systèmes d'éclairage énergivores sont progressivement remplacés par des systèmes basse consommation en vue de respecter la directive 2005/32/CE. Sur les différents systèmes existants, les ampoules LED sont celles les plus utilisées en élevage alternatif de poules pondeuses. Des incertitudes demeurent cependant sur l'impact des LED sur la productivité des élevages équipés, le comportement des animaux ou le retour sur investissement. L'objectif de cette étude est d'évaluer les impacts de ces LED pour l'élevage de poules pondeuses plein-air en mettant en place une évaluation multicritère (aspects économiques, environnementaux et sociaux). Pour cela, une expérimentation a été menée dans un élevage commercial qui a équipé un bâtiment « test » de 560 m² avec des LED rouges et blanches (3,5W et 9W, 2 700K), le second bâtiment, identique, ayant servi de témoin (ampoules halogènes de 42W, 2 800 K). Différents indicateurs ont alors été relevés pendant la durée d'élevage pour estimer la faisabilité économique d'un changement de système, la qualité de l'éclairage et son impact sur les performances, les économies d'énergie générées, l'agressivité des poules et la pénibilité du travail de l'éleveur. Les résultats montrent une moins bonne homogénéité d'éclairage pour le bâtiment LED, l'installation effectuée n'étant pas optimale pour un éclairage de qualité. Au niveau économique, malgré le fait que le coût d'investissement soit plus élevé pour les LED, les frais de gestion annuels (consommation électrique et durée de vie des ampoules) apportent des économies non négligeables. Les performances techniques ont été peu impactées, hormis un plus grand déséquilibre spatial de la ponte pour le bâtiment LED, qui peut être dû à une moins bonne répartition de la lumière. Au niveau environnemental, la consommation électrique de l'éclairage était 5 fois moins importante pour le système LED. Enfin, aucune différence n'a été constatée entre les bâtiments sur l'agressivité des poules ou sur la pénibilité du travail de l'éleveur.

ABSTRACT

Multi-criteria evaluation of red and white LED bulbs VS halogens in alternative laying hen houses

To respect the 2005/32/CE directive, high-energy consuming lighting systems are progressively being replaced by low energy consuming ones. Amongst the different existing systems, LED bulbs are the most commonly used in hen houses. However, doubts remain on the impact of LED bulbs on productivity of equipped farms, animal behavior or return on investment. The aim of this study is to evaluate the impacts of LED bulbs on free range laying houses by setting up a multicriteria evaluation (economic, environmental and social aspects). An experimental trial was conducted in an organic laying hen house with one 560m² building equipped with red and white LEDs (3,5W and 9W, 2 700K), the second identical building equipped with halogen bulbs (42W, 2 800 K) being the control. Different indicators were measured to estimate the economic feasibility of changing the lighting system, the quality of the lighting and its impact on technical-economic performances, energy savings, environmental impact, hen welfare and working conditions. Results indicated that lighting homogeneity was lower in the LED building due to the red bulbs or a less suitable installation in the building. Economically speaking, LED systems, while being a more expensive investment, allowed considerable annual energy savings. Technical performances were not impacted except a spatial imbalance of the laying in the LED building, which may be due to the non-optimal lighting system installation. On the environmental front, the electric consumption was 5 times lower in the LED building. Finally, the social parameters (hen nervousness and working conditions) were not deteriorated.

INTRODUCTION

Le respect de la directive 2005/32/CE prévoit, entre autres, la substitution des systèmes d'éclairage énergivores par des dispositifs «basse consommation». Ainsi, respectivement depuis fin 2012 et fin 2018, plus aucune ampoule à incandescence et halogène n'est commercialisée en France. Les ampoules basse consommation permettent 75 à 85% économies d'énergie et ont une durée de vie importante (Ademe 2018). Cette réglementation représente une opportunité pour la filière avicole d'améliorer ses outils en vue d'accroître son efficacité énergétique, son autonomie énergétique et ses coûts de production. Sur les différents systèmes existants, les ampoules LED sont celles les plus utilisées et se positionnent en tant que système d'avenir pour les bâtiments d'élevage (Chiron et al. 2018). Des incertitudes demeurent cependant sur l'impact des LED sur la productivité des élevages équipés, le comportement des animaux ou le retour sur investissement de l'installation de ces systèmes. L'objectif de cette étude est d'évaluer ces impacts des LED pour l'élevage de poules pondeuses plein-air en mettant en place une évaluation multicritère.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Modèle expérimental

L'expérimentation s'est déroulée de mars 2016 à mars 2017 (durée d'un lot de pondeuses d'un an) dans deux bâtiments de 560 m² équipés de deux rampes d'éclairage (interface gisoir/caillebotis et milieu du caillebotis) avec 13 ampoules par rampe. Le bâtiment témoin est équipé d'un système classique d'éclairage (in'light halogen, 42 Watt et 2800 K) et le bâtiment test équipé de LED rouges (3,5 Watt) et blanches (9 Watt et 2700 K). Afin d'assurer un éclairage homogène, les ampoules rouges et blanches sont alternées et la couleur des ampoules est inversée d'une rampe à l'autre. Deux variateurs permettent de piloter indépendamment les ampoules rouges des ampoules blanches. Les poules étaient de souche Hyline rural à raison de 2 999 poules par bâtiment.

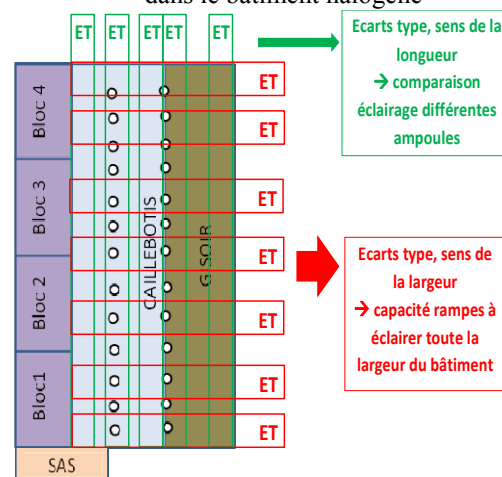
1.2. Homogénéité de l'éclairage

Pour évaluer la qualité de l'éclairage, les programmes lumineux ont été relevés mensuellement. Afin d'éviter les perturbations par les animaux et par les ouvertures du bâtiment (volets et trappes), des mesures de lumière ont été réalisées avec un luxmètre, à hauteur de poule lors du vide sanitaire avec les volets et trappes fermés et le variateur réglé à 100% (une première campagne de jour à 9h et une seconde de nuit à 5h). 70 mesures ont été réalisées dans le bâtiment témoin et 105 dans le bâtiment test par campagne. Pour cela, le bâtiment a été quadrillé selon deux axes : dans le sens de la largeur en sept zones

(cinq centrales et deux extrémités) et dans le sens de la longueur en cinq zones (à proximité des trappes, sur le gisoir à proximité du caillebotis, à l'interface gisoir/caillebotis, au milieu du caillebotis sous la rampe et au niveau des nids) (Figure 1). Pour chaque intersection des deux axes, 2 mesures ont été réalisées pour le bâtiment témoin (à l'aplomb ou au niveau d'une ampoule blanche et entre deux ampoules) et 3 mesures pour le bâtiment test (à l'aplomb ou au niveau d'une ampoule blanche, à l'aplomb ou au niveau d'une ampoule rouge et entre deux ampoules).

Ainsi, ont été réalisées : respectivement 10 et 15 mesures par zones pour le bâtiment témoin et le bâtiment test dans le sens de la longueur et 14 mesures pour le bâtiment témoin, 21 mesures pour le bâtiment test par zone dans le sens de la largeur.

Figure 1 : Evaluation de l'homogénéité de l'éclairage dans le bâtiment halogène



Afin d'étudier l'**homogénéité** de l'éclairage, pour chaque zone, la **valeur retenue est l'écart type** entre l'ensemble des valeurs mesurées sur la zone en question (n=5 dans le sens de la longueur et n=7 dans le sens de la largeur, avec deux répétitions). Dans le sens de la largeur, on interprète l'écart type comme la capacité des rampes lumineuses à éclairer l'ensemble de la largeur du bâtiment sans zone d'ombre. Plus les écarts types sont grands, moins la luminosité est homogène, ce qui signifie que la lumière est concentrée sous les rampes et qu'elle est par conséquent moins diffusée vers les trappes. Dans le sens de la longueur, l'écart type permet de comparer l'éclairage entre les différentes ampoules. Plus les écarts types sont grands, plus l'éclairage issu de chaque ampoule est différent.

Afin de faire une analyse multicritère du système d'éclairage, les impacts sur les paramètres économiques (coût d'installation et d'entretien du système, performances), environnementaux (consommation électrique) et sociaux (bien-être animal et pénibilité du travail de l'éleveur) ont été évalués.

1.3 Impact sur les paramètres économiques

Pour évaluer la faisabilité économique d'un changement de système, le coût d'installation d'un système d'éclairage réel pour les LED a été calculé et simulé pour les halogènes. La consommation électrique a été relevée en fin de bande grâce aux compteurs et les frais d'entretien ont été calculés en relevant le nombre d'ampoules grillées sur une bande. Pour le calcul du retour sur investissement, nous considérons qu'il s'agit d'un cas où un éleveur possède un système halogène et souhaite rénover son bâtiment pour un installer un système LED à la place. La formule de calcul du retour sur investissement correspond donc au prix d'installation du système LED au regard des économies réalisées par la suite (consommation électrique et entretien des ampoules) en comparaison à un système halogène :

$$\text{Prix instal. LED} / (\text{prix conso. élect. Hal} - \text{prix conso. élec. LED} + \text{prix entretien ampoules Hal} - \text{prix entretien ampoules LED})$$

Etant donné que les résultats économiques de l'éleveur ne permettent pas de distinguer les bâtiments test et témoin, pour évaluer le maintien des performances technico-économiques, il a été retenu comme valeurs le taux de ponte, le taux d'œufs déclassés (œufs pondus hors nid et autres) et le taux de mortalité. L'homogénéité de la répartition de la ponte a été évaluée en notant mensuellement à un instant précis la localisation de la ponte des œufs (horizontale : blocs de nids au centre ou aux extrémités ; verticale : blocs de nids du haut ou du bas).

1.3. Impact sur les paramètres environnementaux

Pour évaluer les économies d'énergie, les compteurs électriques de l'éclairage ont été relevés de façon hebdomadaire pour les deux bâtiments. De plus, les résultats de Vandevorde et al. (2016), permettant d'évaluer l'impact environnemental de différents systèmes d'éclairage à chaque étape de leur cycle (ACV), ont été utilisés pour enrichir nos conclusions. Cet article compare des lampes à incandescence de 60 watt à des LED de 12,5 watt et des lampes fluorescentes compactes de 15 watt via l'étude de 17 indicateurs appartenant à différentes catégories (ressources utilisées, déchets, effets sur l'air, l'eau et le sol) de manière à reproduire le plus fidèlement la complexité de l'impact environnemental global des systèmes étudiés. Pour calculer cet impact environnemental global, la moyenne de l'impact environnemental engendré par ces 17 indicateurs a été calculée.

1.4. Impact sur les paramètres sociaux

L'agressivité des volailles (relevés mensuels) a été évaluée par la notation de l'emplumement de 30 poules sur trois zones (cou, dos et ventre), selon un

score de 0=uniquement plumes visibles, 1=plumes et peau visibles ou 2=uniquement peau visible donnant ainsi un score sur 6 pour une poule. Les occurrences de comportements agressifs (picage agressif ou bagarre) ont également été notées mensuellement sur quatre zones de 1m² pendant 2 minutes d'observation. Pour évaluer la pénibilité de travail de l'éleveur vis-à-vis de la gestion de la lumière, il a été demandé à l'éleveur de noter de 1 (non pénible) à 5 (pénible) cinq indicateurs selon son ressenti au terme de l'essai : prise en main du système, accompagnement technique, visibilité, facilité de réglage du système et facilité de nettoyage.

1.5. Traitement des données

Des statistiques descriptives ont été réalisées pour la quasi-totalité des paramètres. Concernant l'homogénéité de l'éclairage, deux analyses de variance (ANOVA) ont été conduites sur les écart-types : l'une en prenant en compte les écart-types dans le sens de la longueur (n=5) et l'autre prenant en compte les écart-types dans le sens de la largeur (n=7). Les facteurs testés sont les suivants : période (jour/nuit) et bâtiment (LED/halogène). Les résidus suivent une loi normale, sont indépendants et de même variance, ce qui respecte les hypothèses d'utilisation de l'ANOVA. L'interaction Période Jour/Nuit*Bâtiment a été testée pour les deux modèles puis supprimée car elle n'apparaissait pas significative. Les analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel XLstat. Le seuil de significativité était fixé à 5% (p-value).

Pour identifier les bénéfices et inconvénients du système LED par rapport au système halogène, les résultats du bâtiment test ont été exprimés en fonction des valeurs obtenues avec le bâtiment témoin. Pour cela, le bâtiment halogène est considéré comme référence et son radar a été tracé avec des valeurs égales à 1 pour chaque critère. Le bâtiment LED est représenté par rapport à son écart en valeur relative avec le bâtiment halogène pour chaque critère. Pour cette représentation, deux critères pour chacun des piliers économique (taux de ponte d'œufs calibrés et économie de coût du système d'éclairage), environnemental (économie d'électricité et réduction de l'impact environnemental) et social (non agressivité des volailles et confort au travail) ont été retenus. Les écarts des LED vers l'extérieur du radar par rapport aux halogènes mettent en avant les bénéfices alors que les écarts vers l'intérieur montrent les inconvénients.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Homogénéité de l'éclairage

Lors du vide sanitaire, l'intensité lumineuse mesurée avec le variateur réglé à 100% était de 19,9 +/- 2,9 lux pour les halogènes et 19,2 +/- 3,9 lux pour les LED de jour et 10,1 +/- 1,9 lux pour les halogènes et 9,9 +/- 2,6 lux pour les LED de nuit.

Au niveau de l'homogénéité de l'éclairage :

- Dans le sens de la longueur, la moyenne des écarts types sur 5 zones était de 2,8 lux pour les halogènes et 2,5 lux pour les LED. Il n'y a pas de différence significative entre les écarts types des éclairages selon les bâtiments ($n=5$ avec 2 répétitions et p value = 0,438). Ainsi, la variabilité d'éclairage des ampoules est similaire entre les LED et les halogènes ;

- Dans le sens de la largeur, la moyenne des écarts types sur les 7 zones était de 2,3 lux pour les halogènes et 3,3 lux pour les LED. Les écarts types entre LED et halogènes sont significativement différents (moyenne des écarts type plus élevée de 1 lux avec $n=7$; 2 répétitions ; p -value < 0,0001). Ainsi, l'éclairage de la LED se diffuse plus difficilement dans le bâtiment et peut engendrer des zones d'ombre vers les nids et les trappes, notamment du fait de la présence des ampoules rouges qui sont également de plus faible puissance. L'installation effectuée n'était donc pas optimale pour un éclairage de qualité et nécessiterait des adaptations (remplacement de certaines ampoules rouges par des blanches, ajout éventuel d'une troisième rampe d'éclairage).

Lors de l'expérimentation, les programmes lumineux adoptés différaient selon la source lumineuse concernée. Lors des six premiers mois d'élevage, l'éleveur a adopté un programme lumineux similaire dans les deux bâtiments d'élevage. Cependant, suite à une baisse du taux de ponte, il a augmenté l'intensité lumineuse côté LED et cela n'a pas augmenté la nervosité des volailles d'après l'éleveur. Ainsi, les lampes rouges étaient systématiquement allumées à 100% jusqu'à la fin de la bande et les lampes blanches étaient allumées à une intensité supérieure par rapport aux halogènes. On ne peut cependant pas conclure si cette différence de nervosité est due au système LED en lui-même, ou à la disposition de l'éclairage.

2.2. Impact sur les paramètres économiques

Concernant les performances technico-économiques, aucune différence n'a pu être mise en avant sur le taux de ponte hebdomadaire (moyenne de 90,78% pour le bâtiment témoin et 90,68% pour le bâtiment test), sur le taux d'œufs déclassés ou sur la mortalité hebdomadaire (0,03% en moyenne pour les deux bâtiments). Concernant la répartition horizontale, les poules pondaient plus dans les blocs des extrémités tout le long de la bande, quel que soit le bâtiment concerné (58% des œufs pondus aux extrémités pour le bâtiment témoin et 60% des œufs pour le bâtiment test). Concernant la répartition verticale de la ponte, les poules pondaient plus dans les nids du bas durant les quatre premiers mois mais uniquement pour le bâtiment test (60% des œufs pondus en bas pour le bâtiment test contre 53% des œufs pour le bâtiment témoin). Ceci suppose donc une plus grande compétition au nid dans le bâtiment LED qui peut être due à l'attrait des poules pour les zones plus sombres, plus marquée dans les nids du bas.

Concernant l'investissement, celui d'un système LED s'est élevé à 6 115 € HT main d'œuvre comprise. Cette installation comprend un ordinateur de gestion, les ampoules rouges et blanches, deux variateurs (un pour chaque couleur d'ampoule), les lanternes et autres dépenses mineures. En faisant l'hypothèse que l'installation d'un système halogène comprendrait les mêmes dépenses à l'exception des 26 ampoules (prix pour une ampoule halogène estimé à 5€, vs 37 € pour les LED et même nombre d'ampoules dans les deux bâtiments) et du nombre de variateurs (1 seul au lieu de deux), le prix d'installation d'un système halogène reviendrait à 5075 € soit 1040 € moins cher qu'un système LED. Avec une aide à l'investissement de 40%, l'installation d'un système LED s'est élevée à 3669 € contre une estimation pour un système halogène à 3045 €, soit un différentiel de 624 €.

Les compteurs électriques affichaient respectivement 4130 kWh et 820 kWh en fin de lot dans le bâtiment témoin et le bâtiment test. Le coût de fonctionnement du système (consommation électrique en kilowattheure pour un prix considéré de 0,16 €/kWh, <http://www.jechange.fr>) est revenu à 131 € pour le bâtiment LED contre 661 € pour le bâtiment avec les halogènes soit 5 fois moins.

L'Ademe (2018) nous indique une durée de vie de 2000 heures (environ 1 an) pour les halogènes et de 40 000 heures pour des LED (environ 20 ans). Ainsi, le coût d'entretien des systèmes (changement des ampoules grillées) est revenu à 48 €/an pour le système LED contre 130 €/an pour les halogènes (l'éleveur remplace toutes les ampoules halogènes au cours d'une bande). Ainsi, le retour sur investissement est alors de 10 ans sans aide et 6 ans avec une aide à l'investissement de 40%.

2.3. Impact sur les paramètres environnementaux

Comme vu précédemment, le différentiel de consommation électrique en fin de lot était de 3310 kWh entre les deux bâtiments ce qui représente un rapport consommation électrique LED/Halogène de 1/5.

De plus, l'étude de Vandevoorde et al. (2016) conclut que les LED génèrent 34% de l'impact environnemental global généré par des lampes à incandescence, principalement du fait des durées de vie plus longues.

2.4. Impact sur les paramètres sociaux

Concernant le bien-être animal, la nervosité des poules (évaluée via l'emplumement et l'observation des comportements agressifs) n'était pas différente entre les deux bâtiments d'élevage. En effet, 1 seul picage agressif par bâtiment sur l'ensemble des observations a été constaté et aucune bagarre n'a été observée. Enfin, l'emplumement n'a été que très peu dégradé quel que soit le bâtiment (score de 0,6/6 pour le bâtiment témoin et 0,5/6 pour le bâtiment test en fin de lot).

Concernant l'évaluation de la pénibilité du travail, le ressenti de l'éleveur indique que le système LED a l'avantage du fait de la longue durée de vie des ampoules qui ne doivent pas être changées annuellement. Par contre, le système halogène, en étant plus précis, permet de faciliter les réglages à basse intensité lumineuse pour l'éleveur.

2.5. Représentation en radar

La représentation en radar des bénéfices et inconvénients du système LED par rapport au système halogène indique que :

- Les différences sur le pilier social sont négligeables ;
- Concernant le pilier économique, le coût du système d'éclairage sur 20 ans est 2,3 fois moins important pour le système LED ;
- Pour le pilier environnemental, les économies réalisées sont 5 fois plus importantes et l'impact environnemental est 3,6 fois moins important pour les LED par rapport aux halogènes.

réduisant l'impact environnemental global du système d'éclairage par la longue durée de vie des LED. De plus, l'installation de LED a permis d'améliorer légèrement le pilier économique. En effet, les économies réalisées permettent de compenser le surcoût d'investissement du système LED. Concernant les performances technico-économiques, le moins bon éclairage du bâtiment a pour conséquence une compétition au nid plus élevée dans certaines zones (concentration de la ponte). On ne peut cependant pas conclure si ces changements sont dus au système LED en lui-même, à la présence d'ampoules rouges ou à la disposition de l'éclairage qui n'était pas optimal. De plus, les économies d'énergies auraient-elles été si importantes si le système avait été optimisé ? Enfin, l'installation de LED n'a pas détérioré le pilier social puisque la nervosité des animaux n'était pas plus importante dans un bâtiment ou un autre et qu'il y a un équilibre entre les avantages et les inconvénients du système LED par rapport à la pénibilité du travail.

CONCLUSION

Au cours de l'expérimentation, l'installation de LED a eu pour conséquence d'améliorer grandement le pilier environnemental, à la fois en diminuant la consommation électrique du bâtiment d'élevage et en

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'éleveur ayant participé à cette étude. Ce projet a été financé par la région Auvergne-Rhône Alpes dans le cadre du PEP avicole et par l'ADEME dans le cadre du POBE.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Chiron G., Warin L., 2018 TEMA n°46, pp 37-48

https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/eclairage_performant.pdf

<https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/guide-pratique-choisir-son-eclairage.pdf>

<http://www.lumitronix.fr/Interdiction-des-ampoules-a-incandescence-dans-l-UE/>

<https://www.service-public.fr/particuliers/actualites/A12860>

<http://www.jechange.fr>

http://conseils-thermiques.org/contenu/comparatif_ampoule_incandescence_fluocompact_halogene_led.php

Parlement Européen, Directive 2005/32/CE du Parlement européen et du Conseil du 6 juillet 2005

Vandevorde A., Zissis G., Mequignon M., 2016. JNRDM. Toulouse

Figure 2 : Représentation des bénéfices et inconvénients du système LED par rapport au système halogène (NB : tout écart du système LED vers l'extérieur par rapport au référentiel halogène est une amélioration du critère, tout écart vers l'intérieur est une dégradation du critère.

