



Les nouveaux types d'éclairage en aviculture : *contexte et mise au point d'un protocole de mesure de l'éclairement moyen d'un bâtiment avicole*

RÉSUMÉ

La transposition récente en droit français de la directive européenne (2007/43/CE) concernant le bien-être des poulets de chair, impose l'obtention d'un éclairement minimal de 20 lux sur 80% de la surface du bâtiment. Par ailleurs, le respect de la directive (2005/32/CE) prévoit la substitution des appareillages coûteux en énergie par des dispositifs d'éclairage dits « de basse consommation ».

Pour répondre à ces nouvelles exigences, le projet VOLUME (VOLailles LUMière) a pour but d'étudier ces nouveaux types d'éclairage. Le travail présenté ici, basé sur une étude de cas, vise à mettre au point un protocole de mesures de l'éclairement moyen d'un bâtiment avicole dans le cas des tubes fluorescents.

Un bâtiment récent, semi clair, équipé de tubes fluorescents haute fréquence a été étudié. Les mesures d'éclairement ont été réalisées à l'aide d'un luxmètre VOLTcraft, avant l'arrivée des animaux, les entrées de lumière naturelle obscurcies, le matériel d'alimentation des animaux relevé et les lampes réglées à leur éclairement maximal. Plus de 300 mesures ont été effectuées afin d'estimer l'éclairement moyen (44 lux). Elles ont permis d'établir une équation de prédiction permettant d'estimer l'éclairement moyen du bâtiment à partir d'une seule mesure prise à l'aplomb d'une source lumineuse. Dans un souci de généralisation du protocole, cette équation n'étant valable que pour ce bâtiment, des estimations ont été réalisées à partir de 5 points de mesures réalisés autour de 4 sources prises au hasard dans le bâtiment. Par cette méthode, des résultats comparables ont été obtenus. Ainsi ce travail permet de proposer un premier protocole qui sera à valider dans d'autres bâtiments et avec différentes sources lumineuses.

Amandine MIKA¹, Gérard AMAND², Amélie FAUVEL², Laure BIGNON², Isabelle BOUVAREL¹

¹ ITAVI – Unité de Recherches Avicoles – 37380 NOUZILLY

² ITAVI – Zoopôle Beaucemaine – 41, rue Beaucemaine – 22440 PLOUFRAGAN

Contact : mika.itavi@tours.inra.fr

1. Contexte

Dans un contexte de plus en plus concurrentiel, la filière avicole française se doit d'adopter les meilleures solutions techniques et économiques pour relever les défis qui se posent à elle. Dans le même temps, elle doit s'appliquer à réduire son impact environnemental pour optimiser son empreinte carbone et montrer à la société qu'elle est en mesure de produire avec une incidence limitée sur l'environnement.

La transposition récente en droit français et la mise en application de la directive européenne concernant le bien-être des poulets de chair imposent l'obtention d'une intensité lumineuse minimale de 20 lux sur 80 % de la surface du bâtiment, avec une durée de 18 h par jour. Parallèlement, le règlement européen N°245/2009 du 18 mars 2009, mettant en œuvre la Directive Européenne 2005/32/CE du 6 juillet 2005 établissant un cadre pour la fixation d'exigences en matière d'écoconception, impose le retrait progressif de la commercialisation de plusieurs des sources lumineuses utilisées jusqu'alors en bâtiments avicoles. Dans le même temps, le renchérissement du coût de l'énergie et les préoccupations environnementales amènent les aviculteurs à se tourner vers des dispositifs d'éclairage "basse consommation" plus économes, plus respectueux de l'environnement et pour lesquels les références font actuellement défaut. La réduction des consommations d'énergie et la création envisagée de bâtiments d'élevage à basse consommation, voire à énergie positive sont des pistes auxquelles l'utilisation de dispositifs d'éclairage basse consommation pourra contribuer (en complément ou non de lumière naturelle).

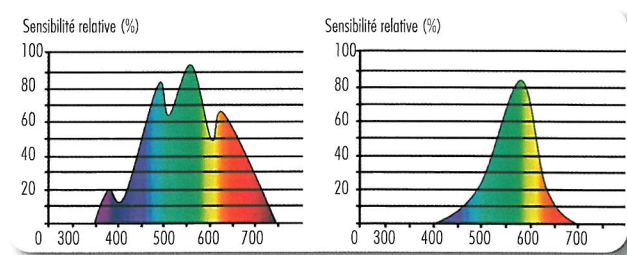
Pour répondre à ces nouvelles exigences, le projet VOLUME (VOLailles LUMière) a pour but d'étudier ces nouveaux types d'éclairage. Le travail présenté ici, basé sur une étude de cas, vise à mettre au point un protocole de mesures de l'éclairement moyen d'un bâtiment avicole dans le cas des tubes fluorescents

2. Quelques rappels sur l'éclairage en bâtiments avicole

L'éclairage des bâtiments avicoles s'avère être un paramètre fondamental de la

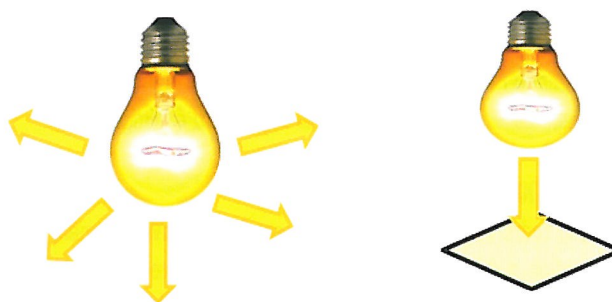
production avicole. En effet, les volailles ont une vision très développée au point d'être leur sens prédominant (Kristensen 2008). La perception de l'environnement par la volaille influence ses déplacements, sa prise alimentaire et par conséquent sa production en général. De plus, la vision chez la volaille est très différente de la vision humaine. Les volailles possèdent deux voies de réception de la lumière, les yeux composés de photorécepteurs rétiniens et le cerveau possédant des cellules photosensitives (Olanrewaju et al. 2006). Leurs photorécepteurs se composent d'un type de doubles cônes et de 4 types de simples cônes, ce qui leur confère une vision tétra chromatique contrairement à l'homme qui possède une vision trichromatique (Barber et al. 2006). Ainsi, les volailles présentent 4 pics d'absorption de la lumière qui diffèrent en fonction des espèces. Pour les canards, les pics d'absorption se situent à 415, 460, 540 et 600 nm et pour les dindes, ils se situent à 420, 470, 540 et 580 nm (Barber et al. 2006), tandis que l'homme ne possède que 3 pics d'absorption correspondant aux longueurs d'onde 420, 530 et 560 nm (Boissinot et al. 1998). La largeur du spectre lumineux visible chez la volaille et chez l'homme sont quasiment les mêmes de 360 nm à 694 nm pour les volailles et de 400 nm à 700 nm pour l'homme (Barber et al. 2006). Les volailles sont également plus sensibles que l'homme aux longueurs d'ondes situées aux extrémités de leur spectre lumineux (rouge/orange et Bleu/violet) (figure 1). Elles peuvent également percevoir les oscillations de la lumière à des plus grandes fréquences que l'homme. En effet, elles sont capables de détecter les oscillations d'une lumière bleue à 100 Hz mais en revanche sont incapables de les distinguer pour une lumière blanche à 100 Hz sous un éclairage de 100 lux (Prescott et al. 2003). Cette vision différente a souvent été négligée par ignorance.

■ figure 1 – Spectres visuels chez l'homme et chez la volaille.



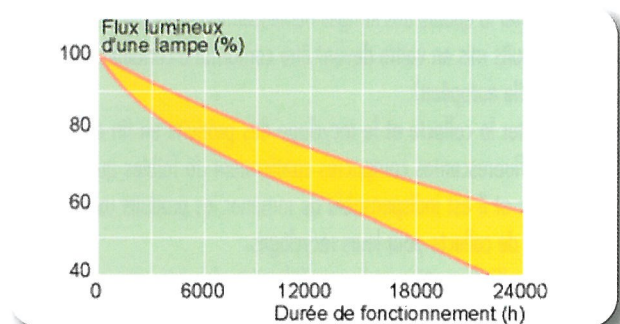
Pendant de nombreuses années, les volailles ont été élevées sous lumière continue ou quasiment continue (23 h de jour pour 1 h de nuit) à faible intensité lumineuse pour inhiber les comportements agonistiques et maximiser la production (Downs et al. 2006), (Blatchford et al. 2009). Cependant, il a été montré qu'élever des volailles en permanence sous faible intensité lumineuse provoque des anomalies importantes des yeux (Blatchford et al. 2009). Ainsi, dans le cadre de la directive européenne 2007/43/CE du 28 Juin 2007 sur la protection des poulets de chair, il est imposé un éclairage de 20 lux minimum sur 80% de la surface d'élevage. L'éclairage (exprimé en lux) est défini par la quantité de flux lumineux reçue par unité de surface. Le flux lumineux correspond à la puissance totale de l'énergie radiante fournie par une source lumineuse, il s'exprime en lumen (Cahn 2011), (figures 2 et 3)).

■ fig. 2 – le flux lumineux (exprimé en lumen) ■ fig. 3 – l'éclairage (exprimé en lux)



La puissance d'une source lumineuse varie principalement en fonction de sa longévité. La longévité d'une source lumineuse s'exprime en nombre d'heures moyen pour que 50 % des lampes soient hors d'usage. Le vieillissement économique des sources, correspond à une baisse du flux lumineux en fonction du temps, et a pour origine une altération des propriétés du verre, du gaz et des luminophores (Buso 2004), (figure 4).

■ fig. 4 – Représentation du flux lumineux en fonction de la durée de fonctionnement exemple de différents lots de lampes à iodure métallique (Kahn 2011)



Ainsi, à l'échelle d'un bâtiment avicole, toutes les sources lumineuses ne sont pas forcément homogènes quant au flux lumineux, ce qui engendre une différence du niveau d'éclairage entre elles. De plus, l'éclairage n'est pas homogène sur la totalité de la surface éclairée, en raison notamment de la distance de la zones éclairée à la source lumineuse. Le niveau d'éclairage répond à la loi de l'inverse du carré de la distance (Bouguer 1760). Ainsi, l'éclairage diminue inversement à la distance au carré.

Actuellement, les éleveurs n'ont aucune information sur le niveau d'éclairage de leur bâtiment, et il n'existe pas de méthode standardisée pour contrôler les dispositifs lumineux par rapport au respect de la directive 2007/43/CE et à l'arrêté du 28 juin 2010 établissant les normes minimales relatives à la protection des poulets destinés à la production de viande. Ainsi, le but de cette démarche est d'envisager une méthode de mesure de l'éclairage des bâtiments avicoles servant d'outil à l'éleveur pour le renseigner sur l'éclairage moyen de son bâtiment. Cette méthode doit être simple à réaliser comprenant quelques points de mesure à des emplacements stratégiques.

3. État des lieux de la réglementation

Compte tenu de la raréfaction des ressources en énergie fossile depuis plusieurs années, des réglementations et incitations se sont mises en place pour optimiser la performance énergétique, tant en France qu'au niveau européen. Celles-ci concernent aussi les dispositifs d'éclairage.

3.1. Le dispositif Français

Dans le cadre des engagements du Grenelle de l'Environnement, une convention a été signée, le 23 octobre 2008 entre le Ministère du Développement Durable et différents acteurs de la grande distribution et du bricolage pour le retrait de la vente des ampoules à incandescence et la promotion des lampes basse consommation.

Cet accord avait pour but :

- d'augmenter la part de marché des lampes basse consommation de catégorie A et B pour qu'elles atteignent une part de marché de 35 % fin 2010.
- de retirer de la vente, de manière progressive, les produits les plus énergivores.
- de conduire des actions promotionnelles afin de réduire le prix d'achat des lampes basse consommation.
- d'améliorer la qualité des lampes fluorescentes compactes. L'ensemble des produits mis en vente devant être conforme à certaines exigences (EcoProfile européen).
- augmenter la collecte et le recyclage des produits en fin de vie. Les lampes fluorescentes compactes contiennent de faibles quantités de mercures et il est indispensable de ramener les produits usagés dans un point de collecte pour leurs recyclages.
- améliorer l'information et la sensibilisation des consommateurs pour orienter leurs achats vers des lampes basse consommation et pour développer le recyclage.

Le Calendrier suivant a alors été adopté pour le retrait de la vente des lampes à incandescence :

30/06/2009 : retrait des ampoules à incandescence ≥ 100 W.

31/12/2009 : retrait des ampoules à incandescence ≥ 75 W.

30/06/2010 : retrait des ampoules à incandescence ≥ 60 W.

31/08/2011 : retrait des ampoules à incandescence ≥ 40 W.

31/12/2012 : retrait des ampoules à incandescence ≥ 25 W.

3.2. Le recyclage

Les ampoules, à l'exception des ampoules à incandescence et halogène, contiennent des substances dangereuses et doivent donc être recyclées. Ces ampoules sont soumises à une éco-contribution, qui finance un circuit de collecte et de recyclage dédié. C'est l'éco organisme Récylum (émanation de plusieurs fabricants de lampes) qui est agréé pour la collecte et le recyclage des lampes usagées.

Dans le même temps, la directive 2005/32/CE du parlement Européen et du conseil en date du 6 juillet 2005 (directive dite EuP pour l'Energy using Products) établit un cadre pour la fixation d'exigences en matière d'écoconception applicables aux produits consommateurs d'énergie. Celle-ci est mise en œuvre au travers de deux règlements Européens pour les dispositifs d'éclairage. Le règlement CE N° 244/2009 concernant les exigences relatives à l'écoconception des lampes à usage domestique non dirigées et le règlement CE N° 245/2009 en ce qui concerne les exigences relatives en matière d'écoconception applicables aux lampes fluorescentes sans ballast intégré, aux lampes à décharge à haute intensité, ainsi qu'aux ballasts et aux luminaires qui peuvent faire fonctionner ces lampes. Ces règlements, publiés au Journal Officiel de l'Union Européenne le 24 mars 2009, visent la suppression sur le marché Européen des lampes les moins éco-efficaces : celles qui, pour une même quantité de lumière émise, consomment plus d'énergies que d'autres.

Sur la base d'un calendrier qui s'échelonne du 1^{er} septembre 2009 au 1^{er} septembre 2016, la sélection des lampes se fera sur la base de leur efficacité énergétique, elle-même évaluée par les différentes classes énergétiques allant de A à G. Le texte propose une élimination des lampes en fonction de leur flux lumineux et de leur classe énergétique. L'AFE (Association Française de l'éclairage) a établi des tableaux d'équivalences approximatives des lampes par technologie (Cf. tableau 1). En cas de doute, se reporter aux textes officiels.

3.3. Conclusions

Bien que ces différentes réglementations ne ciblent pas directement l'éclairage des bâtiments d'élevage, elles touchent indirectement nos productions. Le secteur de l'élevage est utilisateur de lampes non spécifiques. Si la réglementation relative à un marché domestique ou tertiaire amenait la disparition de ce débouché, il est fort probable qu'alors le marché avicole ou même de l'élevage ne soit plus suffisant pour justifier la poursuite de la production dudit produit d'un point de vue économique. C'est aussi une opportunité pour la filière avicole d'améliorer ses outils par rapport à l'efficacité énergétique, son autonomie énergétique par voie de conséquence ses coûts de production.

4. Recensement des sources lumineuses utilisées et utilisables dans les bâtiments avicoles dans les années à venir

4.1. Les principaux types de lampes sur le marché

Les sources lumineuses peuvent se classer en différentes catégories (tab. 1).

■ Tableau 1 : Tableau indicatif de retrait des lampes et ballasts énergivores

Échéance	RÈGLEMENT (CE) No 244/2009 DE LA COMMISSION du 18 mars 2009 (vise essentiellement l'éclairage domestique)	RÈGLEMENT (CE) No 245/2009 DE LA COMMISSION du 18 mars 2009 (vise essentiellement l'éclairage tertiaire)
2009	01.09.2009 - Lampes à incandescence et halogènes non claires (opales, blanches, dépolies, etc.) - Lampes fluorescentes compactes de classe énergétique B - Lampes de classes F et G - Lampes à incandescence ≥ 100 W - Lampes halogènes ≥ 75 W et de classes D et E	
2010	01.09.2010 - Lampes à incandescence de ≈ 75 W (≥ 725 lm) - Lampes halogènes de ≈ 60 W de classe D et E (≥ 725 lm)	13.04.2010 - Tubes fluorescents T8 halo phosphates (standard) - Obligation d'informations détaillées sur les performances des lampes (internet) - Obligation de marquage des ballasts pour lampes fluorescentes selon une nouvelle classification énergétique
2011	01.09.2011 - Lampes à incandescence de ≈ 60 W (≥ 450 lm) - Lampes halogènes de ≈ 40 W de classe D et E (≥ 450 lm)	
2012	01.09.2012 - Lampes à incandescence de ≈ 25 W et ≈ 40 W (≥ 60 lm) - Lampes halogènes de ≈ 25 W de classe D et E (≥ 60 lm)	14.04.2012 - Tubes fluorescents T10 et T12** - Lampes sodium haute pression (SHP) : efficacité minimum et critères de qualité pour les modèles E27/E40/PGZ12 : - retrait des lampes sodium haute pression standard - Lampes aux halogénures métalliques (HM) : retrait des lampes HM les moins efficaces en culot E27/E40/PGZ12
2013	01.09.2013 Lampes à culots S14, S15 et S19 (dites "linolite")	
2014	Révision de la Directive par la Commission Européenne	
2015		14.04.2015 - Lampes à vapeur de mercure haute pression (MHP) - Lampes sodium haute pression retrofit *** (remplacement direct des lampes MHP)
2016	01.09.2016 Lampes claires de classe C (sauf les lampes à culots G9 et R7s)	
2017		14.04.2017 - Lampes aux halogénures métalliques (HM) à faibles performances en culot E27/E40/PGZ12 - Disparition des ballasts pour fluo de classes B1 et B2 (ferromagnétiques) - Disparition des ballasts pour lampes à décharge les moins performants

Sources : JOUE et AFE

Sont exclues du champ d'application : les lampes directionnelles (Spots) / à réflecteur ; les lampes dont le flux est < 60 lm et $> 12\,000$ lm ; certaines lampes dites « spéciales » comme celles incorporées dans l'électroménager ; les lampes à UV, IR ou de lumière noire ; certaines lampes très basse tension ; les lampes « linolites » jusqu'en 2013. Les équivalences de puissance ne sont données qu'à titre indicatif.

** Avec des exigences minimales en matière d'efficacité

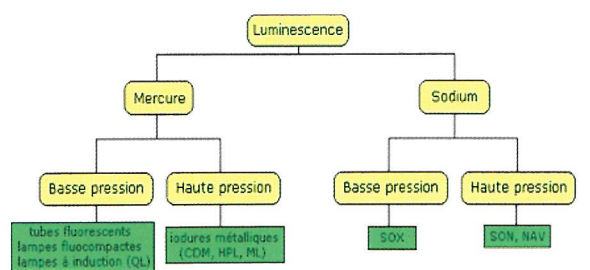
*** Pratiquement toutes les lampes Retrofit seront interdites

4.1.1. Les lampes à incandescence

Elles produisent de la lumière en portant à incandescence un filament de tungstène. Les lampes halogènes sont une variante des lampes à incandescence classiques. Elles opèrent à plus haute température. Ces sources ont des durées de vie assez courte (environ 1000 h pour une lampe à incandescence) et relativement énergivores (environ 5 % de l'énergie consommée est restituée sous forme de lumière).

4.1.2. Les lampes à décharge

Elles fonctionnent par un phénomène de décharge électrique dans un milieu gazeux. Il existe plusieurs types de lampes à décharge dont les plus connues sont les tubes fluorescents.



Les lampes fluorescentes

Les tubes fluorescents sont des lampes à décharge dont la face intérieure

est recouverte d'une poudre fluorescente qui restitue la lumière générée par le gaz intérieur sous forme visible.

Ces lampes se présentent sous différentes formes :

- tubulaire-linéaire : avec des électrodes à émission thermoélectronique à chaque extrémité. Le plus connu est le tube fluorescent.
- tubulaire circulaire : avec les électrodes connectées à une douille commune
- sphérique : dont la décharge électrique est excitée par une antenne radiofréquence.
- tubulaire compacte : dont le tube à décharge est plié plusieurs fois. Ces dernières sources sont actuellement mises en avant dans l'éclairage domestique en remplacement des lampes à incandescence qui sont progressivement retirées du marché.

Les lampes aux halogénures métalliques

Le gaz composant l'ampoule est composé d'halogénures métalliques et de vapeurs de mercure haute pression. L'émission est provoquée par la formation d'un arc électrique. Les éléments halogénés présents dans le gaz servent à augmenter la concentration en métaux vaporisés dans la zone chaude de l'arc. Il y a émission d'ultraviolet qui doit être filtré comme pour les lampes halogènes.

un composant optoélectronique qui émet de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. Une diode ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens. Elle produit un rayonnement qui est souvent monochromatique lorsqu'un courant la traverse. Les températures de couleur assez froides et les mauvais Indice de Rendu de Couleur (IRC) lui sont souvent reprochés, cependant des progrès importants ont été réalisés sur ces points au cours des dernières années et d'autres sont attendus. Ainsi, il est possible d'obtenir différentes couleurs de lumière en combinant plusieurs LED au sein d'une même lampe. La famille des LED compte plusieurs dérivées, principalement, l'OLED, l'AMOLED plutôt orientées actuellement vers la conception d'écrans ou d'afficheurs. Dans les LED, il convient de distinguer les LED de faible puissance (<1 W) utilisées surtout comme témoins lumineux dans les appareils électroniques (télécommandes, chaînes hifi, téléviseurs, ...) depuis de nombreuses années des LED de forte puissance (>2 W) qui se sont surtout développées depuis le début des années 2000 dans le domaine de l'éclairage.

Les LED sont considérées, par beaucoup, comme une technologie d'avenir dans le domaine de l'éclairage général. Certaines estimations indiquent qu'à l'horizon 2020, les LED pourraient représenter 75 % du marché de l'éclairage.

■ Tableau 2 : Liste des sources lumineuses commercialisées par les entreprises partenaires du projet (état juin 2011) :

Lampes commercialisées	Type	Entreprises						
		ECOSOLEIL	FANCOM	LEAD LEROY CONCEPT	RAPDIEUX TUFFIGO	SODALEC	SODIMEL/ AGRILIGHT	SYSTEL
Eco Flux	Lampes fluocompactes	✓			✓		✓	✓
Tube Fluo Ballast électronique HE	Tube Fluo Ballast électronique HE	✓ ²	✓		✓		✓	
Avipro	Lampes à vapeur de sodium			✓				
Agilight	Luminaire Fluo Compact						✓	
Avilight	Led	✓ ²				✓	✓	✓

² à partir de septembre 2011

Le rendu des couleurs est plutôt bon et leur lumière est blanche. Les halogénures métalliques constituent un sérieux rival aux LED, leur marge de progression est encore important (jusqu'à 150 lm/W).

Les lampes à vapeur de sodium

Ces lampes appartiennent à la famille des lampes à décharge. La lumière est générée par luminescence : un rayonnement électromagnétique apparaît, suite à l'excitation d'atomes de gaz. Il existe des lampes à vapeur de sodium haute pression (SHP) et des lampes à vapeur de sodium basse pression (SBP). Les lampes à vapeur de sodium basse pression émettent une lumière de couleur jaune orangée. Si on compare les SHP aux SBP, les premières ont une meilleure qualité de rendu des couleurs, mais une efficacité lumineuse inférieure.

4.1.3 Les lampes à électroluminescence

Nous n'aborderons dans cette catégorie que les LED. Une diode électroluminescente, abrégée sous les sigles LED en anglais pour (Light Emitting Diode) ou DEL en français pour (Diode ElectroLuminescente), est

4.2 Les sources lumineuses utilisées en aviculture :

Après interrogation des équipementiers partenaires du projet, nous avons pu établir le tableau 2 des sources couramment utilisées ou en développement en aviculture.

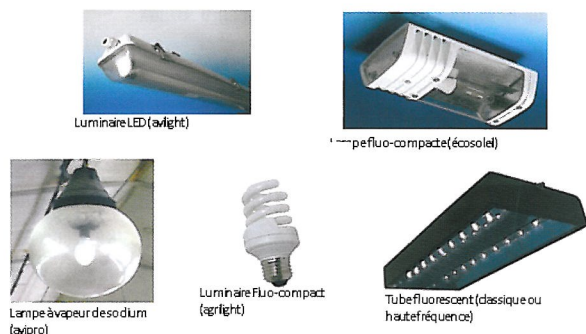
Pour nos essais et les suivis à venir, nous n'avons retenu aucune des sources visées par la réglementation à l'exception du tube fluorescent classique à ballast ferromagnétique qui équipe encore de nombreux bâtiments d'élevage de volailles. Ce dernier sera suivi à titre de témoin en comparaison aux sources suivantes :

- lampes fluo-compactes
- tubes fluorescents haute fréquence à ballast électronique
- lampes à vapeur de sodium
- luminaires fluo-compactes
- luminaire à Led

Ce qui nous amènera à suivre 6 sources lumineuses (le témoin + 5 autres sources) sur le terrain dont les photos figurent ci-après (figure 3) :

Toutefois avant d'envisager la réalisation d'essais ou de suivis d'élevage

■ Figure 3 : photographies des sources lumineuses suivies



dont l'objectif est l'évaluation des impacts des lampes économes en énergie, il convient de définir la méthode de mesure de l'éclairement que nous utiliserons.

5 Mise au point d'un protocole de mesure de l'éclairement moyen

5.1 Matériels et méthodes

5.1.1 Etude de cas : bâtiment étudié

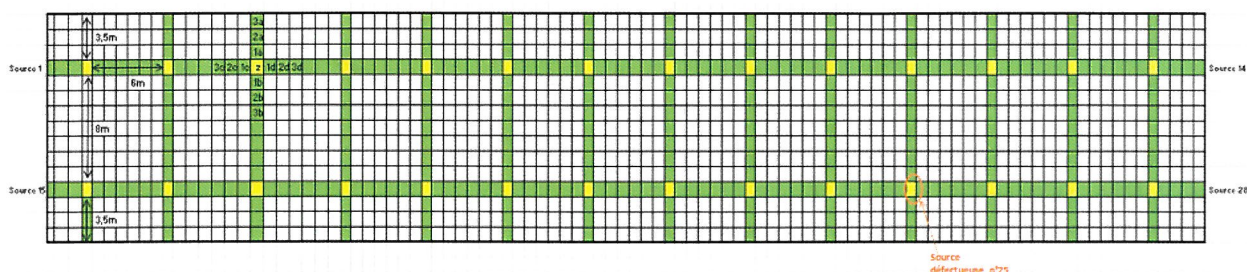
L'étude s'est déroulée chez un éleveur de volailles de chair dans la Sarthe (72). Le bâtiment récent étudié (2009) est de type semi-clair (possibilités d'ouverture grâce à des trappes), d'une superficie de 1350 m² (soit 90 m de longueur et 15 m de largeur), en ventilation dynamique et équipé de tubes fluorescents basse consommation haute fréquence de marque FANCOM de 1,20 m de long.

L'éclairage est installé selon deux lignes de luminaires, comprenant 14 tubes fluorescents par ligne, soit un total de 28 sources lumineuses, à une hauteur de 3,40 m de la litière (figure 1). L'espacement entre les 2 lignes de luminaires est d'environ 8 m et la distance entre les sources est de 6 m. Il est à noter qu'une source était défectueuse lors de nos mesures, celle-ci se situait en bout de la 2^e ligne de luminaire (figure 5). Pour cette raison, cette source lumineuse n'a pas été intégrée dans l'analyse.

Les mesures d'éclairement ont été réalisées une seule fois dans la journée et dans les conditions suivantes :

- à l'aide d'un luxmètre VOLCRAFT,

■ Figure 5 : schéma des prises de mesure



- à hauteur des animaux (30 cm), correspondant à la hauteur des yeux des poulets à 5 semaines,
- en l'absence d'animaux,
- en présence de litière propre (juste avant l'arrivée des poussins),
- à éclairement maximal,
- les lignes de mangeoire et d'abreuvement relevées au maximum de façon à ne pas créer de zones d'ombre,
- les fenêtres et trappes fermées pour ne pas laisser entrer de lumière extérieure.

Pour que les mesures soient réalisées dans de bonnes conditions, les sources sont allumées depuis plus de 30 minutes pour que les lampes fonctionnent au maximum de leur potentiel et que l'éclairement soit stable (Protocole de mesure - Mesure de la lumière, WLTO, http://www.hortilux.nl/fileadmin/hortilux/aangeleverd/meetprotocol_licht_meten_FR.pdf). Enfin, dans le but de ne pas gêner les mesures, la personne relevant l'éclairement se trouvait à au moins 1,5 m du capteur et portait des vêtements de couleurs neutres afin d'éviter tout phénomène de réflexion.

5.1.2 Type de mesures réalisées

Lors de cette étude, deux types de mesures ont été réalisées dans l'objectif d'approcher au mieux l'éclairement reçu par les animaux.

Il est en effet à noter qu'en modifiant légèrement l'orientation du luxmètre à un point donné, l'éclairement peut varier de plusieurs lux.

Mesure de l'éclairement maximal

Pour réaliser cette mesure (« Méthode 1 »), le luxmètre est positionné sur un pied permettant d'être à la hauteur des animaux. La mesure de l'éclairement maximal consiste à rechercher l'éclairement le plus fort à une localisation donnée en modifiant l'orientation du luxmètre verticalement et horizontalement.

Mesure de l'éclairement à plat

Le luxmètre est également positionné sur un pied. Cette méthode (« Méthode 2 ») consiste à laisser le luxmètre à l'horizontal par rapport au sol afin de capter la lumière directe. Comparée à la méthode précédente, cette méthode est plus aisée et plus rapide.

Localisation des prises de mesures

Pour chacune des deux méthodes, un total de 13 mesures a été réalisé pour chacun des tubes fluorescents (27).

Les mesures réalisées ont été les suivantes (figure 1):

- Une mesure à l'aplomb de chaque source (« Z »)
- 12 mesures autour de chaque source et à différentes distances (1 m, 2 m et 3 m) le long de la ligne et latéralement en direction des parois et du centre du bâtiment.

Un total de 351 mesures a été réalisé pour chacune des deux méthodes. Les sources étant espacées de 6 m entre elles, les mesures ont été réalisées à une distance maximale de 3 m pour couvrir l'ensemble de l'espace disponible entre sources.

Pour chaque source lumineuse, l'éclairement moyen est calculé à partir des 13 mesures réalisées.

5.1.3. Traitement statistiques

Le traitement statistique des données a été réalisé à l'aide du logiciel Statview. Tout d'abord, un test de Fischer a été réalisé sur l'éclairement moyen du bâtiment afin de comparer les deux méthodes de mesures (seuil de significativité à 5 %) avec $n = 351$ (27 sources x 13 mesures).

Dans un second temps, l'effet de l'évolution de l'éclairement en fonction de la distance autour de la source a été testé grâce à un test non paramétrique de Kruskal-Wallis puis Mann-Whitney afin de déterminer les effets significatifs entre les distances avec $n = 27$ sources par méthode. Des tests non paramétriques ont été réalisés car les données ne suivaient pas une loi normale.

Enfin, dans le but de pouvoir estimer l'éclairement moyen du bâtiment étudié tout en diminuant le nombre de mesures, des équations ont été mises en place pour chacune des méthodes à l'aide d'une régression polynomiale d'ordre 2, afin d'estimer l'éclairement moyen d'une source dans un rayon de 3 m, à partir de sa valeur à l'aplomb.

Enfin, une seconde méthode d'estimation de l'éclairement moyen du bâtiment a été testée grâce à des tirages aléatoires, afin d'estimer le nombre minimum de points à l'aplomb nécessaire pour évaluer l'éclairement moyen du bâtiment.

5.2. Résultats et discussion

5.2.1. Répartition de l'éclairement global

L'éclairement moyen du bâtiment relevé avec la méthode 1 atteint $44,5 \text{ lux} \pm 3 \text{ lux}$ et $41,7 \text{ lux} \pm 2,9 \text{ lux}$ pour la deuxième méthode.

La différence de 2,8 lux obtenue entre les deux méthodes est significative statistiquement ($p = 0,0002$). Néanmoins, étant donnée la forte variation de l'éclairement observée en un même point lors d'une légère variation de la position de l'appareil, il peut être considéré qu'une variation inférieure à 3 lux correspond à la marge d'erreur sur la mesure.

Dans l'objectif de répondre à la directive européenne (2007/43/CE) concernant le bien-être des poulets de chair, l'éclairement moyen sur 80 % de la surface du bâtiment a été mesuré.

Avec la méthode 1, l'éclairement moyen atteint 46,7 lux sur 80 % de la surface du bâtiment et 43,5 lux avec la méthode 2.

Quelle que soit la méthode utilisée, elle indique que l'éclairement moyen sur 80 % de la surface du bâtiment est supérieur à 40 lux.

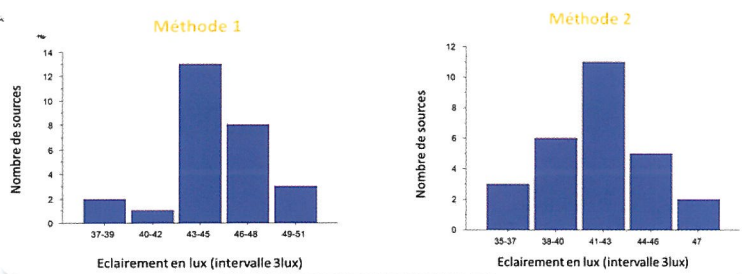
5.2.2. Répartition de l'éclairement en fonction des sources lumineuses

La distribution de l'éclairement moyen des sources a été étudiée afin d'apprécier l'homogénéité de l'éclairement dans le bâtiment. Des classes ont été réalisées par intervalle de 3 lux (figure 6). L'éclairement moyen d'une source est apprécié en prenant l'ensemble des mesures réalisées autour de celle-ci (aplomb, 1 m, 2 m et 3 m longitudinalement et latéralement).

Avec la première méthode, 75 % des sources se situent entre 43 et 47 lux à savoir très proche de la moyenne qui atteint 45,2 lux (figure 6).

Avec la deuxième méthode, 63 % des sources se situent également très proche de la moyenne (41,7 lux) à savoir entre 40 et 44 lux (figure 6).

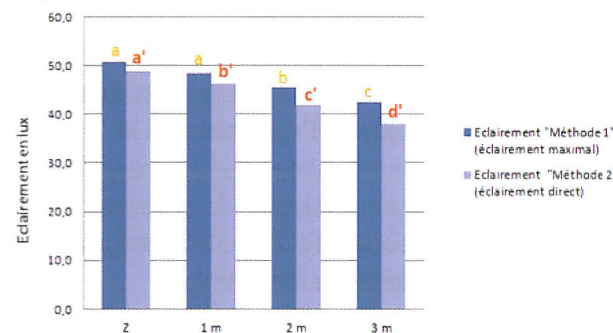
■ Figure 6 — Répartition de l'éclairement des sources



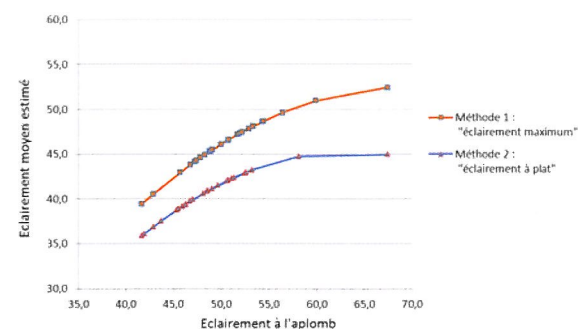
5.2.3. Évolution de l'éclairement en fonction de la distance

Dans un second temps, il s'agit de caractériser l'évolution de l'éclairement autour de la lampe en fonction de la distance.

■ Figure 7 — Évolution de l'éclairement en fonction de la distance



■ Figure 8 — Éclairement moyen de chaque source en fonction de la valeur mesurée à l'aplomb



Il en ressort pour la première méthode, que l'éclairement à l'aplomb des sources a tendance à être similaire à celui mesuré à 1 m (-2 lux, $p = 0,0516$) soit respectivement une moyenne de $50,5 \text{ lux} \pm 5 \text{ lux}$ et $48,2 \text{ lux} \pm 5 \text{ lux}$. Celui-ci commence néanmoins à être significativement différent lorsque l'on s'éloigne à 2 m (-5 lux, $p < 0,0001$) puis à 3 m (-8 lux, $p < 0,0001$) soit respectivement une moyenne de $46 \text{ lux} \pm 6 \text{ lux}$ et $43 \text{ lux} \pm 6 \text{ lux}$ (figure 7). Concernant la deuxième méthode, il en ressort que l'éclairement à l'aplomb des sources est significativement différent de celui mesuré à 1 m (-2,5 lux, $p = 0,0371$) soit respectivement une moyenne de $48,7 \text{ lux} \pm 5 \text{ lux}$ et $46,2 \text{ lux} \pm 5 \text{ lux}$. L'éclairement à l'aplomb est également significativement différent de celui mesuré à 2 m (-7 lux, $p < 0,0001$) et à 3 m (-10 lux, $p < 0,0001$) soit respectivement une moyenne de $42 \text{ lux} \pm 6 \text{ lux}$ et $38,4 \text{ lux} \pm 6 \text{ lux}$ (figure 7).

La baisse progressive de l'éclairement mesurée avec la méthode 2 apparaît dès 1 m de distance.

Une équation de prédiction de l'éclairement moyen d'une source dans un périmètre de 3 m à partir de la mesure de l'éclairement réalisée à l'aplomb a été calculée pour chacune des méthodes (figure 8). Les équations suivantes ont été obtenues :

Équation « Méthode 1 » :

$$y = 29,4 + 2,36x - 0,017x^2 \quad (R^2 = 0,82 ; \text{écart type} = 1,280 ; n = 27)$$

Équation « Méthode 2 »

$$y = 34,9 + 2,53x - 0,020x^2 \quad (R^2 = 0,82 ; \text{écart type} = 1,26 ; n = 27)$$

« y » correspond à l'éclairement moyen estimé d'une source dans un périmètre de 3m,

« x » correspond à l'éclairement à l'aplomb de la source.

5.2.4. Estimation de l'éclairement moyen grâce à un tirage aléatoire des sources

L'estimation de l'éclairement moyen du bâtiment est possible en échantillonnant un nombre suffisant de sources lumineuses. Des tirages aléatoires (20) de différentes tailles (14, 7 et 4 sources) ont été réalisés afin de connaître le nombre minimum de sources à mesurer : à l'aplomb, à 2 et 3 m latéralement et le long des lignes de luminaires.

Il est à noter que pour les tirages aléatoires, les valeurs d'éclairement à 1 m de la source ont été supprimées de cette analyse car l'écart avec l'aplomb était considéré comme trop faible pour conserver cette distance de mesure et surestimait probablement le niveau d'éclairement moyen.

De plus, dans un but de simplification de la prise des mesures par l'utilisateur, un nombre restreint de mesures (5) a été conservé : mesures à l'aplomb et mesures à 2 et 3 m, du côté gauche des sources et vers le centre du bâtiment, les mesures étant symétriques.

Afin de connaître le nombre de sources à conserver pour estimer l'éclairement moyen du bâtiment avicole, des limites ont été fixées, à savoir :

- étant donné la sensibilité de la mesure, nous avons considéré que l'écart entre l'éclairement moyen estimé et l'éclairement moyen réel ne devait pas dépasser 3 lux pour pouvoir valider une méthode,

- nous avons fixé un seuil de fiabilité ne devant pas être inférieur à 80 %. Cela signifie que sur 20 tirages, au moins 80 % (soit 16 tirages) correspondent à la moyenne $\pm 3 \text{ lux}$

Estimation de l'éclairement moyen avec la « Méthode 1 » par tirage aléatoire

La première série des 20 tirages est réalisée à partir de 14 sources présentes dans le bâtiment (tirées de manière aléatoire). L'estimation de l'éclairement moyen est fiable à plus de 99,9 %. Compte tenu de ce résultat, le nombre de mesures a été réduit à 7 sources. Suite aux 20 tirages successifs, la prédiction de l'éclairement moyen est également fiable à plus de 99,9 %. Enfin, un dernier tirage a été réalisé avec 4 sources. Il en ressort le même résultat, à savoir l'estimation de l'éclairement moyen est fiable à plus de 99,9 %. Dans un souci de simplification des mesures, il est de plus possible d'utiliser l'équation de prédiction de l'éclairement moyen des sources à partir de l'éclairement à l'aplomb.

Les résultats indiquent qu'en réalisant 20 tirages à partir de l'estimation moyenne de 14 sources prises au hasard, l'éclairement moyen estimé du bâtiment est fiable à plus de 99,9 %.

En réduisant le nombre de mesures à l'aplomb à 7 sources, la prédiction de l'éclairement moyen est fiable à plus de 99 %. Le nombre de sources peut être de nouveau réduit à 4 et l'estimation de l'éclairement moyen est fiable à 95 %. Enfin, l'estimation de l'éclairement moyen est également possible à partir d'une seule mesure prise sous une source dans le centre du bâtiment avec une estimation fiable à 90 %.

Estimation de l'éclairement moyen avec la « Méthode 2 » par tirage aléatoire

Pour cette méthode, les mêmes tirages que pour la méthode 1 ont été réalisés.

La première série de 20 tirages réalisée à partir de 14 sources prises au hasard dans le bâtiment permet une estimation de l'éclairement moyen fiable à plus de 99,9 %.

Compte tenu de ce résultat, il est possible de réduire le nombre de sources à 7. Suite aux 20 tirages successifs, on obtient une estimation de l'éclairement moyen de nouveau fiable à plus de 99,9 %.

Enfin, le dernier tirage réalisé à partir de 4 sources, fait ressortir le même résultat, à savoir une estimation de l'éclairement moyen fiable à plus de 99,9 %. Il est également possible d'utiliser l'équation de prédiction de l'éclairement moyen des sources à partir de l'éclairement mesuré à l'aplomb.

Les résultats indiquent qu'en réalisant 20 tirages à partir de l'estimation moyenne de 14 sources, l'éclairement moyen estimé du bâtiment est fiable à plus de 99,9 %. En réduisant le nombre de mesures à l'aplomb avec 7 sources, la prédiction de l'éclairement moyen est fiable à plus de 99 %. Le nombre de sources peut être de nouveau réduit à 4, l'estimation de l'éclairement moyen est fiable à 90 %. Enfin, l'estimation de l'éclairement moyen est également possible à partir d'une seule mesure prise sous une source dans le centre du bâtiment avec une estimation fiable à 90 %.

Conclusion

Dans les conditions testées, les deux méthodes de mesure (éclairage à plat et maximal) donnent des résultats très proches en termes de caractérisation de l'éclairage et d'évolution dans l'espace. La réalisation de mesures auprès de quatre sources prises dans le bâtiment avec cinq mesures définies autour de la source (aplomb, 2 m et 3 m latéralement et longitudinalement) paraît suffisante pour caractériser l'éclairage moyen du bâtiment étudié.

Des études complémentaires doivent être faites dans d'autres bâtiments et avec différents types de sources lumineuses, afin de proposer des protocoles adaptés à différentes situations. Ceci permettra d'évaluer si l'éclairage de 20 lux est atteint sur 80 % de la surface.

Ces études constituent le premier volet du programme VOLUME qui comprend également la réalisation d'essais dans les installations expérimentales de l'INRA à Nouzilly concernant le comportement alimentaire de poulets sous différents environnements lumineux et l'impact zootechnique observé sur des poulets élevés sous 4 sources d'éclairage différentes.

Dans une seconde phase, des mesures sont faites en bâtiments commerciaux sur les consommations électriques et l'éclairage. Ceci permettra de tenir compte du vieillissement des appareils d'éclairage, de la hauteur des sources lumineuses et des dimensions représentatives des bâtiments.

Références bibliographiques

Directive Européenne 2005/32/CE. [sans date]. Directive 2005/32/CE du Parlement Européen et du Conseil du 6 juillet 2005 établissant un cadre pour la fixation d'exigences en matière d'écoconception applicables aux produits consommateurs d'énergie et modifiant la directive 92/42/CEE du Conseil et les directives 96/57/CE et 2000/55/CE du Parlement européen et du Conseil. Journal officiel de l'Union européenne. JO L 191 du 22 juillet 2005, pp. 29-58.

Directive Européenne 2007/43/CF. [sans date]. Directive 2007/43/CE du conseil du 28 juin 2007 fixant des règles minimales relatives à la protection des poulets destinés à la production de viande. Journal officiel de l'Union européenne. Luxembourg, JO L 182 du 12 juillet 2007, pp. 19-28.

BARBER, C.L., PRESCOTT, N.B., JARVIS, J.R., SUEUR, C. Le, PERRY, G.C. et WATHES, C.M., 2006. Comparative study of the photopic spectral sensitivity of domestic ducks (*Anas platyrhynchos domesticus*), turkeys (*Meleagris gallopavo gallopavo*) and humans. In : British Poultry Science. juin 2006. Vol. 47, n° 3, pp. 365-374.

BLATCHFORD, R. A., KLASING, K. C., SHIVAPRASAD, H. L., WAKENELL, P. S., ARCHER, G. S. et MENCH, J. A., 2009. The effect of light intensity on the behavior, eye and leg health, and immune function of broiler chickens. In : Poultry Science. janvier 2009. Vol. 88, n° 1, pp. 20-28.

BOISSINOT, Stephane, TAN, Ying, SHYUE, Song-Kun, SCHNEIDER, Horacio, SAMPAIO, Iracilda, NEISWANGER, Katherine, HEWETT-EMMETT, David et LI, Wen-Hsiung, 1998. Origins and Antiquity of X-Linked Triallic Color Vision Systems in New World Monkeys. In : Proceedings of the National Academy of Sciences. 1998. Vol. 95, n° 23, pp. 13749-13754.

CAHN, J., 2011. THORN - Eclairagisme et éclairage intérieur. In : powerpoint. S.I. 2011.

DOWNS, K. M., LIEN, R. J., HESS, J. B., BILGILI, S. F. et DOZIER, W. A., 2006. The Effects of Photoperiod Length, Light Intensity, and Feed Energy on Growth Responses and Meat Yield of Broilers. In : The Journal of Applied Poultry Research. Fall 2006. Vol. 15, n° 3, pp. 406-416.

KRISTENSEN, H.H., 2008. The effects of light intensity, gradual changes between light and dark and definition of darkness for the behaviour and welfare of broiler chickens, laying hens, pullets and turkeys. Synthèse. Copenhagen : University of Copenhagen.

LEWIS, P.d. et MORRIS, T.r., 2000. Poultry and Coloured Light. In : World's Poultry Science Journal. 2000. Vol. 56, n°

NEWBERRY R. C., HUNT J. R. ET GARDINER E. P., 1988. Poultry Science. Vol. 67, n° 7, pp. 1020, Influence of Light Intensity on Behavior and Performance of Broiler Chickens

OLANREWAJU, HA, THAXTON, JP, DOZIER, WA, PURSWE, J., ROUSH, WB et BRANTON, SL, 2006. A review of lighting programs for broiler production. In : International Journal of Poultry Science. 2006. Vol. 5, n° 4, pp. 301-308.

PRAYITNO IX S. PHILLIPS C. J ET OMED H. - 1997. Poultry Science. Vol. 76. n° 3. pp. 452-457, The effects of color of lighting on the behavior and production of meat chickens

PRESCOTT, N. B, WATHES, C. M et JARVIS, J. R., 2003. Light, vision and the welfare of poultry. In : Animal Welfare. 2003. Vol. 12, pp. 269-288 Protocole de mesure. WLTO.

http://www.hortilux.nl/fileadmin/hortilux/aangeleverd/meetprotocol_lichtmeten_FR.pdf.