

L'éclairage artificiel des bâtiments d'élevage de ruminants

Dans un bâtiment d'élevage, un éclairage défaillant ou mal conçu peut avoir des répercussions sur les conditions de travail des éleveurs et sur les résultats techniques du troupeau (santé, bien-être, performances zootechniques). Au-delà de l'éclairage naturel lié à la conception du bâtiment, la question de l'éclairage artificiel d'un bâtiment doit être étudiée avec attention. Ce document fait le point sur les recommandations en termes d'éclairage et de matériel (sources lumineuses, luminaires) en fonction du bâtiment ou des activités qu'il abrite. Il propose également un outil de calcul pour le dimensionnement d'un projet d'éclairage.

Les besoins en éclairage d'un bâtiment d'élevage

Dans un bâtiment, l'éclairage naturel ne peut suffire. Il doit impérativement être complété par un éclairage artificiel. Il s'agit au final d'obtenir un niveau d'éclairage et une répartition de l'éclairage adaptés à l'usage qu'il doit satisfaire, sans provoquer d'éblouissement (des animaux et des personnes). L'éclairage artificiel peut ainsi être amené à répondre à des besoins d'activité, de confort, de sécurité ou d'ambiance. À chacune de ces situations, les besoins tant en terme de qualité de lumière que de consommation d'énergie doivent être définis.

Pratiquement, l'éclairage artificiel peut être de trois types :

- **général** : l'éclairage est relativement uniforme. Il est procuré notamment par des plafonniers éclairant chacun un large secteur ;
- **localisé** : le niveau d'éclairage est optimisé au-dessus d'une zone précise (zone de travail, d'intervention sur les animaux, ...). L'utilisateur a la possibilité d'adapter lui-même l'éclairage de son poste à ses besoins ;
- **général et localisé** : il allie les deux options précédentes, en associant un éclairage général, qui peut donc être réduit, à des sources lumineuses ponctuelles éclairant les zones qui demandent un niveau d'éclairage plus fort.

La lumière artificielle, à condition de l'utiliser de manière juste et avec modération, est un élément pour la conception de l'espace de travail à part entière.

Dans les bâtiments de grande longueur ou dans les locaux larges et ne comportant pas ou peu d'éclairage naturel sur une des façades, des circuits différents de luminaires doivent être organisés selon qu'ils sont situés à proximité des surfaces éclairantes ou plus éloignés de celles-ci de manière à ce qu'ils puissent être commandés de manière distincte.

On distingue trois types de lumière (figure 1) :

- **directe** : la quasi-totalité de la lumière est projetée vers une zone précise. Ce type d'éclairage crée souvent des ombres, qui peuvent faire peur aux animaux. En conséquence, en bâtiment d'élevage, on le choisit pour du travail de précision, comme la traite, le soin aux animaux, ... En salle de traite, pour certains postes, une lumière mixte peut être préférée pour éviter des zones d'ombre.
- **indirecte** : la lumière est réfléchiée par une surface claire, au plafond ou sur un mur. En bâtiment d'élevage, cet éclairage est à réserver à un éclairage de sécurité, comme les accès, ou les zones de circulation.
- **mixte** : la lumière est diffusée de manière égale vers le haut et vers le bas de la source. En bâtiment d'élevage, cette lumière est à privilégier pour le travail courant, comme : l'entretien de la litière, la distribution de l'alimentation.



Figure 1 : Trois types de lumière : directe (à gauche), indirecte (au centre) ou mixte (à droite)

L'éclairage artificiel en élevage : pour quels usages ?

L'éclairage artificiel en bâtiment d'élevage permet avant tout de répondre aux besoins de travailler dans de bonnes conditions dès la nuit tombée, tout en permettant la surveillance du troupeau.

Par ailleurs en élevage, l'augmentation des niveaux de luminosité dans le bâtiment peut faire partie des stratégies de conduite du troupeau pour améliorer le confort, la production ou encore la fertilité et la santé des animaux.



photographie 1 : l'éclairage artificiel en bâtiment d'élevage en réponse aux besoins de travailler dans de bonnes conditions dès la nuit tombée.

PROGRAMME LUMINEUX, REPRODUCTION

Chez les ovins et les caprins, espèces à reproduction saisonnière, la manipulation de la photopériode permet d'induire une activité sexuelle en dehors de la saison sexuelle, simultanément chez le mâle et la femelle. Ces programmes lumineux sont basés sur la perception par les animaux d'une alternance de jours courts et de jours longs. Classiquement, le traitement lumineux consiste à soumettre les animaux à 2-3 mois de jours longs (16h de lumière) puis à 35-45 jours chez la brebis ou 50-70 jours chez la chèvre de jours courts (8h de lumière). L'intensité de lumière recommandée est de 200 lux au niveau des yeux des animaux. Les horaires d'obscurité n'étant pas toujours compatibles avec les heures de traite ou les sorties au pâturage, les jours courts peuvent être mimés à l'aide d'implants de mélatonine.

Chez les bovins, espèce à reproduction non saisonnière, le rôle de la photopériode sur la reproduction est moins marqué. Les bovins restent tout de même sensibles à la photopériode, des effets ont pu être observés sur la reprise de cyclicité post-partum. La luminosité du bâtiment doit aussi être suffisante pour assurer le bien-être des vaches et faciliter la détection des chaleurs par l'éleveur.

INFLUENCE SUR LA PRODUCTION LAITIÈRE

La production laitière caprine est influencée positivement par un accroissement de la photopériode en lactation (jours longs avec 16 h d'éclairage). Cette influence, évaluée expérimentalement, varie de +5 à +15 % après 2 semaines d'accoutumance à l'éclairage supplémentaire par rapport à une conduite en jours courts. Par contre, l'application de cette photopériode (jours longs) dès le tarissement et la fin de gestation est défavorable à la production laitière ultérieure par rapport à une application de jours courts (8 heures de jour en fin de gestation). Dans les conditions pratiques des élevages caprins français, il n'y a pas eu de mesure publiée de production laitière influencée par éclairage.

En lactation expérimentale, l'augmentation de la durée d'éclairage permet davantage de repas secondaires mais n'influence pas forcément la durée et l'intensité des 2 principaux repas, l'ingestion totale n'est donc pas toujours augmentée pour toutes les chèvres. La production laitière supplémentaire proviendrait donc davantage d'une modification du profil hormonal due à la durée d'éclairage qu'à l'ingestion. De fait, la perte d'état corporel est plus prononcée pour les chèvres subissant une photopériode longue, le cycle d'amaigrissement de début de lactation suivie d'un engraissement de fin est perturbé. Par conséquent, il n'est pas conseillé d'influencer artificiellement la durée du jour pour augmenter seulement la production laitière immédiate surtout s'il y a une interaction négative avec la maîtrise de la reproduction. La conduite des lactations très longues de fin de carrière est à étudier avec une photopériode longue et constante.

PROGRAMME LUMINEUX PRODUCTION

L'éclairage artificiel du bâtiment d'élevage permet de stimuler l'ingestion des animaux et donc d'augmenter les performances zootechniques (production laitière et gain de poids). Un programme d'éclairage du bâtiment de 150 à 200 lux, durant 16 heures par jour et avec 8 heures d'obscurité augmente de 6 à 15 % la production laitière en élevage bovin.

Pour utiliser l'éclairage à ces fins, il est nécessaire de prévoir un circuit de commandes des luminaires piloté par un programme lumineux (capteur de lumière, cellule photosensible, automatisme, pilotage par ordinateur, ...) qui gère la puissance et la durée du flux lumineux.

Le dimensionnement de l'éclairage d'un bâtiment d'élevage

Dans un bâtiment, il faut réfléchir à la **disposition des luminaires**. Le croisement des faisceaux de lumière est alors un facteur d'uniformité d'éclairement. Il est à considérer en fonction de la hauteur des luminaires dans le bâtiment (figure 2).

La répartition des luminaires est aussi dictée par l'emplacement des postes de travail. Il faut veiller par exemple à ne pas installer un luminaire dans l'axe du lactoduc en salle de traite.

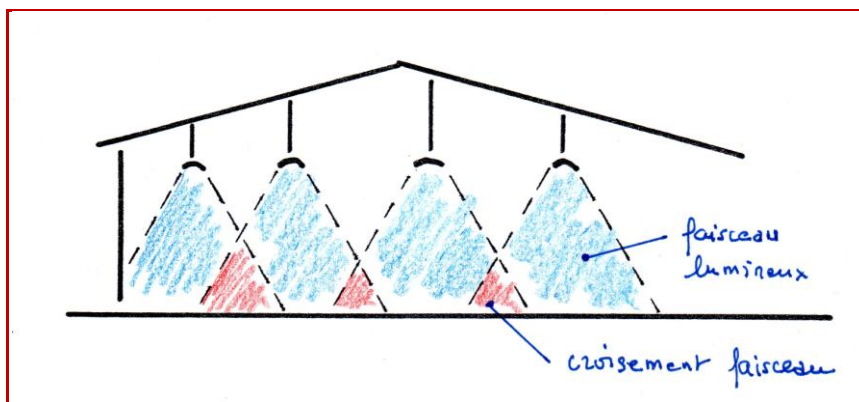
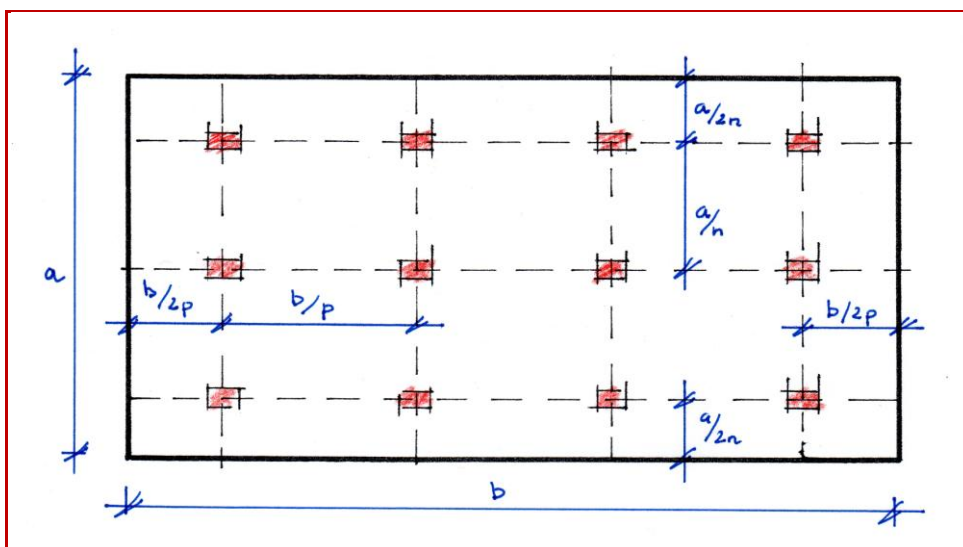


Figure 2 : Croisement des faisceaux lumineux facteur d'uniformité de l'éclairement

Le nombre de luminaires à installer dans un bâtiment est égal au flux lumineux total nécessaire divisé par le flux émis par 1 luminaire. La figure 3 décrit une méthode de répartition des luminaires dans un local.



Légende figure 3
a = largeur du local
b = longueur du local
n = rangées de luminaires
p = luminaires

Figure 3 : un exemple de répartition des luminaires dans un local

Les **éclairagements recommandés** diffèrent en fonction des usages du ou des bâtiments d'élevage. Pour certaines activités, un éclairage localisé est conseillé.

Pour les zones de circulation des animaux, il est nécessaire que les éclairages n'éblouissent pas les animaux pour faciliter leurs déplacements. Ainsi, sur le quai d'embarquement, l'éclairage doit être orienté vers le fond du camion pour que les animaux y montent plus facilement.

Le **tableau 1** donne la valeur de l'éclairage à retenir en fonction du local et de l'activité qui y est effectuée. L'éclairage s'exprime en lux.

Désignation	Activité	Eclairage général (lux)	Eclairage localisé (lux)
Logement des animaux	Zone de circulation : hommes, matériel, animaux	70/80	
	Aire paillée	20/50	
	Zone de soins, de vêlage, ...		150
	Boxes spécifiques (isolement, vêlage / adoption, cases à veaux, ...)		250
Salle de traite		100/150	150/200 (au niveau de la mamelle)
Laiterie	Général	300	
	Abords du tank		150
Fromagerie - atelier de transformation	Salle de fabrication	500	
	Salle de lavage		300
	Hâloir, séchoir, cave	100	
Local de préparation des aliments du bétail		200	
Hangar à récolte, grange, grenier	Circulation hommes, matériel	70	
	Triage de grains		150
Atelier, garage	Circulation hommes, matériel	70	
	Postes de travail (établi)		300/500
	Zone de travail à terre		250
Hangar, remise à outils		70	
Haras - manège		150/300	
Quai de chargement des animaux	Circulation	150	

Tableau 1 : Eclairagements recommandés en fonction du local et de l'activité

QUELQUES NOTIONS SUR LA VISION DES BOVINS

La forte sensibilité visuelle des bovins entraîne des phénomènes d'éblouissements par des lumières qui paraissent peu intenses pour la vision humaine. Il peut s'agir de vitres qui reflètent la lumière, d'un pont en inox d'une bétailière, ou tout simplement des rayons lumineux qui passent à travers une vitre. On peut observer ce phénomène dans des couloirs de contention éclairés latéralement par des fenêtres. Les rayons lumineux pénètrent dans la pièce et forment des carrés lumineux sur le sol. Les bovins ralentissent ou s'arrêtent dès qu'il faut " franchir " un de ces obstacles lumineux.

Tout **contraste** fait peur aux bovins. Ainsi le changement de luminosité entre deux pièces peut stopper les animaux.

Par conséquent, il faut manipuler les bovins à l'intérieur d'une pièce uniformément éclairée et dépourvue de reflets lumineux en obstruant les vitres reflétant le soleil. De même, les accessoires en inox devraient être peints en noir pour supprimer tout reflet.

Si la lumière ne les éblouit pas, les bovins ont toujours tendance à se déplacer vers l'endroit le mieux éclairé.

Cette observation a une application pratique : pour charger des bovins dans un camion, deux lampes placées au fond de la bétailière et sur le pont attirent les animaux à l'intérieur à condition qu'elles ne les éblouissent pas. Cette technique marche d'autant mieux que le chargement se fait dans des conditions de faible luminosité, avant le lever du jour par exemple.

Pour **dimensionner l'éclairage**, il est possible d'utiliser **l'équation 1** suivante pour une première approche. Bien que simplifiée, elle prend néanmoins en compte les points suivants : le coefficient de maintenance (fréquence de nettoyage), le coefficient dépendant des surfaces " lumineuses ou obscures " et l'indice d'ambiance.

Flux total à installer (en lumen) = éclairement nécessaire (en lux) x la surface à éclairer (en m²) x 1/Q pièce (réflexion des surfaces de murs) x 1/Q luminaire x 1/Q empoussièrément (équation 1)

Avec :

- Q/pièce = le facteur de réflexion des parois du local, variable en fonction du matériau et de sa couleur (**tableau 2**)

Matériaux	Facteur de réflexion de la lumière
Peinture grise	0,15 (gris foncé) à 0,65 (gris très clair)
Plâtre blanc	0,85
Ciment clair	0,40
Bois naturel	0,40
Brique rouge	0,20

Tableau 2 : Facteur de réflexion de la lumière de différents matériaux utilisés en bâtiments d'élevage

- Q luminaire = facteur de rendement du luminaire (données fabricant). Le rendement des luminaires couramment utilisés en élevage varie de 0,60 à 0,80
- Q empoussièrément = facteur de dépréciation du luminaire. Ce facteur oscille entre 1,3 à 1,6 en fonction de l'empoussièrément et de la fréquence du nettoyage du luminaire.

BESOIN D'AIDE ?

Les bureaux techniques, les fournisseurs et fabricants d'ampoules et de luminaires peuvent vous aider à dimensionner un projet d'éclairage de bâtiment d'élevage. Des logiciels permettant de réaliser ces calculs sont disponibles en ligne.

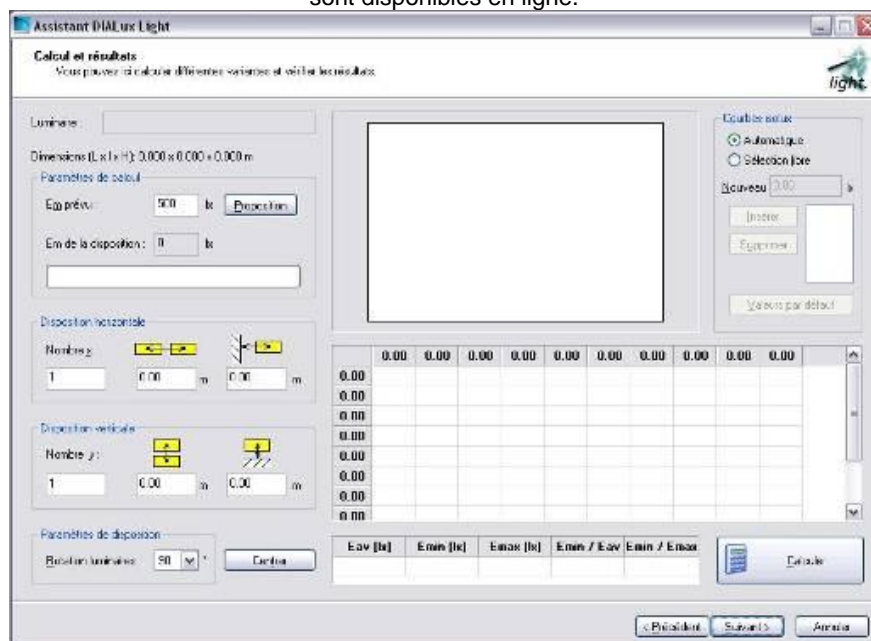


Illustration 1 : copie d'écran « Assistant DIALux Light

EXEMPLE 1 : CALCUL DU BESOIN EN ECLAIRAGE D'AMBIANCE D'UNE STABILATION

Prenons l'exemple d'un bâtiment d'élevage de 648 m² avec un couloir d'alimentation de 180 m², une aire paillée de 444 m² et une zone de vêlage de 24 m².

Les **besoins en éclairage** sont les suivants (tableau 2) :

- Pour le couloir d'alimentation : 80 lux
- Pour l'aire paillée : 30 lux
- Pour la zone de vêlage : 150 lux

Les **variables d'ajustement** ont les valeurs suivantes :

- *Q/pièce* (facteur de réflexion des parois du local) : bois naturel : 0,40 (tableau 1)
- *Q lumineaire* (facteur de rendement du luminaire, données fabricant) : 0,70
- *Q empoussièremment* (facteur de dépréciation du luminaire) : 1,30

D'après l'équation 1, le **flux total lumineux**, pour chacune des zones du bâtiment est égal à :

- Pour le couloir d'alimentation: $80 \text{ lux} \times 180 \text{ m}^2 \times 1/0,40 \times 1/0,70 \times 1/1,30 = 39\,560 \text{ lm}$
soit 5 à 6 luminaires double tube fluorescent 40 W de 7 600 lm

Il est nécessaire de connaître le flux lumineux exprimé en lumen (lm) de chaque luminaire à installer. Dans cet exemple, le flux lumineux du luminaire double tube fluorescent 40 W est de 7 600 lm.

- Pour l'aire paillée : $30 \text{ lux} \times 444 \text{ m}^2 \times 1/0,40 \times 1/0,70 \times 1/1,30 = 36\,568 \text{ lm}$
soit 5 luminaires double tube fluorescent 40 W de 7 600 lm

- Pour la zone de vêlage : $150 \times 24 \times 1/0,40 \times 1/0,70 \times 1/1,30 = 9\,720 \text{ lm}$
soit 1 luminaire double tube fluorescent 40 W de 7 600 lm (éclairage général de la zone), et 1 luminaire simple tube fluorescent 40 W de 3 800 lm (éclairage plus localisé d'une zone de travail, de rangement, ...).

EXEMPLE 2 : CALCUL DU BESOIN EN ECLAIRAGE D'UN BLOC TRAITE

Cet exemple est un bloc traite composé de d'une salle de traite de 60 m² et d'une laiterie de 20 m².

Les **besoins en éclairage** sont les suivants (tableau 2) :

- Pour la salle de traite : 150 lux
- Pour la laiterie : 300 lux

Les **variables d'ajustement** ont les valeurs suivantes :

- *Q/pièce* (facteur de réflexion des parois du local, tableau 1) :
Salle de traite : ciment clair : 0,40
Laiterie : blanc : 0,85
- *Q lumineaire* (facteur de rendement du luminaire, données fabricant) : 0,70
- *Q empoussièremment* (facteur de dépréciation du luminaire) : 1,30

D'après l'équation 1, le **flux total lumineux**, pour chacune des zones du bloc traite est égal à :

- Pour la salle de traite : $150 \text{ lux} \times 60 \text{ m}^2 \times 1/0,40 \times 1/0,70 \times 1/1,30 = 24\,707 \text{ lm}$
soit 2 luminaires double tube fluorescent 40 W de 7 600 lm et 3 luminaires simple tube fluorescent 40 W de 3 800 lm. La répartition des luminaires est à choisir en fonction des zones à éclairer sans négliger l'éclairage général du local.

- Pour la laiterie : $300 \text{ lux} \times 20 \text{ m}^2 \times 1/0,85 \times 1/0,70 \times 1/1,30 = 35\,964 \text{ lm}$
soit 5 luminaires double tube fluorescent 40 W de 7 600 lm
à répartir entre plafonnier et éclairage localisé du ou des postes de travail de la laiterie (lave-mains, nettoyage du tank, ...).

Le choix des sources de lumière

Le choix des sources de lumière doit être effectué en fonction :

- du niveau d'éclairage à obtenir;
- de la nature de l'activité exercée dans le local;
- des caractéristiques géométriques du local (en particulier sa hauteur), et de sa configuration (poteaux, zones d'ombre, ...);
- de la fréquence et de la durée des allumages;
- des coûts totaux prévisibles d'investissement et d'exploitation.

Les locaux d'élevage comportent un éclairage général et éventuellement un éclairage d'appoint localisé. Le niveau d'éclairage doit être adapté à la difficulté de la tâche visuelle de l'éleveur (**tableau 2**). Dans tous les cas, il faut éviter un contraste élevé entre la zone éclairée de travail et les zones environnantes pour éviter une fatigue visuelle importante.

BIEN CHOISIR UNE AMPOULE : TOUT EST ECRIT SUR L'EMBALLAGE

Pour choisir les ampoules (sources lumineuses), il ne faut plus raisonner uniquement au regard de la puissance exprimée en watt, mais utiliser aussi le flux lumineux exprimé en lumen (lm). L'efficacité lumineuse s'exprime en lumen par watt. Plus ce chiffre est grand, plus la lampe émet de lumière pour une même consommation électrique.

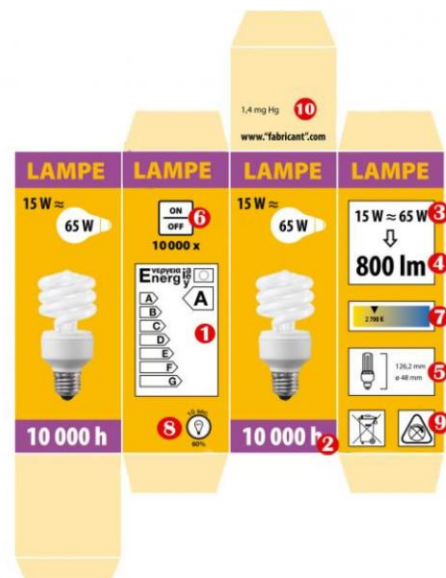


Illustration 2 : l'étiquetage précis sur l'emballage des ampoules

Sur l'emballage d'une ampoule sont indiqués (photo 1) :

- sa classe énergétique **1** (de A pour les plus sobres à G pour les plus gourmandes), sa durée de vie
- **2**, sa puissance
- **3** (en watts) et son flux lumineux **4** (en lumens).

S'ajoutent à ces informations, pour les ampoules fabriquées depuis le 1er septembre 2010 :

- les dimensions **5** ;
- le nombre de cycles d'allumage **6** ;
- la température de couleur **7** ;
- le temps de chauffage **8** ;
- la possibilité d'utilisation avec un variateur d'intensité et à l'extérieur **9** ;
- la quantité de mercure dans l'ampoule **10**.

Trois principaux types de sources lumineuses sont disponibles avec pour chacune d'elles des sous-catégories.

La lampe à incandescence (ampoule standard, lampe à halogène)

Elle produit de la lumière par l'incandescence d'un filament métallique. Dans ces lampes à incandescence, un filament de tungstène est porté à haute température (figure 4). Les lampes à halogène (figure 5), dont les lampes dichroïques, sont des lampes à incandescence améliorées en termes de durée de vie (2000 à 4000 h) et de rendement lumineux. Elles ont toutefois des performances bien moindres que des lampes à fluorescence.

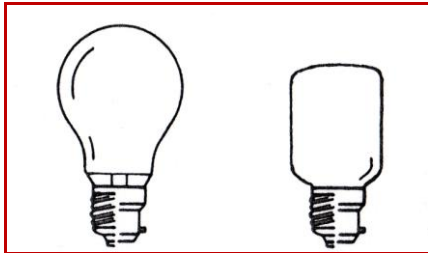


Figure 4 : Lampes à incandescence



Figure 5 : Lampes à halogène

La lampe à décharge (lampe fluocompacte, tube fluorescent, lampe à induction, lampe au sodium basse pression, lampe au sodium haute pression)

La lampe à décharge est constituée d'un tube ou d'une ampoule en verre rempli de gaz ou de vapeur métallique, sous haute ou basse pression, au travers duquel on fait passer un courant électrique ; il s'ensuit une production de photons donc de lumière. Après environ 12 000 heures d'utilisation, ils conservent plus de 90 % de leur flux lumineux. Les lampes à décharge (tubes fluorescents, lampes fluocompactes) consomment moins, sauf au démarrage, mais leur durée de vie sera réduite par une utilisation intermittente. Il ne faut donc pas les installer sur des détecteurs de présence ou avec un réglage particulier.

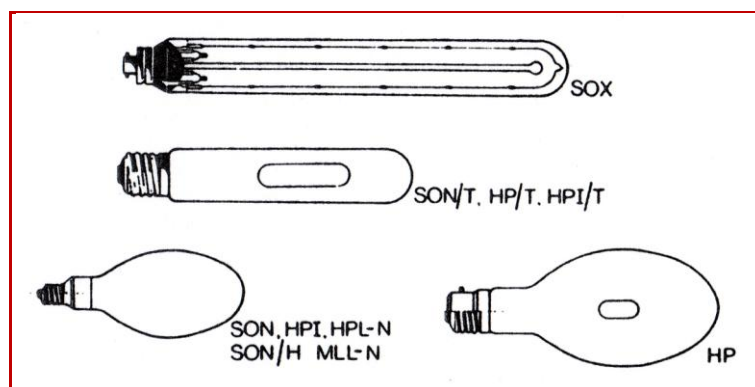


Figure 6 : Lampes à décharge (iodure métallique, sodium)

Les tubes fluorescents font partie des lampes à décharge, plus précisément des lampes à vapeur de mercure basse pression. Certains types de tubes, apparus sur le marché il y a plus de quarante ans (diamètre 38 mm), sont toujours disponibles. Aujourd'hui les tubes les plus couramment utilisés de diamètre 26 mm (T8) sont les tubes à haut-rendement. Ils répondent parfaitement aux niveaux de qualité et de performance requis pour une installation actuelle.

Les tubes fluorescents à haut rendement doivent être associés à des auxiliaires d'alimentation : ballasts (voir glossaire), starters, amorçeurs, disposés dans le luminaire. Deux choix existent : le système conventionnel (ballast ferromagnétique + starter + condensateur) ou le ballast électronique. Dans le cas d'une alimentation conventionnelle, il est possible d'utiliser un starter électronique, à la

place d'un starter conventionnel, ce qui permet d'améliorer la sécurité de l'installation et d'augmenter la durée de vie des lampes. Mais les gains d'exploitation et de maintenance réellement significatifs ne peuvent cependant être escomptés que par le remplacement de l'alimentation conventionnelle au profit d'une alimentation par ballast électronique.

Les luminaires avec ballasts électroniques coûtent plus cher à l'achat mais leurs performances permettent de réaliser d'importantes économies de consommation. Associé à un tube à haut rendement, un ballast électronique augmente de 50 % la durée de vie du tube et cette solution peut diviser les consommations par deux. Enfin, l'utilisation de tubes à haut rendement associés à des ballasts électroniques élimine totalement le « tremblement » de la lumière parfois ressenti (car le ballast électronique fonctionne en haute fréquence, à la différence du ballast standard).

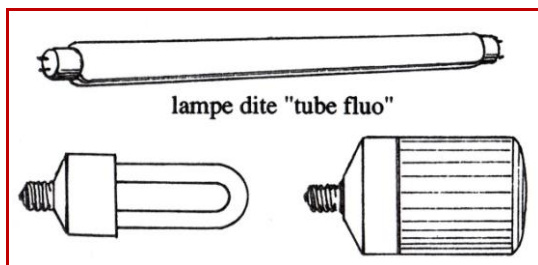


Figure 7 : Lampes à fluorescence



Photographie 2 : des tubes fluorescents éclairant une bergerie

Les lampes fluocompactes sont nées en 1980 d'une idée relativement simple : plier un tube fluorescent pour en faire une lampe adaptable sur des luminaires moins volumineux. Ces lampes offrent une efficacité lumineuse jusqu'à 5 fois supérieure à celle des lampes à incandescence, elles consomment de 4 à 5 fois moins et durent de 12 à 15 fois plus longtemps, ce qui permet de réduire les frais d'exploitation et d'espacer les opérations de maintenance. Elles sont désormais toutes équipées d'un ballast électronique intégré, pour réaliser des économies de consommation supplémentaires (20 %) et allonger la durée de vie de la lampe. Certaines peuvent fonctionner en courant continu et d'autres sont prévues pour des milieux basse température (-15°C), sans baisse du flux lumineux.

La lampe à vapeur de mercure est la lampe haute pression la plus ancienne, longtemps utilisée en éclairage public. Elle a été remplacée dans la majeure partie des utilisations par des lampes à iodures métalliques et des lampes à vapeur de sodium haute pression, pour des raisons environnementales, et pour améliorer le rendu des couleurs.

La lampe à induction fonctionne sur le principe d'une lampe à décharge (ionisation d'atome de gaz) mais sans électrode : le gaz s'illumine sous l'effet d'un champ magnétique (créé par une antenne) et d'une poudre fluorescente. La forme atypique de l'ampoule à induction maximise l'efficacité des champs magnétiques. L'utilisation du phosphore permet d'éviter toute présence de mercure.

La lampe à sodium basse pression se caractérise par un rayonnement quasi monochromatique orange.

La lampe à sodium haute pression produit jusqu'à 150 lm/W, selon un spectre de lumière plus large que celui des lampes à sodium basse pression. Elle a des utilisations comparables à celles des lampes à iodures métalliques, et est aussi utilisée pour l'éclairage public, et pour la photo assimilation artificielle dans la culture des plantes.

La lampe à iodure métallique produit une lumière presque blanche et atteint 100 lm/W. Elle est utilisée dans des grands volumes (parking, magasin, terrain de sport, ...). Elle nécessite un appareillage spécifique d'amorçage, généralement situé en dehors de la lampe. L'ensemble est assez encombrant.

La LED

LED est le sigle anglais pour Light Emitting Diode, traduit en français par le sigle DEL pour Diode Electro Luminescente, dans laquelle la création de photons se fait par un procédé électronique. Une diode électroluminescente est un composant électronique permettant la transformation de l'électricité en lumière. Ses principales applications sont par ordre d'importance en termes de marché : les appareils mobiles, les écrans, le secteur de l'automobile, l'éclairage et la signalisation.

Il est possible de classer les LED selon :

- leur spectre lumineux :
 - les LED de couleur : leur spectre est quasiment monochromatique;
 - les LED blanches : leur spectre est constitué de plusieurs longueurs d'ondes. La technologie la plus utilisée actuellement pour produire de la lumière blanche avec des LED consiste à ajouter une fine couche de phosphore dans une LED bleue.
- leur puissance : le principe de fonctionnement est identique, mais le champ d'application varie.
 - les LED de faible puissance c'est-à-dire inférieure à 1 Watt sont utilisées comme voyants lumineux sur les appareils électriques par exemple ;
 - les LED de forte puissance c'est-à-dire supérieure à 1 Watt supportent des courants plus importants (jusqu'à 1500 mA) et fournissent davantage de lumière (jusqu'à 135 lm/W).

Pour l'éclairage, on utilise des lampes constituées de plusieurs LED de forte puissance accolées.

Ce type de source lumineuse permet :

- au niveau de son utilisation : un allumage immédiat, l'installation de variateur, de faibles pertes de flux lumineux dans le temps, et présente un encombrement réduit ;
- au niveau technique : peu d'émission de chaleur, un fonctionnement possible en basse tension pour des zones humides, une durée de vie importante, et une insensibilité aux allumages répétés.

De nombreux développements sont en cours, les principales évolutions concerneront la qualité, la quantité et les performances de ces produits.

Chaque type de lampe a des propriétés spécifiques, une efficacité, une longévité et un entretien particulier ainsi qu'un coût d'achat et d'utilisation variable (**tableau 3**). Ces facteurs doivent être pris en compte lors du choix de l'éclairage. L'efficacité lumineuse permet de choisir une solution à la fois performante pour l'éclairage et aussi économe en consommation d'énergie.

Tableau 3 : Les principales sources lumineuses destinées à l'éclairage

	Lampe à incandescence		Lampes à décharge						LED de forte puissance
	Lampe à incandescence	Halogène à haute efficacité	Lampe fluo compacte	Tube fluorescent haut rendement (T8)	Lampe à induction	Lampe au sodium basse pression	Lampe à iode métallique	Lampe au sodium haute pression	
Flux lumineux (Lm)	220 à 1420		100 à 1 800	1 350 à 7 000	3 500 à 12 000	1 300 à 32 000	5 900 à 189 000	1 300 à 130 000	12 à 100
Puissance (W)	25 à 100	13 à 150	3 à 23	14 à 80	55 à 165	35 à 1 000	70 à 2 000	35 à 1 000	0,2 à 5 (pour 1 led)
Efficacité lumineuse (lm/W)	10 à 15	15 à 24	20 à 32	44 à 70			50 à 80	50 à 150	60 à 250
Durée de vie (h)	1 000	2 000 à 4 000	4 000 à 15 000	8 000 à 20 000	60 000	16 000	10 000 à 18 000	12 000 à 25 000	50 000
Usage	Eclairage domestique, éclairage à forte intermittence	Eclairage domestique, éclairage général indirect	Eclairage domestique, circulations communes, bureaux, Intérieur ou extérieur	Secteur tertiaire bureaux, grands volumes, ateliers, industries	Emplacement où la maintenance est difficile, situations isolées car peu d'entretien	Eclairage urbain	Eclairage urbain quantité de lumière importante, il faut être loin de la zone à éclairer.	Eclairage architectural et urbain Lumière jaune	Balisage, éclairage urbain, éclairage domestique
Adapté aux bâtiments agricoles	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui
Rendu des couleurs	Excellent	Bon	Bon à excellent	Bon à excellent	Bon	Médiocre	Bon	Médiocre	Bon à excellent
Hauteur de fixation par rapport au sol du bâtiment	3 m et moins	3 m et moins	3 m et moins	3 m et moins	Plus de 5 m	Plus de 5 m	Plus de 5 m	Plus de 5 m	Plus/moins de 3 m
Economie d'énergie (par rapport lampe à incandescence)	0	30 à 40 %	80 %	30 à 40 %	70 à 80 %	Non évalué	35 à 45 %	60 à 75 %	80 à 90 %
Coût de la lampe	€	€€	€€ à €€€	€€	€€€	€€€	€€€	€€€ à €€€€	€€€€
Recyclage	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui

La conformité technique et les normes du matériel électrique

Tous les matériels de l'installation électrique destinés à la commande, à la protection ou au raccordement doivent être :

- compatibles avec la puissance des appareils qui seront raccordés ;
- adaptés aux risques particuliers (poussières, liquides, chocs) à l'emplacement où ils sont installés.

Les luminaires doivent ainsi être conformes aux normes des séries NF-C 15100 et NF-EN 60598. Pour assurer le niveau de sécurité souhaité, les luminaires doivent comporter les protections nécessaires aux contraintes de l'environnement. Ces contraintes dépendent du local et de l'emplacement du luminaire. Dans la plupart des locaux d'élevage d'une exploitation agricole, un matériel de degré de protection IP 55 et IK 07 est nécessaire.

DEFINITION DES INDICES DE PROTECTION (IP)

- **IP 00**

Le 1^{er} chiffre correspond à la protection contre les poussières. Il varie de 0 (pas de protection contre les poussières) à 5 (protégé contre les poussières).

Le 2nd chiffre correspond à la protection contre les liquides. Il va de 0 (pas de protection contre les liquides) à 8 (protégé contre les effets prolongés à l'immersion sous pression).

- **IK 00**

Cet indice se réfère à la protection mécanique. Il varie de 00 (pas de protection) à 10 (résistance à une énergie de choc de 20 J).

Cas d'un luminaire IP 55 et IK 07 adapté aux locaux d'élevage

IP indice de protection contre les corps solides de 5 : ce luminaire est protégé contre la poussière ; et indice de protection contre les liquides de 5 : ce luminaire est protégé contre les jets d'eau dans toutes les directions.

IK protection mécanique de 07 : ce luminaire possède une résistance à une énergie de choc de 2 Joules.

Le choix du luminaire (conformité technique – normes)

Le choix d'un luminaire dépend de la nature de la source (lampe), du type d'activité exercée à proximité et de la hauteur d'accrochage. Selon sa forme, il permet de répartir la lumière suivant les besoins (lumière directe, indirecte, mixte ou semi-directe). Par ailleurs, il est possible de concentrer la lumière par l'emploi de réflecteurs ou au contraire de la rendre plus diffuse.

Concernant la conformité technique, il est rappelé que :

- les douilles à baïonnettes métalliques sont interdites dans les locaux humides ou conducteurs ;
- les douilles à vis doivent être d'un modèle pour lequel les parties conductrices du culot sont inaccessibles dès qu'elles sont sous tension ;
- les appareils d'éclairage doivent être fixés aux parois et non accrochés aux conducteurs ;
- les rails supports de spots ou de luminaires font l'objet de la norme NF EN 60570 classement C 71-112. Leur montage doit être effectué selon les indications du constructeur et avec les accessoires de pose et de raccordement préconisés par lui ;
- les lampes nues suspendues à bout de fil sont interdites ;
- les baladeuses sont visées par la norme NF EN 60598-2-8 classement C 71-008+A1 et font l'objet de la marque NF-USE. Elles doivent présenter les degrés IP44.
- toutes les parties métalliques accessibles et normalement hors-tension doivent être connectées aux conducteurs de protection.

Le **tableau 4** indique pour quels locaux ou emplois, il est nécessaire de respecter certaines règles ou normes dans le choix et l'emploi des luminaires.

Lieu	Recommandations concernant le luminaire
Enceintes très conductrices (cuves, chaudières, fosses de garage...)	Admis : les baladeuses alimentées en très basse tension (moins de 50 volts) par un transformateur de sécurité (norme NF EN 61558-2-6 classement C 52-558-2-6), de classe II, placé hors de l'enceinte, et les lampes portatives à piles ou à batteries. Interdit : toutes autres baladeuses alimentées en 230 volts.
Atelier de transformation ou fabrication à la ferme)	Recommandées : les lampes tubulaires fluorescentes. Conseillés : <ul style="list-style-type: none"> • Dans les locaux où sont traités des aliments ou des produits destinés à la consommation, les lampes doivent être protégées par des vasques pour éviter le bris et la chute des morceaux de verre. • Dans les endroits où l'on est susceptible d'utiliser des machines tournantes, il est souhaitable d'installer des appareils duo-compensés pour éliminer l'effet stroboscopique ou "papillotement" (risques d'accidents), à moins qu'il ne soit fait usage de ballasts électroniques à haute fréquence ou de luminaires à trois tubes alimentés en triphasé.
Sanitaires	Obligations réglementaires : dans les locaux de douche (figure 8), aucun appareil d'éclairage ne doit être installé à moins de 2,25 m au-dessus du bac à douche (volume 1). À moins de 0,60 m horizontalement du bac à douche (volume 2), les appareils d'éclairage doivent être de classe II et protégés contre les projections d'eau.
En extérieur	Recommandé : un ensemble optique mécanique et électrique normalisé NF EN 60598 et NFC 17-200 et d'indice de protection (au minimum IP44, conseillé IP55). Le degré d'étanchéité est important car il indique le maintien dans le temps des performances photométriques du luminaire, et donc permet d'évaluer la maintenance à prévoir (dépoussiérage, nettoyage pour conserver la totalité du flux lumineux).

Tableau 4 : Recommandations concernant le choix d'un luminaire en fonction de son lieu d'installation

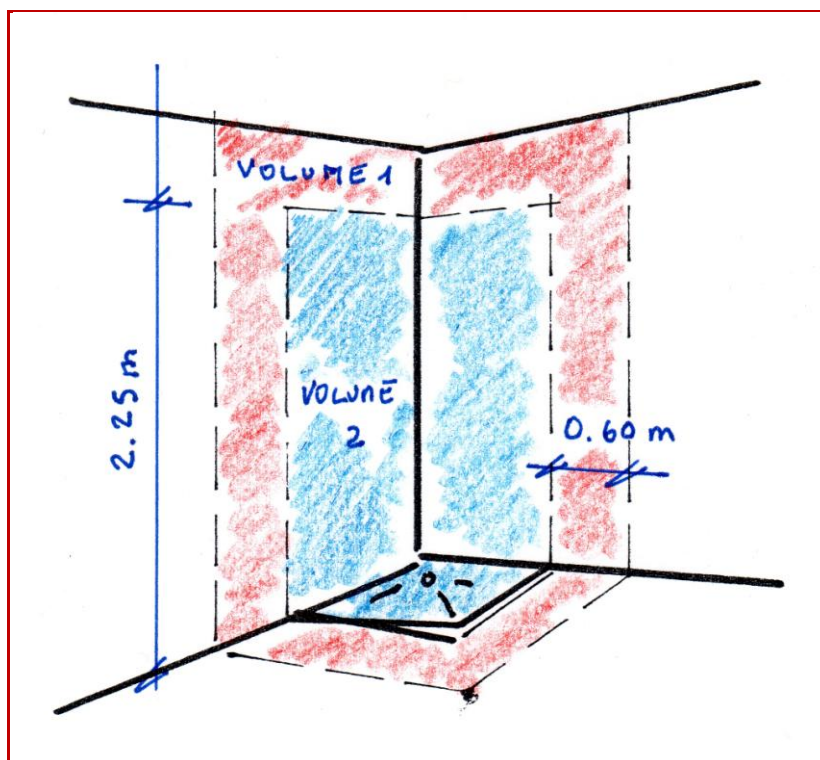


Figure 8 : Représentation des volumes 1 et 2 autour d'une installation de douche

L'entretien des luminaires

Un entretien périodique de l'installation d'éclairage est à effectuer pour lui conserver toute son efficacité (puissance lumineuse, qualité de lumière, ...). Cet entretien est à prévoir au minimum tous les ans et tous les 6 mois dans des locaux poussiéreux. Cela consiste à nettoyer les luminaires (parties intérieures et extérieures), et à changer les lampes et condensateurs (tenir un cahier permet de planifier ce renouvellement). Pour effectuer cette tâche, il est nécessaire de pouvoir isoler électriquement le matériel en maintenance. Attention ! Une lampe à une durée de vie limitée. Elle doit donc être accessible facilement et en toute sécurité pour pouvoir être remplacée.

Les commandes : interrupteurs, automatismes, télécommandes,

Lors de la conception ou la rénovation d'un bâtiment d'élevage, un plan de l'installation électrique doit être réalisé (figure 8). Il permet de préciser la localisation des points lumineux, leurs types, les commandes nécessaires. Il décrit aussi l'emplacement des prises électriques, des alimentations des équipements. A partir de ces éléments la répartition du câblage électrique est défini depuis le tableau de répartition jusqu'aux différents appareils.

Pour commander un ou des points lumineux, plusieurs solutions sont disponibles : un simple interrupteur (un seul point de commande), un interrupteur à va-et-vient (deux points de commande), des boutons poussoirs (plus de deux points de commande) éventuellement modulables, ou des télécommandes. Il existe aussi plusieurs types de commande automatique ou programmée : détecteur de présence, minuterie, cellules photoélectriques (par zone ou par groupe de zones) permettant de mesurer et de compenser (en tout ou rien ou en progressif) les variations de la lumière naturelle. La mise en place de détecteurs de présence, la gradation en fonction de l'éclairage naturel permet des réductions de consommation d'énergie de 30 à 40 % par rapport à des luminaires non équipés de tels systèmes.

Le recyclage des lampes

Les lampes recyclables sont :

- Les tubes fluorescents ;
- Les lampes fluocompactes avec ou sans ballast ;
- Les lampes au sodium basse et haute pression ;
- Les lampes à vapeur de mercure ;
- Les lampes à iodure métallique.

Elles portent le marquage « poubelle barrée », cela signifie qu'elles doivent faire l'objet de collecte sélective. Elles ne doivent pas être déposées dans les bacs de collecte de « spécial verre » car cela rend le recyclage du verre ménager plus difficile, mais doivent être ramenées aux distributeurs (marchands de matériaux, magasins de bricolage, grandes surfaces) ou à une déchetterie spécialisée.

Les lampes non recyclables sont :

- Les lampes à incandescence
- Les halogènes

Ces lampes non recyclables doivent être jetées dans les poubelles avec les déchets ménagers.

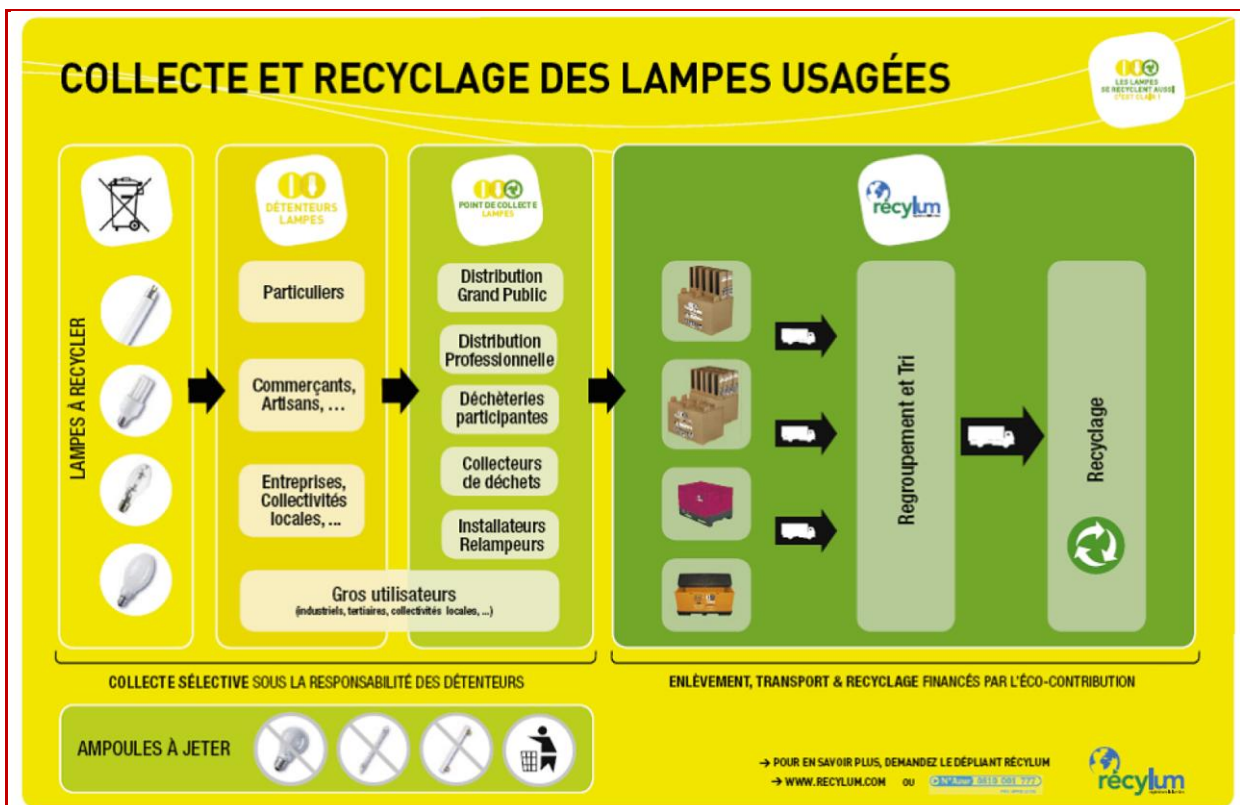


Illustration 3 : Collecte et recyclage des lampes usagées – www.recylum.com

Glossaire

Le flux lumineux (en lumens, lm)

C'est la quantité d'énergie émise par une source sous forme de rayonnement visible dans toutes les directions, par unité de temps. Le flux lumineux exprime en lumens (lm) la quantité de lumière émise par la lampe. D'une façon pratique, il faut oublier le watt et raisonner en lumen.

1 lux est l'éclairement d'une surface qui reçoit un flux lumineux, uniformément réparti, de 1 lumen (lm) par m².

L'efficacité lumineuse (en lumens par Watt, lm/W)

L'efficacité lumineuse (figure 9) exprime le rendement énergétique d'un équipement d'éclairage, c'est-à-dire le rapport entre un flux lumineux produit (exprimé en lm) et la puissance électrique absorbée exprimée en Watt (W). Il faut distinguer trois efficacités lumineuses, suivant que l'on tient compte :

- de la source lumineuse seule,
- de la source lumineuse et de son alimentation électrique (transformateur, redresseur, ballast...),
- de la source lumineuse, de son alimentation électrique et des pertes optiques de l'installation (diffuseur, réflecteur...).

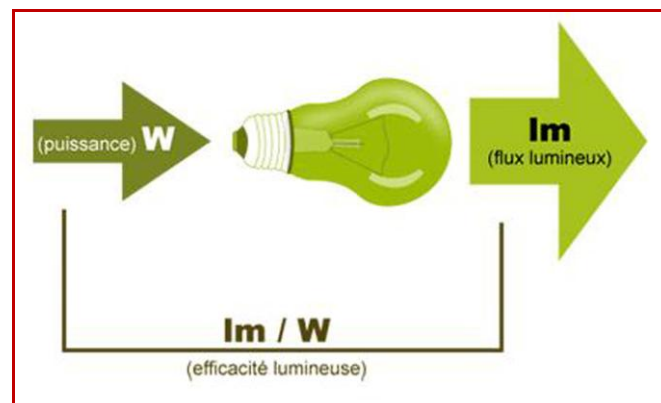


Figure 9 : Les différents éléments influençant l'efficacité lumineuse.

La température de couleur d'une source lumineuse et l'indice de rendu des couleurs

La température de couleur d'une source lumineuse est la couleur apparente émise par celle-ci. Elle s'exprime en degrés Kelvin (0 K = -273°C). Les lumières de teintes « chaudes » tirent sur le jaune-rouge et ont une température de couleur inférieure à 3 000 K (2 000 à 2 900 K pour les lumières à incandescence). Les lumières de teintes « froides » tirent sur le bleu-violet et ont une température de couleur comprise entre 5 000 et 10 000 K (6 500 K pour les sources de teinte dite "lumière du jour"). Les températures chaudes sont plutôt des éclairages adaptées aux usages généraux et d'ambiance. Les températures froides sont plutôt à utiliser pour les zones de travail notamment de précision.

L'indice de rendu des couleurs IRC, compris entre 0 et 100 (en %), définit l'aptitude d'une source lumineuse à restituer les différentes couleurs des objets qu'elle éclaire, par rapport à une source de référence. La lumière solaire a un IRC de 100, tandis que des lampes à vapeur de sodium basse pression ont un IRC de 20 (correspond à une lumière jaune souvent utilisée en éclairage routier). Dans les ateliers ou les zones de travail de précision, l'IRC devrait toujours être supérieur à 80, cela permet un rendu des couleurs plus proche de la lumière du jour.

Puissance (en Watt)

C'est l'unité de puissance électrique qui correspond à la quantité d'énergie absorbée par une lampe (ou le watt est transformé en lumen) par unité de temps.

Energie (en Watt Heure)

L'énergie absorbée par une lampe s'exprime en Joules (J) ou en Watt Heure (Wh) avec $3600 \text{ J} = 1 \text{ Wh}$.

Ballast

Le terme de ballast désigne un composant électrique utilisé pour réduire le courant dans un circuit électrique. Dans un tube fluorescent, le rôle du ballast est double: il permet de fournir la haute tension nécessaire à l'allumage du tube puis, une fois le tube allumé, il permet de limiter le courant le traversant.

Un ballast électronique utilise un circuit à semi-conducteur afin de fournir un démarrage plus rapide tout en pouvant alimenter plusieurs lampes. En général, les ballasts électroniques augmentent la fréquence de travail à 20kHz ou plus afin d'éliminer les clignotements à 100 ou 120Hz (deux fois la fréquence d'alimentation). De plus, le rendement des lampes fluorescentes augmente de 9% aux environs des 10kHz puis continue à augmenter lentement jusqu'à 20kHz. L'augmentation de la fréquence permet donc d'augmenter le rendement énergétique de l'ensemble lampe-ballast.

Le ballast électronique remplace l'ensemble ballast conventionnel, starter et condensateur.



Photographie 3 : un exemple de répartition de luminaires dans un bâtiment d'élevage

Pour en savoir plus

Sites internet

ADEME, www.ademe.fr

Association française de l'éclairage : www.afe-eclairage.com

CSTB : www.cstb.fr

Enertech : www.enertech.fr

Promotelec : www.promotelec.com

Collecte et recyclage des lampes usagées : www.recyclum.com

Syndicat de l'éclairage : www.syndicat-eclairage.com

Sites internet des entreprises fabricants des ampoules (Erco, GE Lighting, OSRAM, Philips, Sylvania, Thorn, Thomson Lighting, ...).

Logiciels rassemblant les performances de leurs équipements afin de dimensionner au mieux un projet. : Dialux ; Calculux.

Sélecteur d'ampoule, un outil pour sélectionner l'ampoule basse consommation d'énergie : http://ec.europa.eu/energy/lumen/wizard/index_fr.htm

Normes et réglementations

Normes françaises concernant les installations électriques à basse tension - NF C15-100 de décembre 2002, mise à jour de juin 2005.

Normes européenne EN 12-464 relative à l'éclairage des lieux de travail

Code du travail et décrets de 1983 fixent les règles relatives à l'éclairage concernant les lieux de travail. Il s'agit d'un éclairage minimum pour des raisons de sécurité.

Publications généralistes

Eclairage, disparition programmée des lampes « énergivores », article en ligne : <http://ecocitoyens.ademe.fr/mes-achats/bien-acheter/eclairage>.

L'éclairage performant, ADEME.

Eclairer juste, ADEME / Syndicat de l'éclairage.

Les lampes à économies d'énergie, ADEME / Syndicat de l'énergie.

Guide de l'éclairage intérieur des lieux de travail, AFE.

L'éclairage industriel Syndicat de l'éclairage, ADEME, 2004.

L'éclairage économe et performant des locaux industriels et tertiaires ATEE et IFE.

Dictobat, dictionnaire général du bâtiment, J. de Vigan.

URE Bâtiment : Guide d'audit énergétique des bâtiment 1999 – chapitre 9 Eclairage – document en ligne sur le site de l'ADEME.

Publications en lien avec le bâtiment agricole

Eclairage en bâtiment d'élevage, Chambre d'agriculture du Nord-Pas de Calais et Picardie, 2012, 4 pages.

L'éclairage des étables laitières, Direction régionale du MAPAQ, Quebec Canada, 2005.

Fiches techniques génie hippique : Eclairage d'une carrière ; Eclairage d'un manège ; Eclairage d'un box ; Les Haras Nationaux, 2005.

Revue « Les cahiers techniques du bâtiment », dossier « Bâtiments agricoles », n°246, octobre 2004.

Collection : L'Essentiel

Document rédigé par : Jean-Yves Blanchin

Avec les avis de : Philippe Brunschwig, Jacques Capdeville, Audrey Chanvallon, Vincent Corbet, Jean Legarto, Jean-Baptiste Dollé, Marie-Catherine Leclerc, Jean-Luc Menard, Stéphane Mille de l'Institut de l'Elevage.

Mise en page : Jean-Yves Blanchin

Crédits photos : Rémi Leconte MRE PACA, Denis Gautier Institut de l'Elevage

Edité par : Institut de l'Elevage

Dépôt légal : 2^e trimestre 2012 - Tous droits réservés à l'Institut de l'Élevage

Juin 2012 / Réf : 001133013 / ISBN 978-2-36343-277-3

