

Étude de cas

LES LED DANS L'ÉCLAIRAGE HORTICOLE : ÉVALUATION DE L'EXPOSITION DES SALARIÉS AUX RAYONNEMENTS OPTIQUES

ANNICK
BARLIER-
SALSI
INRS,
département
Ingénierie des
équipements
de travail

→ **LA PROBLÉMATIQUE:** la production de tomates hors saison nécessite de compléter l'éclairage naturel des serres par un éclairage artificiel. En période hivernale notamment, l'éclairage artificiel est en service toute la journée et donc, pendant l'intervention des salariés affectés à diverses tâches telles que la récolte, le soin des plants ou le travail au sol. Aujourd'hui, la technologie « led » (de l'anglais *light emitting diode* ou diode électroluminescente) remplace avantageusement les lampes au sodium et des luminaires, essentiellement constitués de led colorées rouges et bleues, sont développés spécifiquement pour l'éclairage horticole. La présence, sur son secteur, de serres ainsi équipées a conduit la Carsat de Bretagne à solliciter l'INRS pour évaluer l'exposition des salariés aux rayonnements optiques artificiels (ROA) émis par ces rampes d'éclairage. Les rayonnements optiques comprennent l'ultraviolet, le visible et l'infrarouge. Selon leur longueur d'onde, leur intensité et les conditions d'exposition, ils peuvent avoir des effets nocifs sur les yeux et sur la peau. Afin de protéger les salariés, la réglementation fixe des seuils d'exposition au travers du Code du travail (cf. Encadré 1). De plus, le marquage CE des lampes (y compris les led) est réglementé par la directive basse tension n° 2014/35 CE [1] qui prend en compte la sécurité photobiologique au travers de différentes normes harmonisées (cf. Encadré 2). Dans le cas de l'éclairage horticole, les led utilisées émettent uniquement du rayonnement visible. C'est pourquoi, seuls les effets photochimiques sur la rétine sont à prendre en compte dans l'évaluation des risques.

→ LA RÉPONSE DE L'INRS:

Conditions d'exposition

Dans les serres, les lignes de plants sont éclairées en partie haute par des rampes de led dont les faisceaux lumineux sont dirigés vers le bas et latéralement par des rampes disposées à des niveaux

intermédiaires (Cf. Figure 1). Il s'agit de lampes Philips GreenPowerLed modèles Toplighting et Interlighting. Les rampes sont constituées essentiellement de led rouges et de quelques led bleues ou blanches selon les modèles. Leurs caractéristiques sont détaillées dans la figure 2.

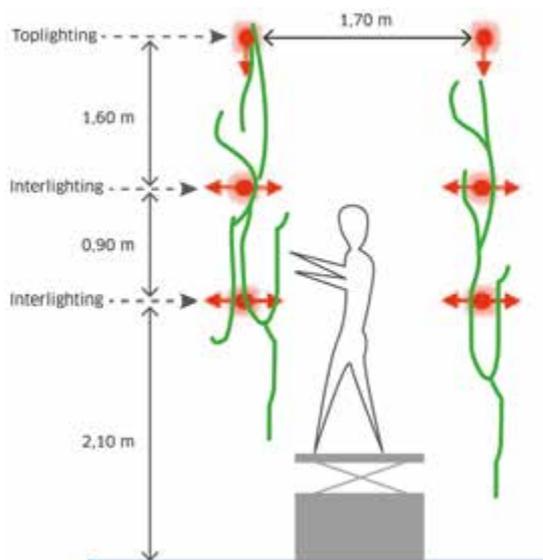
L'entreprise met à la disposition des salariés des lunettes de protection adaptées spécifiquement à l'éclairage horticole.

Détermination des niveaux d'exposition

Afin de maîtriser les conditions de mesure (facilité d'accès aux sources lumineuses pour les mesures à courte distance, limitation des perturbations dues à l'environnement lumineux...), l'INRS a réalisé les tests en laboratoire sur les trois types de luminaires (puissances et modèles différents) mis à disposition par l'entreprise.

La grandeur à déterminer pour évaluer le risque rétinien est la luminance énergétique efficace L_b , qui prend en compte la courbe d'action de la lumière bleue sur la rétine $B(\lambda)$. Pour chacune des configurations étudiées, L_b a été déduite de la luminance énergétique spectrique L_λ mesurée entre 300 et 700 nm à l'aide d'un spectroradiomètre Minolta CS1000. Cette mesure a été complétée par un relevé de la luminance lumineuse, au moyen d'un vidéophotomètre Techno Team LMK 98.

Toutes les mesures ont été réalisées dans l'axe d'émission des lampes à différentes distances. Quel que soit le référentiel utilisé pour évaluer les risques (cf. Encadré 1), L_b doit être déterminé avec un angle d'admission, et par conséquent un diamètre de la surface visée sur la source, qui varie entre en fonction de la durée d'exposition. (cf. Encadré 3) Ainsi selon la distance et l'angle de mesure, le diamètre de la surface visée peut dépasser le diamètre de la source ; la valeur de L_b est alors inférieure à la luminance L_b propre de la source, puisque moyennée sur une surface plus importante (cf. Figure de l'encadré 3).



↑ FIGURE 1 Disposition des rampes de led dans les lignes de plants.

Groupes de risque selon la norme NF EN62471 [3]

La classification des différentes led en groupes de risque a été déterminée conformément à la norme NF EN62471. Les résultats présentés dans le tableau I montrent que:

- Les led bleues équipant les rampes Toplighting sont en GR 2 et celles équipant les rampes Interlighting sont en GR 0;
- Toutes les led rouges sont en GR 0;
- La led blanche est en GR 1.

Ces résultats sont conformes aux valeurs annoncées dans la notice du fabricant (cf. Figure 3), excepté pour la led blanche, annoncée en GR 0. Il a été observé que la led blanche est à la limite des groupes GR 0 – GR 1 (cf. Tableau 1). Toutefois, l'écart par rapport à la valeur limite d'exposition (VLE) est inférieur à 5%. Sachant que les incertitudes liées aux mesures sont supérieures à 5%, le classement en GR 0 annoncé par le fabricant n'est donc pas à remettre en cause.

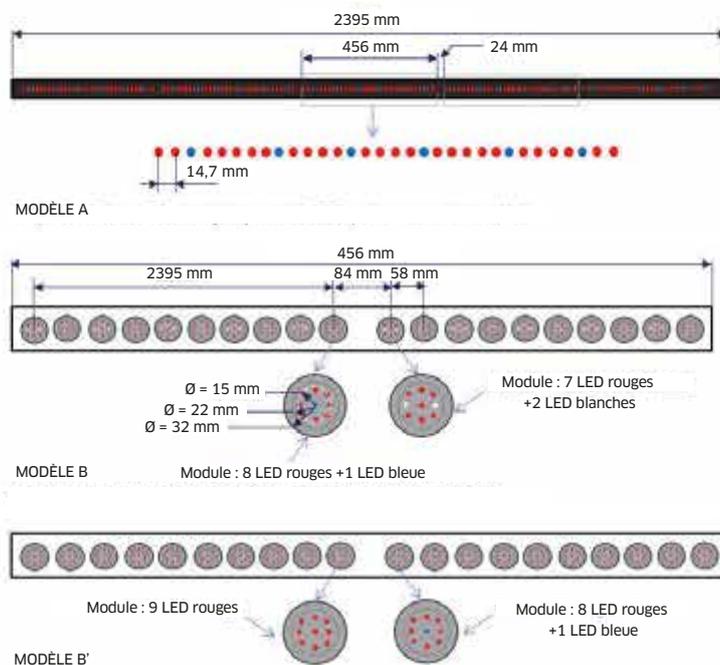
ENCADRÉ 1 LIMITES D'EXPOSITION POUR LE RISQUE PAR EFFET PHOTOCHIMIQUE SUR LA RÉTINE

CODE DU TRAVAIL

La directive européenne n° 2006/25/CE [2], transposée dans le Code du travail (articles R. 4452-1 à R. 4452-31), définit les grandeurs à déterminer dans les différents domaines du spectre et fixe les valeurs limites d'exposition (VLE) associées. Pour le risque rétinien, la grandeur à déterminer est la luminance énergétique efficace L_b de la source qui prend en compte la courbe d'action de la lumière bleue sur la rétine $B(\lambda)$ entre 300 et 700 nm.

L_b ne doit pas dépasser les VLE suivantes:

- $10^6/t \text{ W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$ lorsque la durée d'exposition journalière t est inférieure à 10 000 s (environ 2h 3/4);
- $100 \text{ W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}$ lorsque la durée d'exposition journalière t est supérieure à 10 000 s.



↑ FIGURE 2 Caractéristiques des rampes de led.
Modèle A : Philips GreenPowerLED, interlighting module DR/B, puissance nominale 105 W.
Modèles B (nouveau modèle) et B' (ancien modèle) : Philips GreenPowerLED, Toplighting, puissance nominale 195 W.

Angle d'admission (rad)	Diamètre de la zone visée (mm)	$L_b \text{ (W.m}^{-2}.\text{sr}^{-1}\text{)}$							VLE
		Toplighting Ancien		Toplighting Nouveau			Interlighting		
		Led bleue	Led rouge	Led bleue	Led rouge	Led blanche	Led bleue	Led rouge	
0,0017	0,3	3,43E+04	6,97E+01	5,11E+04	1,12E+02	1,22E+04	8,33E+03	7,25E+01	4,00E+06
0,0110	2,2	2,59E+04	4,44E+01	3,68E+04	7,14E+01	8,64E+03	4,51E+03	3,61E+01	1,00E+04
0,1000	20,0	3,13E+02	5,36E-01	4,44E+02	8,62E-01	1,04E+02	5,45E+01	4,36E-01	1,00E+02
Groupe de risque (GR)		2	0	2	0	1	0	0	

↑ TABLEAU 1 Résultats de la classification en groupes de risque, selon la norme NF EN 62471 pour une distance de mesure égale à 0,20 m.

Distance d'observation (m)	Diamètre de la zone visée (mm)	L_b (W.m ² .sr ⁻¹)			VLE
		Toptlighting Ancien	Toptlighting Nouveau		
		Module 8 led rouges + 1 led bleue	Module 8 led rouges + 1 led bleue	Module 7 led rouges + 2 led blanches	
0,20	22,0	558	695	421	100
0,30	33,0	248	309	187	
0,40	44,0	140	174	105	
0,45	49,5	110	137	83	
0,50	55,1	89	111	67	
0,60	66,1	62	77	47	
0,70	77,1	46	57	34	
0,80	88,1	35	43	26	

↑ TABLEAU 2 Valeurs de L_b correspondant à une durée d'observation supérieure à 10 000 s (et donc à un angle d'admission égal à 0,110 rad).

Évaluation des risques selon la directive n° 2006/25/CE

La classification en groupes de risque a mis en évidence que l'ensemble des led rouges (tous modèles de rampes confondus) et les led bleues montées sur les rampes Interlighting ne présentaient pas de risque. C'est pour cette raison que seules les led bleues et blanches montées sur les rampes Toptlighting ont été prises en compte dans l'évaluation des risques selon la directive.

Pour des durées d'exposition supérieures à 10000s et des distances comprises entre 0,20 m et 0,80m, le diamètre des zones visées est compris entre 22 et 88 mm. La dimension minimale de ces zones correspond alors à l'observation d'un module complet. Les résultats du tableau 2, relatifs à ces conditions d'observation, montrent que pour des durées d'observation supérieures à 10 000 s, les valeurs de L_b dépassent la VLE lorsque les distances d'observation sont inférieures à 0,60 m pour le module avec led bleue de la rampe Toptlighting nouveau modèle, à 0,50 m pour le module avec led bleue de la rampe Toptlighting ancien modèle et à 0,45 m pour le module avec led blanches de la rampe Toptlighting nouveau modèle. Puisque les VLE sont dépassées dans les conditions décrites précédem-

ment (durée d'observation=10000 s), les durées maximales d'expositions journalières ont été déterminées avec un angle d'admission de 0,011 rad correspondant aux durées d'observation inférieures à 100 s, sur les led seules puisque dans ces conditions, la taille de zone observée est inférieure à la taille d'un module. Les résultats dans cette configuration sont donnés au tableau 3. Il ressort que pour la led blanche, la durée maximale d'exposition est toujours supérieure à 100 s. En revanche, pour les led bleues des rampes Toptlighting, ces durées sont inférieures à 100 s dès que la distance d'observation est inférieure à 0,50 m.

Pour ce qui concerne le module Toptlighting comprenant deux led blanches, l'analyse ne permet pas de calculer la durée maximale d'exposition. Les mesures montrent que la durée admissible est supérieure à 100 s avec mesure sur une led blanche seule, à 10 000 s pour des distances d'observation supérieures 0,45 m avec mesure sur le module complet. En effet, le fait que l'angle d'admission soit lié à la fois à la distance et à la durée d'observation conduit à observer selon les cas, totalement ou partiellement, une ou deux led. Une telle étude de cas nécessiterait donc de réaliser une multitude de mesures pour couvrir toutes ces configurations.

Distance d'observation (m)	Diamètre de zone observée (mm)	Durée maximale d'exposition journalière (s)		
		Toptlighting Ancien	Toptlighting Nouveau	
		Led bleue	Led bleue	Led blanches
0,20	2,2	38	27	> 100
0,30	3,3	61	44	> 100
0,40	4,4	97	70	> 100
0,50	5,5	> 100	> 100	> 100

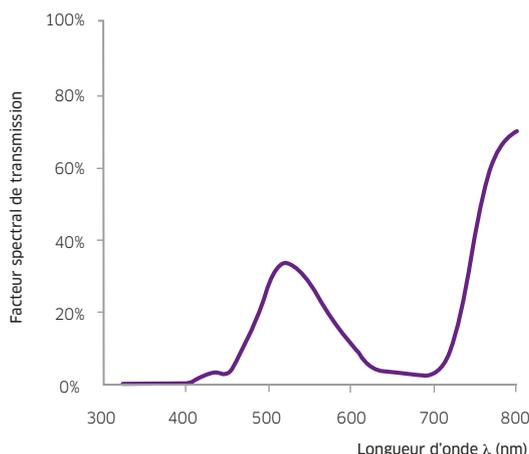
↑ TABLEAU 3 Durée maximale d'exposition journalière pour les led seules observées sous un angle de 0,011 rad (requis pour les durées d'observation inférieures à 100 s).



↑ FIGURE 3 Extraits de la notice fabricant.

Efficacité des lunettes de protection

Le facteur spectral de transmission des lunettes de protection, mesuré à l'aide d'un spectrophotomètre Perkin Elmer lambda 950, est présenté dans la figure 4.



↑ FIGURE 4 Facteur spectral de transmission des lunettes.

L'efficacité des lunettes a été analysée d'une part, pour l'observation des led seules, et d'autre part, sur les modules complets de led équipant les rampes Toplighting. Les résultats présentés dans les Tableaux 4 et 5 montrent que dans les deux cas les valeurs de L_b calculées sont toujours inférieures aux VLE. Les lunettes mises à disposition sont donc efficaces pour protéger les salariés contre les risques de la lumière bleue.

Conclusion

Les VLE ne sont jamais dépassées, en ce qui concerne les dispositifs d'éclairage intermédiaires (modèle Interlighting). Seuls les dispositifs d'éclairage en hauteur (les 2 modèles Toplighting) peuvent présenter des risques provenant en partie des led blanches mais surtout des led bleues, dans certaines conditions d'exposition: distance inférieure à 60 cm pour une durée d'exposition supérieure à 10 000 s. Dans le cas du risque rétinien, le terme de « durée d'observation » serait plus approprié, puisque l'analyse du risque suppose que l'opérateur regarde fixement la source pendant la durée spécifiée, de manière à ce que l'image de la source se forme nettement sur sa rétine. Dans l'exemple traité ici, la présence prédominante de led rouges non dangereuses au regard du risque lié aux rayonnements optiques artificiels

ENCADRÉ 2 NORMES

Les normes relatives à la fabrication des lampes et des luminaires (par exemple, la NF EN 60598-1 [3]) contiennent des exigences de sécurité photobiologique basées sur la norme NF EN 62471 [4] et sur le rapport technique IEC TR 62778 [5]. La norme NF EN 62471 définit quatre groupes de risques selon les limites suivantes :

Groupes de risque	GR 0	GR 1	GR 2	GR 3
Durée d'exposition (s)	10 000	100	0,25	0,25
L_b ($W.m^{-2}.sr^{-1}$) moyennée sur la surface visée	< 100	< 10^4	< 4.10^6	> 4.10^6

Les exigences de marquage des lampes dépendent du groupe de risque :

- risque nul (GR 0) ou faible (GR 1) : aucun marquage n'est requis ;
- risque modéré (GR 2) : pour les systèmes fixes, une distance de sécurité (celle qui permet de ramener le luminaire en GR 1) doit être déterminée et l'installation de l'appareil (précisée sur la notice de montage) ne doit pas permettre l'observation prolongée à une distance inférieure à la distance de sécurité. Pour les systèmes portatifs, la consigne de ne pas regarder fixement la source doit être visible sur l'enveloppe du produit ;
- risque élevé (GR 3) : A ce jour aucun dispositif d'éclairage à led disponible sur le marché n'entre dans cette catégorie.

L_b ($W.m^{-2}.sr^{-1}$)			VLE
Toplighting Ancien	Toplighting Nouveau		
Led bleue	Led bleue	Led blanche	10 000
1608	2092	576	

↑ TABLEAU 4 Valeurs de L_b pour les led seules observées au travers des lunettes de protection sous un angle d'admission de 0,011 rad requis pour les durées d'observation inférieures à 100 s et à une distance inférieure à 0,20 m (diamètre de la zone visée égale à 1,3 mm).

L_b ($W.m^{-2}.sr^{-1}$)			VLE
Toplighting Ancien	Toplighting Nouveau		
Module 8 Led rouges + 1 led bleue	Module 8 Led rouges + 1 led bleue	Module 7 Led rouges + 2 led blanches	100
26	27	20	

↑ TABLEAU 5 Valeurs de L_b pour les modules de led observés au travers des lunettes de protection à une distance de 0,20 m et un angle d'admission égal à 0,110 rad correspondant à une durée d'observation supérieure à 10 000 s.

(ROA), mais en revanche très éblouissantes, ne permet pas de fixer les rampes d'éclairage plus de quelques secondes, ce qui constitue en soi une autoprotection.

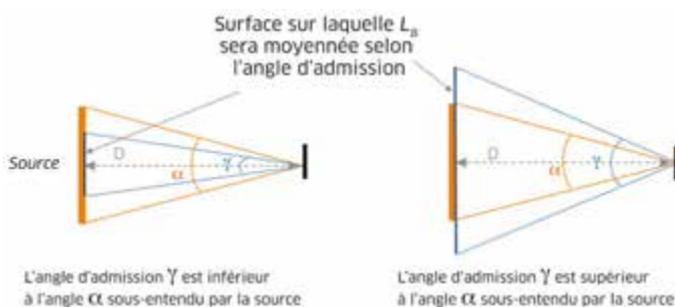
Le groupe de risque selon la norme NF EN 62471 annoncé par le fabricant a pu être vérifié par les mesures. À noter que cette information, qui doit



ENCADRÉ 3
ANGLES D'ADMISSION
POUR LA DÉTERMINATION DE L_b

Quand il observe un objet, un œil normal est animé d'un mouvement involontaire rapide. De plus, lors d'observations de longue durée, il est dans l'incapacité de rester fixe. Ces phénomènes conduisent à un élargissement de la surface irradiée sur la rétine (donc une augmentation du champ de vision) proportionnellement à la durée d'observation. Les valeurs du champ de vision et donc de l'angle (plat) d'admission γ à prendre en compte pour déterminer L_b sont données dans le tableau ci-dessous. Ces valeurs sont imposées par la norme NF EN 62471 et recommandées par l'ICNIRP [6] (excepté la colonne 1 du tableau) pour évaluer le risque « lumière bleue ».

Durée d'exposition t (S)	0,25 à 10	10 à 100	100 à 10 000	t > 10 000
Angle d'admission γ (RAD)	$0,0011 \cdot \sqrt{t/10}$	0,0011	$0,0011 \cdot \sqrt{t}$	0,1



être fournie par le fabricant lorsque le groupe de risque GR atteint la valeur 2, est, pour l'utilisateur, un bon indicateur du risque et des conditions d'utilisation. Dans le cas présent, il est à regretter qu'aucune indication relative à la distance de sécurité ne soit mentionnée dans la notice de montage du luminaire. L'INRS incite les utilisateurs qui souhaiteraient s'équiper de dispositifs à led à obtenir du fournisseur les informations relatives à la sécurité photobiologique.

Les mesures ont également mis en évidence que les lunettes mises à disposition par l'entreprise sont efficaces pour protéger du risque rétinien dû à la lumière bleue. Cependant, l'éblouissement provoqué par ces rampes est tel que plusieurs opérateurs portent, en plus de leurs lunettes, des casquettes ou visières pour se protéger de la vision directe des lampes. L'utilisation de lunettes plus absorbantes ne permettrait plus une vision correcte et pourrait être source d'accident. Dans ce contexte, une protection collective adaptée à la situation est donc à privilégier. La mise en place, par exemple, de dispositifs d'extinction automatique par tronçon, des rampes de led situées dans la zone d'intervention des opérateurs pourrait répondre à cette problématique notamment pour les nouvelles installations. Cette solution présente le double avantage de résoudre les problèmes liés aux risques dus à la lumière bleue et ceux liés à l'éblouissement. ●

POUR EN SAVOIR +

- L'éclairage à diodes électroluminescentes (led) suscite des interrogations voire des inquiétudes pour la santé et sécurité des salariés exposés. Le dossier « Rayonnements optiques – Eclairage à LED », sur le site Internet de l'INRS, fait le point sur la technologie et les conseils de prévention pour une utilisation judicieuse. Accessible sur : www.inrs.fr/risques/rayonnements-optiques/eclairage-led.html
- L'INRS a également publié un hors-série de la revue *Hygiène et sécurité du travail*, consacré aux « Rayonnements optiques et électromagnétiques au travail – De l'exposition à la prévention », en décembre 2016. Ce numéro propose 34 articles qui traitent de ces nuisances et de leur prévention dans l'entreprise. Accessible sur : www.hst.fr

BIBLIOGRAPHIE

[1] DIRECTIVE N° 2014/35/UE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL DU 26 FÉVRIER 2014, relative à l'harmonisation des législations des États membres concernant la mise à disposition sur le marché du matériel électrique destiné à être employé dans certaines limites de tension. *Journal Officiel de l'Union européenne*, 29 mars 2014, p. 357.

[2] DIRECTIVE N° 2006/25/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN, relative aux prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives

à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (rayonnements optiques artificiels). *Journal Officiel de l'Union européenne*, 27 avril 2006, p. 38-59. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

[3] NORME NF EN 60598-1 – Luminaires – Partie 1 : Exigences générales et essais (partie générale commune à tous les luminaires). Paris, Afnor, Avril 2015. Accessible sur : www.boutique-afnor.org (site payant).

[4] NORME NF EN 62471 – Sécurité photobiologique des lampes et appareils

utilisant des lampes. Paris, Afnor, décembre 2008. Accessible sur : www.boutique-afnor.org (site payant).

[5] RAPPORT CEI/TR 62778 – Application of IEC 62471 for the assessment of blue light hazard to light sources and luminaires (en anglais). Genève / Paris, CEI / Afnor, juin 2014. Accessible sur : www.boutique-afnor.org (site payant).

[6] ICNIRP GUIDELINES on limits exposure to incoherent visible and infrared radiation. *Health Physics*, 2013, 105, pp. 74-91.