

FICHE # 6 : ÉCLAIRAGE DE PHOTOSYNTHÈSE

À retenir

- La détermination d'un patron d'éclairage de photosynthèse adéquat peut s'avérer complexe, mais son optimisation pourra conférer des économies d'énergies importantes.
- Les lampes HPS (sodium haute pression) de nouvelle génération permettent une amélioration de l'efficacité d'éclairage de 8 à 10 %.
- L'utilisation des lampes DEL (diode électroluminescente) s'avère prometteuse pour réduire la consommation énergétique reliée à l'éclairage de photosynthèse, mais les coûts d'investissements constituent actuellement son principal frein.

Description

Dans les régions nordiques, les entreprises serricoles doivent recourir à l'éclairage de photosynthèse en période hivernale et automnale. La lumière constitue le facteur limitatif de la photosynthèse durant ces périodes. Ainsi, l'utilisation d'éclairage de photosynthèse permet de suppléer la lumière naturelle et donc d'améliorer la photosynthèse, réduisant ultimement la durée des cycles de production. L'éclairage de photosynthèse permet aussi d'obtenir des plants en meilleure santé et augmente les rendements.^{1,2}

Présentement, l'éclairage à l'aide de lampes HPS (sodium haute pression) est le type d'éclairage le plus largement répandu au Québec. Les puissances de fonctionnement de ces lampes nécessitent des structures électriques importantes et idéalement l'accès à du courant triphasé de 600 Volts. Les lampes peuvent opérer à différentes tensions (220-230-400 V) et selon différentes puissances (400W, 600W, 750 W et 1000 W). Étant donné les puissances requises, les utilisateurs peuvent être admissibles à des tarifs électriques autres que les tarifs G ou D.³

La technologie des lampes DEL (diode électroluminescente) s'implante graduellement au Québec. Selon certaines études, les lampes DEL émettent des longueurs d'onde plus susceptibles d'activer la photosynthèse, consomment moins d'énergie que les lampes HPS et ont une durée de vie supérieure.

Le tableau 6.1 présente un comparatif entre les lampes HPS et les lampes DEL.

¹ Villeneuve, J. (s. d.) Les technologies d'éclairage artificiel et de CO2 dans les serres. Repéré à https://www.agrireseau.net/documents/Document_91384.pdf

² Lessard, J. (2014) Éclairage en serre — Quoi de neuf?. Repéré à <http://www.iqdh.com/images/stories/Nouvelles2014/Eclairage%202014.pdf>

³ Villeneuve, J. (s. d.) Les technologies d'éclairage artificiel et de CO2 dans les serres. Repéré à https://www.agrireseau.net/documents/Document_91384.pdf

Tableau 6.1 Caractéristiques de lampes d'éclairage de photosynthèse (inspiré de Lessard, 2014⁴)

Lampes	Intensité énergétique	Durée de vie	Direction du faisceau	Chaleur produite
HPS	Élevée	20 000 h	Très large	Beaucoup de chaleur produite (nouvelles générations plus efficaces)
DEL	Moyenne à faible	50 000 h	Directionnel	Faible

Démarche

Dans la sélection de tout éclairage de photosynthèse, il importe de :

- Analyser si la structure de la serre peut accepter de l'éclairage artificiel (masse à supporter et hauteur de la serre)
- Déterminer l'éclairement photonique requis par la culture
 - À titre indicatif, des boutures nécessitent entre 10 et 12 mol/m²/24 h alors qu'un géranium zonal nécessite 15 mol/m²/24 heures
- Déterminer le patron et l'horaire d'éclairage requis en considérant l'éclairement photonique fourni par les lampes et par l'éclairage naturel
 - La lumière naturelle hivernale en hiver fournit entre 3 et 8 mol/m²/24 h, alors que la lumière estivale fournit entre 10 et 24 mol/m²/24 h.
 - Les lampes HPS fournissent généralement de 4 à 6 mol/m²/24 h
- Limiter les effets d'ombrage associés à l'installation d'éclairage de photosynthèse
- Déterminer la quantité de CO₂ qui doit être supplémenté dans les serres afin d'assurer une croissance optimale des plants
- Optimiser les conditions actuelles de la serre à l'aide du système de contrôle du climat, notamment la température susceptible de maximiser les effets de l'éclairage⁵
 - La réduction des besoins énergétiques issus de l'éclairage de photosynthèse constitue un enjeu de taille. Plusieurs éléments doivent être considérés pour y arriver : optimisation de l'intensité de lumière, de la période d'éclairage, interplantation, changement de la densité de plants, adaptation des conditions de production, etc.

⁴ Lessard, J. (2014) Éclairage en serre — Quoi de neuf?. Repéré à <http://www.iqdh.com/images/stories/Nouvelles2014/Eclairage%202014.pdf>

⁵ Dorais, M., Ménard, C. et Gosselin, A. (2002) Effets d'un éclairage photosynthétique, une électro-technologie québécoise sur la culture de la tomate et laitue de serre.

Sources énergétiques concernées

L'éclairage de photosynthèse fonctionne exclusivement à l'électricité, mais peut engendrer des économies de chauffage avec les sources énergétiques suivantes : mazout #2, propane, gaz naturel, huile usée, électricité et biomasse.

Amélioration de l'efficacité énergétique

Sur le plan énergétique, il peut s'avérer plus efficace d'utiliser de l'éclairage de photosynthèse, que de produire dans des conditions de culture traditionnelle sans éclairage. En effet, l'éclairage photosynthétique « augmente la croissance et accélère le développement [des plants] en période automnale et estivale »⁶. Ainsi, la réduction de la période de production se traduit en gain énergétique direct. En effet, si la consommation électrique associée à l'éclairage est moindre que le chauffage évité par la réduction de la période de production, des économies d'énergie nettes en découlent.

Le tableau 6.2 présente un exemple de réduction de la période de production pour la laitue hydroponique par l'utilisation d'éclairage de photosynthèse.

Tableau 6.2 Influence de l'éclairage de photosynthèse sur la durée (en jours) du cycle de production de la laitue hydroponique⁷

Période	Cycle de production sans éclairage (en jours)	Cycle de production avec éclairage (en jours)	Différence (en jours)
Automne	90	70	20
Hiver	120	80	40
Printemps	72	60	12
Été	42	33	9

Ainsi, les économies d'énergie associées à l'éclairage de photosynthèse peuvent se calculer de la manière suivante :

$$\begin{aligned}
 & \text{Économies d'énergie totales} \left(\frac{kWh}{an} \right) \\
 &= \text{Économies de combustibles journalières associées à la période} \left(\frac{L, m^3, kg}{jr} \right) \times \text{Raccourcissement de la période de production} (jr) \times \text{Facteur de conversion} \left(\frac{kWh}{L, m^3, kg} \right) \\
 & - \text{Consommation électrique associée à la photosynthèse} \left(\frac{kWh}{an} \right)
 \end{aligned}$$

⁶ Dorais, M., Ménard, C. et Gosselin, A. (2002) Effets d'un éclairage photosynthétique, une électro-technologie québécoise sur la culture de la tomate et laitue de serre.

⁷ Dorais, M., Ménard, C. et Gosselin, A. (2002) Effets d'un éclairage photosynthétique, une électro-technologie québécoise sur la culture de la tomate et laitue de serre.

Lorsque vient le temps d'estimer la nouvelle consommation énergétique associée à la chauffe, il importe de tenir compte du fait que les lampes d'éclairage de photosynthèse émettent une quantité non négligeable de chaleur. Ainsi, la consommation énergétique associée à la chauffe est réduite par l'utilisation d'éclairage de photosynthèse, d'une part suite à la réduction de la période de production - tel que vu précédemment -, d'autre part suite à la conversion partielle de la source de chauffage à l'électricité.

$$\begin{aligned} & \text{Consommation anticipée de combustible} \left(\frac{kWh}{an} \right) \\ &= \left[\text{Consommation actuelle de combustible} \left(\frac{L, m^3, kg}{an} \right) \times \text{Facteur de conversion} \left(\frac{kWh}{L, m^3, kg} \right) \right. \\ & \quad - \text{Économies de combustibles journalières associées à la période} \left(\frac{L, m^3, kg}{jr} \right) \times \text{Raccourcissement de la période de production} (jr) \\ & \quad \left. \times \text{Facteur de conversion} \left(\frac{kWh}{L, m^3, kg} \right) + \text{Consommation électrique associée à la photosynthèse} \left(\frac{kWh}{an} \right) \times \text{Facteur de conversion de l'électricité en chauffe} (\%) \right] \end{aligned}$$

$$\text{Consommation anticipée de combustible} \left(\frac{L, m^3, kg}{an} \right) = \text{Consommation anticipée de combustible} \left(\frac{kWh}{an} \right) \times \text{Facteur de conversion} \left(\frac{kWh}{L, m^3, kg} \right)$$

Les lampes HPS émettent une quantité de chaleur importante, représentant de 10 à 35 % de l'énergie totale de chauffage (facteur de conversion de l'électricité en chauffe). Puisque l'éclairage de photosynthèse s'utilise particulièrement lors des périodes froides, l'émission de chaleur des lampes ne constitue pas une problématique en soi, au contraire. Cependant, le positionnement des lampes, le plus fréquemment au-dessus des cultures, n'est pas optimal pour le chauffage des serres.⁸

En plus de la réduction de la période de production, des gains énergétiques peuvent être associés aux gains agronomiques. En effet, pour une même période de production, l'éclairage de photosynthèse augmente la quantité de biomasse produite, représentant un gain énergétique supplémentaire par poids de biomasse produite.⁹

En plus des gains énergétiques, l'éclairage de photosynthèse peut permettre l'accès aux marchés en période de forte demande, grâce à la modification du calendrier de production. Pour les entreprises en production de tomate principalement, l'éclairage de photosynthèse modifie complètement le calendrier de culture par rapport à une production sans éclairage, tel que montré dans le tableau 6.3 ci-dessous.

⁸ Dorais, M., Ménard, C. et Gosselin, A. (2002) Effets d'un éclairage photosynthétique, une électro-technologie québécoise sur la culture de la tomate et laitue de serre.

⁹ Dorais, M., Ménard, C. et Gosselin, A. (2002) Effets d'un éclairage photosynthétique, une électro-technologie québécoise sur la culture de la tomate et laitue de serre.

Tableau 6.3 Calendrier de production avec et sans éclairage

Phase de production	Sans éclairage	Avec éclairage
Semis	Octobre	Juin
Plantation	Décembre	Juillet
Récolte	Mars à fin novembre	Septembre à juin

Ainsi, avec une production sous éclairage de photosynthèse, les rendements sont maximisés en période hivernale et automnale, alors que les tomates de champ du Québec ne sont pas disponibles.

Changement pour des lampes HPS plus écoénergétiques

Les nouvelles générations de lampes HPS font moins de bruit, en plus d'améliorer l'efficacité de l'éclairage de l'ordre de 8 à 10 %¹⁰. Ainsi, l'amélioration de l'efficacité énergétique passe principalement par la détermination d'un patron d'éclairage de photosynthèse adapté et réduisant la consommation énergétique.

À partir du moment où le patron d'éclairage de photosynthèse est déterminé, la consommation électrique des lampes se calcule de la manière suivante :

$$\begin{aligned} \text{Consommation électrique } \left(\frac{kW}{an} \right) \\ &= \text{Puissance des lampes (kW)} \times \text{Nombre de lampes} \\ &\times \text{Nombre d'heures d'éclairage de photosynthèse } \left(\frac{hrs}{an} \right) \end{aligned}$$

Pour déterminer les économies d'énergie dans le cas d'un remplacement de lampes HPS d'ancienne génération par des lampes nouvelle génération, il suffit de comparer la consommation énergétique des deux patrons :

$$\begin{aligned} \text{Économies d'énergie } \left(\frac{kW}{an} \right) \\ &= \text{Consommation électrique de l'ancien patron } \left(\frac{kWh}{an} \right) \\ &- \text{Consommation électrique du nouveau patron } \left(\frac{kWh}{an} \right) \end{aligned}$$

Migration vers des lampes DEL

L'efficacité énergétique en matière d'éclairage de photosynthèse peut également résulter d'une migration vers des lampes DEL, dont la consommation énergétique est moindre. Les données quant à la

¹⁰ Villeneuve, J. (s. d.) Les technologies d'éclairage artificiel et de CO2 dans les serres. Repéré à https://www.agrireseau.net/documents/Document_91384.pdf

réduction de la consommation électrique engendrée par les lampes DEL varient de 20 à 50% selon les sources.

Une étude du CIDES (*Étude sur les performances agronomique, énergétique et économique que peuvent procurer les lampes à diodes électroluminescentes [DEL] de technologie récente aux principales cultures maraîchères en serre [tomates et laitue] en conditions réelles de production comme remplacement de la technique traditionnelle d'éclairage aux lampes haute pression de sodium [HPS]*) a permis de constater que l'utilisation d'éclairage DEL engendre une réduction énergétique d'environ 20 % (pour une même intensité lumineuse utile aux plants). De plus, les lampes DEL, puisqu'elles produisent peu de chaleur comparativement aux lampes HPS, peuvent être utilisés très près de la tête des plants et dans la canopée. Ce faisant, il est possible de récupérer la chaleur émise par les DEL et de permettre qu'une plus grande quantité de lumière atteigne les plants. Un tel scénario n'est pas envisageable avec les lampes HPS, puisque les plantes toléreraient mal la chaleur produite par les lampes à une si faible distance. Ainsi, la chaleur produite par les lampes HPS - qui sont généralement suspendus en tête de culture - n'est pas récupérée aussi efficacement qu'avec des lampes DEL installées dans la canopée ou près des têtes de plants.

Encore une fois, la complexité dans la détermination des économies d'énergie relève de la sélection d'un patron d'éclairage adéquat avec les DEL. À partir du moment où le patron d'éclairage est déterminé, la consommation électrique ainsi que les économies d'énergie se calculent telles que vues précédemment.

Réduction des émissions des gaz à effet de serre (GES)

La réduction des émissions de GES se calcule selon la formule suivante pour le mazout, le gaz naturel et le propane :

$$\begin{aligned} \text{Réduction des GES} & \left(\frac{\text{g de CO}_2 \text{eq}}{\text{an}} \right) \\ & = \left[\text{Consommation anticipée} \left(\frac{\text{L, m}^3, \text{kg}}{\text{an}} \right) - \text{Consommation actuelle} \left(\frac{\text{L, m}^3, \text{kg}}{\text{an}} \right) \right] \\ & \times \text{Facteur d'équivalence} \left(\frac{\text{g de CO}_2 \text{eq}}{\text{L, m}^3, \text{kg}} \right) \end{aligned}$$

Coûts d'investissements

Les coûts d'investissement pour l'éclairage de photosynthèse varient en fonction du type de lampe installée (lampes HPS ou DEL), de la puissance des lampes, des réflecteurs choisis et du type de branchement préconisé. De plus, deux types d'investissement sont possibles :

- Remplacement de lampes par un nouveau type d'éclairage OU par des lampes de nouvelle génération
- Ajout de nouvelles lampes

Dans les deux cas, la rentabilité s'avère intéressante. Les lampes HPS de base offrent un bon rapport qualité-prix par rapport aux lampes DEL qui sont plus dispendieuses. Le tableau 6.3 compare d'ailleurs les coûts d'investissements des deux systèmes d'éclairage.

Tableau 6.3 Coûts d'investissements des systèmes d'éclairage (données des États-Unis)¹¹

Type de lampe	Efficacité photonique ($\mu\text{mol}/\text{sec}$)	Coût de la lampe (\$CAN)	Coût électrique (\$/ $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{an}$)	Coût électrique après 5 ans (\$/ $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{an}$)
400Wmagn. Sunlight HPS	416	250	0.44	0.50
1000Welec. Gavita HPS	1751	625	0.24	0.29
R/B DEL LSG	653	1 500	0.24	0.67
R/W/B DEL Lumigrow 325	390	1 250	0.32	0.91
R/B DEL Lumigrow 330	284	1 500	0.46	1.45
400W Plasma IGrow	374	1 500	0.46	1.45

Les tableaux 6.4 et 6.5 présentés ci-dessous recensent les coûts d'investissement, selon deux sources différentes, de différents types de lampes (excluant les coûts d'installation).

Tableau 6.4 Coûts d'investissements de systèmes d'éclairage de photosynthèse¹²

Type de lampes	Coûts (\$/pi ²)	Coût par unité (\$)
HPS (600 W)	3,00	350-450
LED	17,00	2000-2500

Tableau 6.5 Coûts d'investissements de systèmes d'éclairage de photosynthèse¹³

Type de lampes	Coût par unité (\$)
HPS (400 W)	356
HPS (600 W)	505

Ci-dessous, le tableau 6.6 montre des exemples de prix pour quelques modèles de lampes, tel que répertoriés sur le site du fournisseur **Groupe horticole Ledoux**.

¹¹ IQDHO : éclairage en serre : quoi de neuf ?, Jocelyne Lessard, agr. Journée des producteurs en serre, 27 novembre 2014. <http://www.iqdho.com/images/stories/Nouvelles2014/Eclairage%202014.pdf>

¹² Villeneuve, J. (s. d.) Les technologies d'éclairage artificiel et de CO₂ dans les serres. Repéré à https://www.agrireseau.net/documents/Document_91384.pdf

¹³ CRAAQ, 2017. Coûts de construction AGDEX 731/290.

Tableau 6.6 Coûts d'investissements de systèmes d'éclairage de photosynthèse provenant du site Internet du Groupe Horticole Ledoux¹⁴

Type de lampe	Puissance (watts)	Voltage (volt)	Autres caractéristiques	Prix (\$)
Lampe PLX — HPS*	400	240	Réflecteur delta	500.36
Lampe PLX — HPS*	600	240	Réflecteur delta	622.36
Lampe PLX — Métal Halide*	400	240	Réflecteur delta	384.00
Lampe PLX — Métal Halide*	1000	240	Réflecteur maxima	434.00
Lampe HSE NXT2	1000	347	Réflecteur alpha, version standard, avec connecteur Wieland	549.00
Lampe HSE SL 600 W HPS*	600	240	Réflecteur delta	380.00
Lampe HSE STD 600 W HPS*	600	240	Réflecteur delta	520.67
Lampe HSE Daylight	315	208-277	Agro Lamp, avec connecteur Wieland	541.00

*Tous les prix affichés incluent un cordon d'alimentation de « 6', 240V, 15A, fiche standard » ainsi qu'un support de montage « standard track-truss bracket »

Coûts de fonctionnement

Les coûts de fonctionnement sont surtout tributaires des coûts en électricité nécessaire à l'éclairage artificiel de photosynthèse. En matière d'entretien, les lampes HPS demandent plus d'entretien que les lampes DEL, et la durée de vie utile des lampes DEL est plus grande - 50 000 heures d'éclairage – que celle des lampes HPS - 20 000 heures. Ainsi, en fonction de leur utilisation annuelle, la durée de vie en termes de saisons de production ou d'années est variable.

Une analyse faite dans le cadre du *Programme canadien d'adaptation agricole* a permis de déterminer les coûts d'utilisation des lampes HPS et DEL pour la production sur 2 000 pieds carrés de tomates et de concombres (tableau 6.7), et de laitues (tableau 6.8). Voici les résultats pour une surface de 2 000 pieds carrés¹⁵ :

Tableau 6.7 Coûts d'utilisation (tomates et concombres)

Approximation à 0,075 \$/kWh	kWh/pi ²	\$/an	\$/pi ²	\$/m ²
Coût utilisation HPS	17.63942	2645.91	1.32	14.24
Coût utilisation DEL	4.62	692.35	0.35	3.73

Tableau 6.8 Coûts d'utilisation (laitues)

Approximation à 0,075 \$/kWh	kWh/pi ²	\$/an	\$/pi ²	\$/m ²
Coût utilisation HPS	8.81971	1322.96	0.66	7.12
Coût utilisation DEL	2.31	346.17	0.17	1.86

¹⁴ Groupe Horticole Ledoux. 2017. Éclairage artificiel. Repéré à <http://boutiquepro.ghlinc.com/eclairage-artificiel>

¹⁵ Nos calculs, inspirés de Dionne Louis, Berger Claudia, Cadotte Gilles, Girouard Marco. 2013. Rapport final – Étude sur les performances agronomique, énergétique et économique que peuvent procurer les DEL de technologie récente aux principales cultures maraîchères en serre (tomates et laitue) en conditions réelles de production comme remplacement de la technique traditionnelle d'éclairage aux lampes HPS. Repéré à : <https://www.serres.quebec/download/publications/Energie/Eclairage/rapport-performance-del-maraicher-versus-hps-psq-2013-min.pdf>

Période de retour sur l'investissement

Pour calculer la période de retour sur l'investissement en matière d'éclairage de photosynthèse, il est approprié d'utiliser une soumission obtenue en fonction de la superficie et du type d'éclairage souhaité. La PRI est calculée comme suit :

$$\text{PRI (an)} = \frac{\text{Coût d'investissement (\$)}}{\text{Économies annuelles de chauffage \left(\frac{\$}{\text{an}}\right)}}$$

Les économies annuelles de chauffage proviennent de la réduction de la période de production pour une quantité donnée. Ainsi, pour un même laps de temps, l'entreprise peut récolter davantage de végétaux, et ainsi obtenir des revenus accrus.

Selon certaines études, le retour sur investissement est d'environ 2.7 ans¹⁶ et ce, sans compter l'accroissement de la productivité dû à un éclairage adapté à la photosynthèse des plantes. En effet, du point de vue agronomique, l'utilisation d'éclairage de photosynthèse permet des rendements supérieurs. À titre d'exemple, pour le cas de la laitue, le gain de poids (base de matière sèche) s'est avéré en moyenne 61 % plus élevé avec les HPS et 48 % avec les DEL en comparaison à la serre témoin non éclairée.¹⁷ Selon d'autres sources, la PRI serait de 2 cultures (hivernales et printanières).¹⁸

¹⁶ UPA, Hydro-Québec, CDAQ. 2008. L'efficacité énergétique dans le secteur serricole. Repéré à : <https://www.agrireseau.net/horticulture-serre/documents/L%27efficacit%C3%A9%20%C3%A9nerg%C3%A9tique%20dans%20le%20secteur%20serricole.pdf>

¹⁷ AAC. 2016. Éclairage des serres : une lumière intense pour des produits de fort calibre. Repéré à <http://www.agr.gc.ca/fra/nouvelles/realisations-scientifiques-en-agriculture/horticulture/eclairage-des-serres-une-lumiere-intense-pour-des-produits-de-fort-calibre/?id=1417182598640>

¹⁸ Bilodeau, Gilbert - IQDHO. 2012. Les 10 investissements les plus rentables en production en serre. Repéré à : https://www.agrireseau.net/legumesdeserre/documents/Top%2010%20investissements%20.G.BILODEAU_.pdf

Fiche réalisée par :



Claudia Berger, ing, CEM (section Description, Démarche, Sources énergétiques concernées, amélioration de l'efficacité énergétique, Programmes d'efficacité énergétique, Réductions des gaz à effet de serre et Annexe)
514-966-9586 - cberger@ecllo.info



Stéphanie Brazeau, agr., Conseillère en gestion agricole (sections Coûts d'investissements, Coûts de fonctionnement et Période de retour sur l'investissement)
450-359-4761 poste 202 – stephanie.brazeau@groupeproconseil.com