

EXPÉRIMENTATION DE DIODES ÉLECTROLUMINESCENTES POUR LA PRODUCTION INTÉRIÈRE DE LÉGUMES FEUILLES

Sophie Massie et André Gagnon (Agrinova)
Collaborateur : Michel Talbot (Voltech International inc.)

MISE EN CONTEXTE

Le développement accéléré des technologies de production en serre permet de réinventer les techniques de production et de produire dans des endroits et des contextes qui n'étaient pas viables il y a à peine dix ans. La production en installation fermée, sans éclairage naturel, fait face à un défi important étant de disposer d'un éclairage photosynthétique artificiel produisant peu de chaleur, tout en favorisant la croissance des végétaux. Des améliorations récentes de la performance et du coût de production des diodes électroluminescentes (DEL) permettent dorénavant leur utilisation en production horticole. Les DEL présentent certains avantages, dont le contrôle de la composition spectrale de la lumière, une lumière de haute intensité avec peu de chaleur radiante, une durée de vie prolongée, ainsi qu'une consommation énergétique réduite. Toutefois, l'absence d'études dans l'industrie et la publication de résultats mitigés provenant d'une utilisation de DEL photosynthétiques ne rencontrant pas les spécifications affichées sont des freins importants à l'adoption de cette technologie. Voltech International inc., spécialisé dans les DEL d'ambiance, désire développer un nouveau marché d'éclairage de photosynthèse spécifiquement adapté à la production intérieure de légumes feuilles.



L'entreprise se démarque déjà dans le domaine de la production animale en offrant des solutions d'éclairage ambiant complet adaptées aux besoins des animaux. Puisque les propriétés de la lumière de photosynthèse sont différentes de celles d'un éclairage ambiant, l'entreprise désire quantifier les propriétés agricoles d'une nouvelle gamme de DEL photosynthétiques en effectuant des essais contrôlés de production de légumes feuilles sans apport de lumière naturelle.

OBJECTIF

L'objectif principal du projet était d'expérimenter divers luminaires de type DEL dans une production de basilic. En plus d'évaluer le rendement du basilic, des patrons de distribution de chacun des luminaires ont été effectués.

MÉTHODOLOGIE

Le projet de recherche s'est déroulé dans une salle de croissance spécialement adaptée, sans lumière naturelle, située à Sainte-Croix-de-Lotbinière. Un dispositif expérimental en blocs complets aléatoires avec trois répétitions a été installé afin de comparer la croissance du basilic selon quatre types de luminaires, soit : T1 – Tubes fluorescents T5 de 54W (témoin), T2 – DEL en tubes de 20W, T3 – DEL de type *Crown* de 150W et T4 – DEL en quadrillage de 60W. Les luminaires ont été disposés afin de générer un PPFd (densité du flux photonique photosynthétique) moyen de $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$, à raison de 14 heures/jour. Pour les fluorescents T5, sept tubes ont été installés par unité expérimentale (UE), neuf tubes pour les DEL et deux tubes pour les luminaires de type *Crown*.

En raison de sa disponibilité, seulement un luminaire DEL en quadrillage a été installé par UE, alors qu'il en aurait fallu trois pour éclairer la totalité de chaque UE. Pour cette raison, seulement dix plants ont été évalués sous ce traitement, comparativement à 30 pour les autres.

Chacun des carreaux était entouré d'une toile noire opaque afin d'empêcher le rayonnement des luminaires de traverser les UE.

Le patron de distribution de chacun des luminaires a été mesuré à l'aide d'un photomètre Li-Cor de type LI-250A et du senseur LI-190R permettant de mesurer la lumière située dans les longueurs d'onde entre 400 et 700 nm (PAR – Rayonnement photosynthétiquement actif). Un total de 144 données par hauteur (neuf hauteurs de 2,1 m à 0,1 m) a été pris à l'aide d'une table quadrillée avec des carrés de 10 cm².

La culture expérimentale était le basilic (variété Grand Vert) et chaque UE avait une dimension de 0,45 m². Le semis ayant été effectué à raison d'une graine par pot de 11,5 cm x 11,5 cm a été fait le 9 mars 2017.

Les paramètres mesurés sur chacun des plants de basilic après 50 jours de croissance sont la hauteur, la longueur des entrenœuds, le poids frais et le poids sec.

Finalement, à l'aide de sondes (Watchdog ou Spectrum), la température de chaque UE a été enregistrée pour toute la durée de l'expérience.

Une analyse de variance ANOVA a également été réalisée.



RÉSULTATS

Patron de distribution

- À noter que pour les tubes, la prise de données avec le photomètre a été effectuée sur l'assemblage de luminaires utilisés pour la croissance des plantes de chaque UE, soit sept pour les T5 et neuf pour les DEL, afin de mesurer une plus grande surface. Pour les DEL en quadrillage et les DEL de type *Crown*, un seul luminaire a été utilisé pour le patron de distribution.
- Le patron de distribution des luminaires sous forme de tubes (T5 et DEL) est très similaire (figure 1). Dans les deux cas, la distance entre les luminaires et le photomètre devait être très petite ($\leq 0,20$ m) afin d'obtenir plus de $150 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. De plus, comme l'assemblage de tubes couvrait environ 1m^2 pour les T5 et $1,3 \text{m}^2$ pour les DEL, la surface de recouvrement était très semblable pour toutes les hauteurs.
- À une hauteur de 0,3 m et moins, il a été observé que le PPFD était très variable d'un carreau (10 cm) à l'autre, puisque le photomètre prenait la lecture d'un seul DEL et que les DEL étant de couleur différente, ils ne génèrent pas le même PPFD. Comme la disposition des couleurs sur chacun des tubes était identique, il serait pertinent de changer la disposition des couleurs d'un tube à l'autre afin d'homogénéiser le PPFD émis par un ensemble de tubes.
- Le luminaire DEL de type *Crown* est celui ayant généré le plus de PPFD avec $246 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ à 0,6 m. Toutefois, à cette hauteur, le luminaire couvrait seulement $0,48 \text{m}^2$ par opposition aux tubes DEL qui couvraient deux fois plus grand. À 10 cm, le *Crown* a généré plus de $3\,000 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.
- Comme il a été observé avec le *Crown*, plus on se rapproche du photomètre pour le DEL en quadrillage, plus la surface de recouvrement diminue considérablement, soit $0,36 \text{m}^2$ à 0,60 m. Il faut se rapprocher à 0,3 m pour obtenir plus de $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

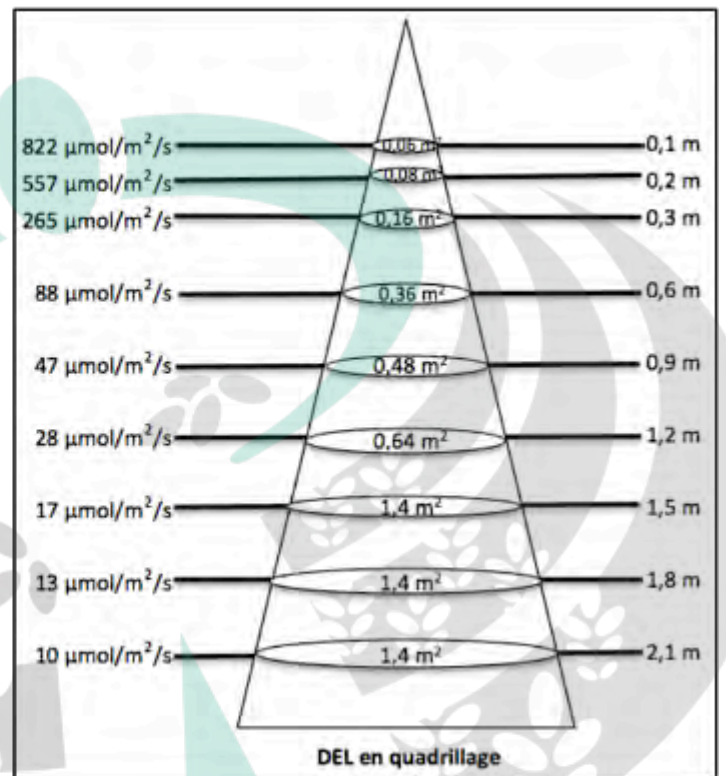
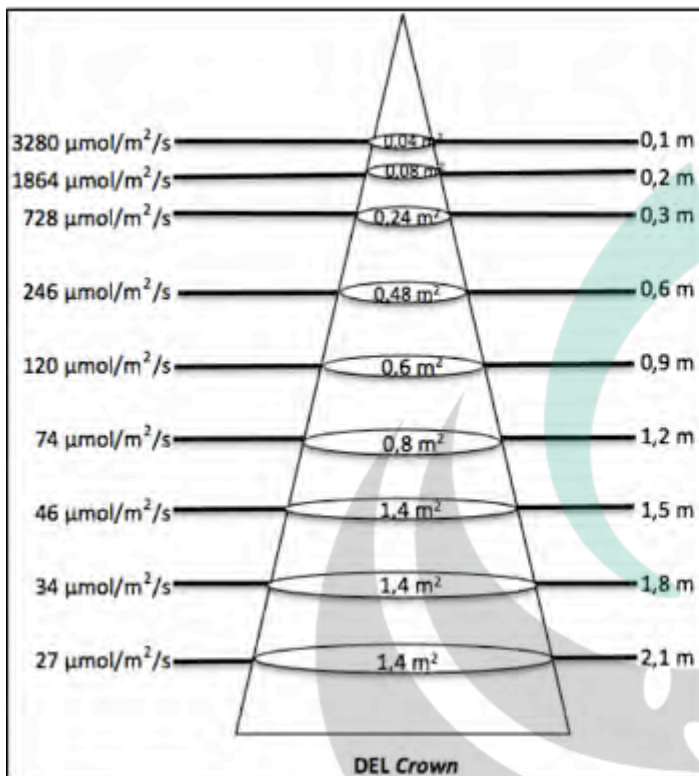
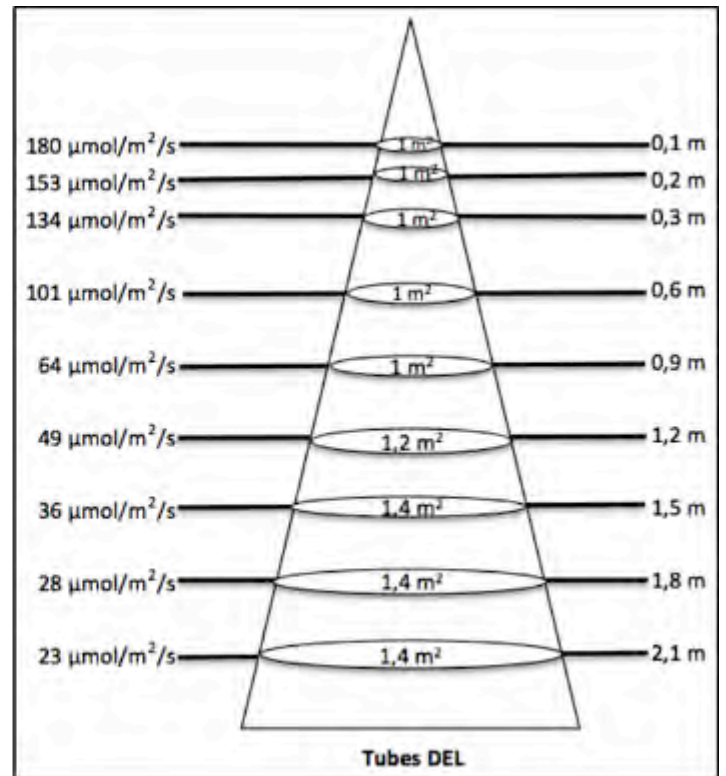
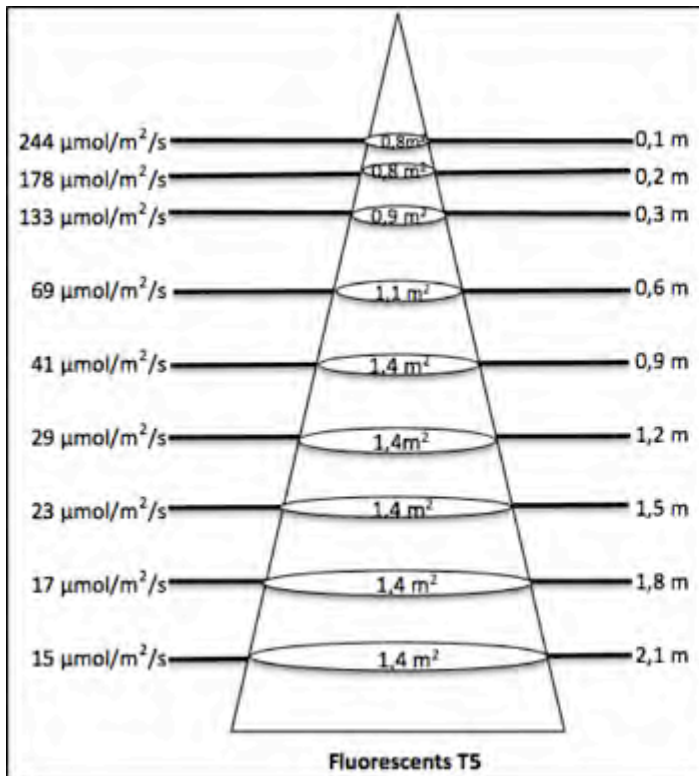


Figure 1. Patrons de distribution des quatre luminaires à l'essai

Rendement

- Les tubes DEL ont produit des plants significativement plus hauts que les DEL en quadrillage avec 7 cm de plus (tableau 1).
- La longueur des entre-nœuds est significativement plus élevée pour les tubes DEL que les T5 et les DEL en quadrillage. Ces résultats suggèrent qu'il y a eu étiolement, phénomène observé lorsqu'une plante est déficiente en luminosité.
- Le poids frais et le poids sec sont inférieurs pour les DEL en quadrillage, comparativement aux autres traitements.
- Même avec leur faible wattage (180 W au total), les tubes DEL ont donné de très bons résultats, comparables au DEL de type *Crown* avec 300 W au total et supérieurs aux fluorescents T5.

Température

- Au mois de mars, aucune différence significative de température n'a été observée entre les différents luminaires (tableau 2).
- Au mois d'avril, les T5 ont généré significativement plus de chaleur que les DEL en quadrillage. Toutefois, il est important de rappeler qu'un seul luminaire DEL en quadrillage par UE a été installé, ce qui a fort possiblement généré moins de chaleur.

Tableau 1. Paramètres de rendement

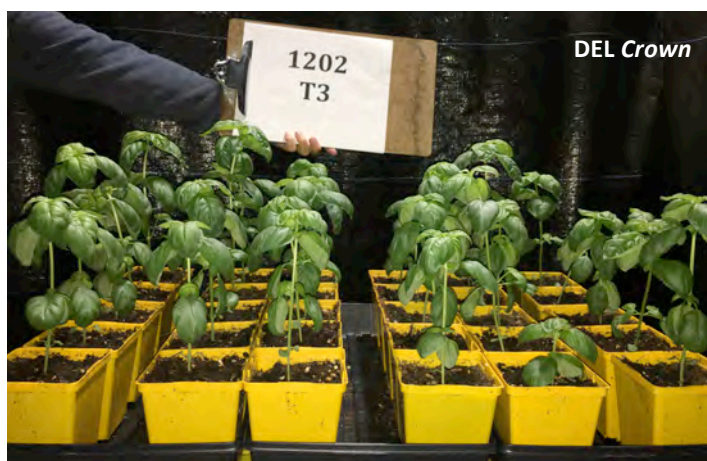
Luminaire	Hauteur	Entre-nœud	Poids frais	Poids sec
Fluorescents T5	17,39 ab	5,39 bc	4,60 ab	0,39 a
Tubes DEL	21,07 a	7,58 a	6,48 a	0,54 a
<i>Crown</i> DEL	18,59 ab	6,53 ab	5,09 a	0,40 a
Quadrillage DEL	14,03 b	3,97 c	2,64 b	0,20 b

Les données suivies d'une lettre distincte dans la même colonne sont significativement différentes ($P < 0,05$) selon le test de Tukey.

Tableau 2. Température mesurée à l'intérieur des unités expérimentales

Luminaire	Température	
	Mars	Avril
Fluorescents T5	20,6 a	21,8 a
Tubes DEL	20,4 a	21,4 ab
<i>Crown</i> DEL	20,4 a	21,2 ab
Quadrillage DEL	19,7 a	20,8 b

Les données suivies d'une lettre distincte dans la même colonne sont significativement différentes ($P < 0,05$) selon le test de Tukey.



Analyse économique

Considérant que...

Pour éclairer une chambre de croissance de 5 m², il nécessiterait :

- 70 fluorescents T5
- 90 tubes DEL
- 20 DEL Crown
- 30 DEL en quadrillage

Le wattage de chacun des luminaires suite à la lecture de l'ampérage de chaque appareil est de :

- 159 W pour le fluorescent T5
- 15 W pour le tube DEL
- 150 W pour le DEL Crown
- 42 W pour le DEL en quadrillage :

Le coût des luminaires est de :

- 42,95 \$ pour le fluorescent T5
- 90 \$ pour le tube DEL
- 735 \$ pour le DEL Crown
- 350 \$ pour le DEL en quadrillage

Les coûts d'achat et d'utilisation¹ des luminaires, à raison de 14 heures/jour pour couvrir 5 m², seraient de :

- Fluorescent T5
 - Prix d'achat : **3 006,50 \$**
 - Prix d'utilisation par année : **4 062,45 \$**
- Tube DEL
 - Prix d'achat : **8 100 \$**
 - Prix d'utilisation par année : **492,75 \$**
- DEL Crown
 - Prix d'achat : **14 700 \$**
 - Prix d'utilisation par année : **1 095 \$**
- DEL en quadrillage
 - Prix d'achat : **10 500 \$**
 - Prix d'utilisation par année : **459,90 \$**

¹Au tarif moyen uniformisé d'Hydro-Québec de 0,0714 \$/kWh

À RETENIR

- Les tubes **T5** et **DEL** sont limités dans leur apport en PPFd (**maximum 244 et 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$** , respectivement).
- Le luminaire DEL de type **Crown** a permis un plus **grand apport en PPFd**.
- Le **rendement du basilic a été supérieur** pour les **tubes DEL**, même si les plants ont montré des signes d'étiollement.
- Les trois luminaires DEL à l'essai n'ont pas généré significativement plus de chaleur que les fluorescents T5.
- Le prix à l'achat des fluorescents T5 est inférieur aux luminaires DEL à l'essai, voire jusqu'à cinq fois moins cher que le **Crown**.
- **Un des plus gros avantages de l'utilisation des DEL est leur faible consommation énergétique.** L'utilisation des tubes DEL coûtera **724 %** de moins par année que les fluorescents T5.

Remerciements aux partenaires financiers et de réalisation



**NSERC
CRSNG**



Pour information :

Sophie Massie, agr., M. Sc.
418 480-3300, poste 257
sophie.massie@agrinova.qc.ca