HAL
open science

# Eclairage horticole : pourquoi choisir la technologie LED ?

N'goran Urbain Florent Niangoran, David Buso, Laurent Canale, Georges Zissis

## To cite this version:

N'goran Urbain Florent Niangoran, David Buso, Laurent Canale, Georges Zissis. Eclairage horticole : pourquoi choisir la technologie LED ?. La Revue de l'électricité et de l'électronique, 2020, 2020 (1), pp.62-68. hal-02518191

**HAL Id: hal-02518191**

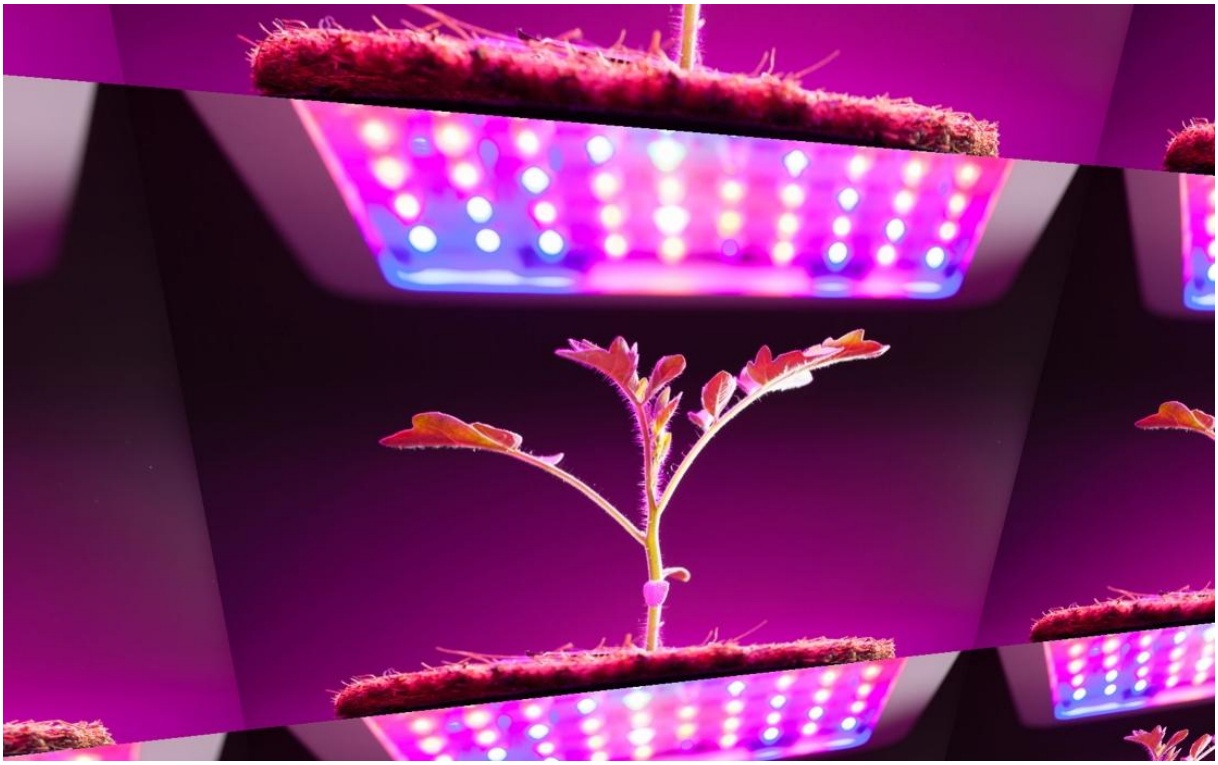
**https://hal.science/hal-02518191v1**

Submitted on 25 Mar 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Le 28 janvier 2020



# Eclairage horticole : pourquoi choisir la technologie LED ?

**Urbain Niangoran[1, 2], David Buso[1], Laurent Canale[1], Georges Zissis[1]**

[1]Laboratoire plasma et conversion d'énergie (LAPLACE), université de Toulouse III, France
[2]Laboratoire de physique fondamentale et appliquée (LPFA), Abidjan, Côte d'Ivoire

**L'éclairage artificiel permet d'améliorer la productivité et la qualité des produits de la filière horticole. C'est un remède à la raréfaction des sols et un moyen de lutter contre la pollution. L'arrivée des LED offre de nouvelles possibilités d'adaptation de l'éclairage aux besoins de la plante tout en offrant une meilleure efficacité énergétique.**

## Introduction

La sécurité alimentaire reste un enjeu majeur pour de nombreux pays. Les efforts pour répondre à ce défi sont mis à mal par la croissance démographique mondiale et la diminution des terres cultivables. Par ailleurs, les méthodes agricoles actuelles telles que l'utilisation des engrais et des pesticides ont des effets néfastes sur l'environnement (pollution des sols et des nappes phréatiques) et sur la santé humaine (allergies, perturbateurs endocriniens, cancers, intoxications alimentaires). Pour répondre aux besoins alimentaires croissants, plusieurs techniques de cultures agricoles sont mises en œuvre notamment l'horticulture. La filière horticole comprend la production de fruits, de légumes et de fleurs. Ces dernières années, l'horticulture connaît un développement notable et occupe une part très importante dans la production agricole mondiale. En France, plus de 3 300 entreprises exercent leur activité dans la chaîne de la production de l'horticulture. Cette filière génère un chiffre d'affaires

qui s'élève à 1,4 milliard d'euros. En aval, le secteur mobilise près de 20 000 entreprises spécialisées dans la distribution et la commercialisation pour un chiffre d'affaires de 7,09 milliards d'euros avec près de 60 000 emplois.

Pour faire face à certaines contraintes, notamment les changements de saisons, les contaminations des cultures ou la diminution des terres cultivables, les cultures en milieu contrôlé ont été développées et sont privilégiées. En outre, avec les avancées technologiques, des outils informatiques et électroniques sont intégrés dans ces milieux pour une gestion optimale des paramètres climatiques (température, humidité, taux de $CO_2$, lumière). Parmi ces paramètres climatiques, la lumière est l'un des facteurs majeurs pour assurer la croissance des plantes et une bonne rentabilité aux producteurs. Les serres, et obligatoirement les usines de plantes, nécessitent un éclairage d'appoint. Par ailleurs, l'éclairage artificiel, en plus de déterminer la croissance, détermine aussi le goût et la qualité nutritionnelle des légumes et des fruits de serre.

Diverses technologies d'éclairage artificiel, notamment les sources de lumière classiques (incandescence, fluorescence, sodium haute pression (HPS)), sont utilisées comme sources d'éclairage dans les serres. L'utilisation de la technologie des diodes électroluminescentes (LED) pour l'éclairage horticole est récente mais les parts de marché de l'éclairage LED sont déjà conséquentes et en constante augmentation. Sur le plan de la recherche scientifique, de nombreuses études ont montré le potentiel des LED comme source de lumière efficace pour la croissance des plantes en milieux contrôlés [1], [2]. En plus de leur efficacité énergétique, les avantages des LEDs résident dans la possibilité de recomposer le spectre idéal et d'ajuster l'intensité lumineuse nécessaire pour la photosynthèse, la synthèse et l'accumulation de composés phytochimiques au niveau des plantes.

## Le rôle de la lumière dans la croissance des plantes

### *Les photoréponses des plantes*

La lumière influence les différentes phases de croissance de la plante depuis la germination jusqu'à la fructification. Il existe deux types de rayonnement efficace pour les plantes : le rayonnement physiologiquement actif et le rayonnement photosynthétiquement actif (*photosynthetically active radiation* ou PAR). Le rayonnement physiologiquement actif et le PAR couvrent respectivement les bandes de spectre allant de 300 à 800 nm et de 400 à 700 nm. Ces rayonnements interviennent aussi bien dans les processus des différentes photoréponses – photosynthèse et photomorphogenèse (photopériode et phototropisme) – que pour la synthèse de pigments et autres composés phytochimiques.

Contrairement à l'homme qui utilise la lumière principalement pour la vision, les végétaux l'utilisent sous deux formes. En effet, ils convertissent l'énergie lumineuse en énergie chimique (photosynthèse) d'une part et captent la lumière en tant que signal pour le contrôle de leur développement (photomorphogenèse) d'autre part, comme l'illustre la figure 1. La photosynthèse est réalisée grâce à la chlorophylle « a », dit « pigment principal », qui absorbe les longueurs d'onde dans le bleu (470 nm) et dans le rouge (660 nm). Les autres pigments, qualifiés de pigments secondaires, la chlorophylle « b » et les caroténoïdes, absorbent respectivement dans le bleu, le rouge et le jaune. Ces pigments transmettent les lumières qu'elles absorbent à la chlorophylle « a ». Ainsi, ils permettent à la plante d'absorber la lumière dans une large bande spectrale. La photomorphogenèse est réalisée grâce à des photorécepteurs qui captent la lumière dans des bandes de spectres bien spécifiques (figure 1b). Il s'agit des phytochromes sensibles aux lumières

rouges et proche infrarouges et qui régulent pratiquement toutes les phases de développement des plantes. Ensuite, les phototropines captent la lumière bleue pour le processus de phototropisme (orientation de la plante vers la lumière). On a également les photochromes qui eux absorbent la lumière rouge pour réaliser le photopériodisme (impact de la durée du jour et de la nuit sur diverses réactions physiologiques). Le photopériodisme influence le temps de floraison. Enfin, les cryptochromes impliquées dans le rythme circadien des plantes captent la lumière bleue.

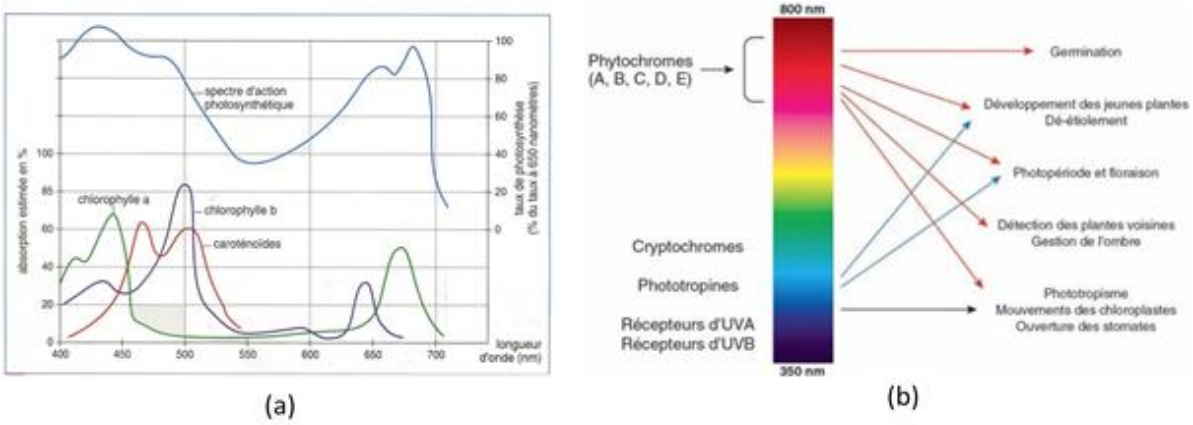



Figure 1 : Absorption de la lumière par la plante : (a) spectre d'absorption des pigments chlorophylliens et spectre d'action photosynthétique - Source : https://www.monprofsvt87.com (b) spectre de la lumière dans le processus de photomorphogenèse - Source : https://www.capteurs-et-mesures-agralis.com

Enfin, les LEDs permettent également de réduire le coût énergétique avec un éclairage intermittent à haute fréquence sans impact ni sur la durée de vie de la source d'éclairage, ni sur l'efficacité photosynthétique. L'éclairage intermittent favorise la croissance et l'accumulation de composés phytochimiques dans la culture de nombreuses plantes et constitue un moyen de faire des économies d'énergie supplémentaires.

## *Production de composés phytochimiques*

De nombreuses études ont montré que l'accumulation de composés phytochimiques (vitamines, sucres solubles, protéines, antioxydants), dans les légumes ou les fruits, dépend de plusieurs facteurs. Il s'agit notamment du génotype, des conditions d'éclairage, de la température ambiante, de l'irrigation et de la fertilisation. En outre, il a été rapporté que la synthèse et l'accumulation de composés phytochimiques chez les plantes étaient bien corrélées avec l'activité photosynthétique. Par conséquent, des conditions d'éclairage optimales sont d'une importance capitale pour favoriser l'accumulation de ces composés [3], [4]. Par ailleurs, les légumes contiennent aussi des substances nocives, telles que l'acide nitrique et l'oxalate, qui s'accumulent facilement et en excès chez des plantes telles que la laitue et les épinards, en particulier pendant la culture hors saison. Les raisons de cette accumulation incluent les fluctuations ou l'inadaptation de la lumière (intensité, spectre et la distribution spatiale) [3].

Les conditions de lumière (le spectre lumineux) et les engrais azotés sont les principaux facteurs affectant l'accumulation de nitrates dans les plantes. En effet, la lumière rouge, contrairement à la lumière bleue, réduit efficacement la concentration en nitrates chez les plantes. Cependant, la lumière bleue augmente la concentration en azote.

Concernant la synthèse et l'accumulation d'oxalates, des études ont montrées que les lumière UV (et particulièrement l'UV-B) et la lumière rouge sont respectivement efficaces pour augmenter et diminuer l'accumulation d'oxalate dans les légumes cultivés en environnements contrôlés [3].

Par ailleurs, la qualité de la lumière influence significativement la synthèse et l'accumulation de protéines et de sucres solubles. En effet, de façon générale, comparé aux autres spectres de lumière, les lumières rouges et bleues sont plus efficaces pour augmenter le sucre soluble et les niveaux de protéines solubles dans les légumes produits en milieux contrôlés, respectivement.

Concernant les pigments tels les caroténoïdes, même si les concentrations peuvent varier selon les espèces de plante, les spectres rouges, bleus et UV-B ont des effets plus importants, favorisant la synthèse et l'accumulation de caroténoïdes dans les légumes.

Une intensité lumineuse optimale favorise également la photosynthèse et l'accumulation de matière sèche et de composés phytochimiques, alors qu'une irradiation en excès ou inadaptée peut inhiber ces processus. Les photoréponses, la synthèse et l'accumulation de composés phytochimiques au cours de la croissance de la plante dépendent en grande partie des conditions d'éclairage (spectre et intensité lumineuse). Il est donc important d'utiliser des systèmes d'éclairage qui, en plus d'être efficaces énergétiquement, répondent aux besoins des plantes.

## Les systèmes d'éclairage horticoles

### *Etats des lieux et potentiels des LED*

Les installations horticoles peuvent être classées en deux catégories suivant la source de lumière utilisée : les serres, qui utilisent la lumière solaire comme source principale de lumière et les usines de plantes, qui utilisent des sources de lumière artificielle. Dans les deux cas, la lumière joue un rôle important dans la culture protégée.

Il existe plusieurs lampes horticoles suivant la technologie de génération de la lumière. Les sources de lumière artificielle traditionnelles utilisées pour l'éclairage horticole comprennent les lampes à incandescence, les lampes au sodium haute pression (HPS), les lampes aux halogénures métalliques (HM) et les lampes fluorescentes. Les lampes à incandescence ont été les premiers types de source de lumière artificielle à être utilisées dans l'horticulture. Cependant, ces lampes ont une faible efficacité énergétique. En effet, le PAR des lampes à incandescence ne représente que 15 % de l'énergie électrique consommée. Près de 85 % de l'énergie électrique consommée est perdue car dissipée sous forme de chaleur. Les lampes fluorescentes, quant à elles, ne favorisent pas la floraison car elles ne fournissent pas la lumière dans le spectre rouge lointain. De plus, l'efficacité énergique des lampes fluorescentes est relativement faible. Actuellement, les lampes HPS restent largement utilisées comme sources de lumière en horticulture en raison de leur durée de vie et de leur efficacité énergétique. Cependant, seulement 30 % de l'électricité consommée par les lampes HPS sont convertis en lumière efficace pour la croissance de la plante cependant que 70 % sont perdus sous forme de chaleur. Les lampes MH ont un spectre large mais accentué dans le bleu ce qui ne favorise pas la floraison contrairement aux lampes HPS. Cependant, comparativement aux lampes à incandescence et aux lampes HPS, le spectre des lampes MH est plus adapté à la croissance des plantes, mais ces lampes ont une efficacité énergétique faible (environ 24 %). Les technologies des lampes fluorescentes, MH et HPS ne permettent pas de faire varier l'intensité de la lumière. Il est donc impossible d'adapter la quantité de lumière qu'elles fournissent en fonction des besoins de la plante dans le temps. Ainsi, ces technologies ne favorisent pas l'automatisation de l'éclairage dans

les serres horticoles. En raison des exigences d’efficacité énergétique, de croissance et de synthèse de composés phytochimiques des plantes, l’adoption de nouvelles sources lumineuses est nécessaire pour l’éclairage horticole en environnement contrôlé.

Les diodes électroluminescentes constituent une source de lumière alternative. La première LED a été inventée en 1964 mais les LED n’ont été utilisées dans la recherche sur l’éclairage des plantes que dans les années 1980. Cependant, elles se démocratisent de plus en plus par rapport aux autres technologies d'éclairage traditionnelles. Leur longue durée de vie, leur efficacité énergétique élevée, leur taille et leur flexibilité sont les moteurs de cette expansion et favorisent leur utilisation dans une large variété d'applications et notamment dans le domaine de l'éclairage horticole (figure 2). Ainsi, la technologie LED permet le développement des usines de plantes grâce notamment à leur petite taille et à leur robustesse. Pour la croissance des plantes, les LED présentent trois avantages majeurs : une intensité variable, une grande variété de lumière monochromatique (ce qui permet de faire des combinaisons de spectre et donc fournir le spectre adapté) (figure 3) ainsi qu’une grande efficacité photosynthétique.

Par ailleurs, les systèmes à base de LED produisent moins de chaleur, ce qui permet de les rapprocher des plantes (souvent dans les feuillages) favorisant ainsi une bonne répartition de la lumière (figure 2).

Figure 2 : Eclairages horticoles à LED en milieux contrôlés (a) dans une serre – Source : https://hortamericas.com/ (b) : dans une usine de plantes - Source : https://www.ledsmagazine.com/

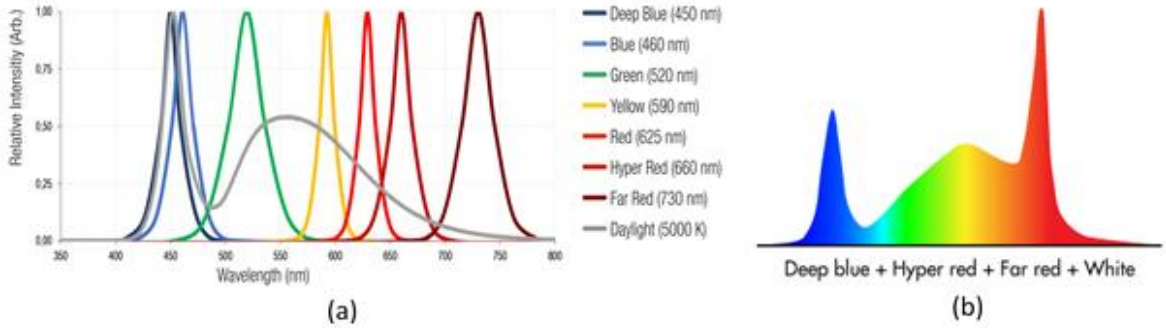



Figure 3 : Spectres de LEDs pour éclairage horticole (a) spectres monochromatiques – Source : https://www.digikey.fr/ (b) association de LEDs - Source : https://www.ledil.com/

### *Le marché des systèmes d'éclairage horticole à LED*

Les systèmes d'éclairage à LED évoluent constamment en grande partie en raison des besoins et exigences du secteur de l'éclairage général des humains. En effet, beaucoup des besoins de l'éclairage horticole sont similaires à ceux de l'éclairage destiné à l'homme (efficacité énergétique, fiabilité, contrôle numérique…). La technologie d'éclairage à LED pour l'horticulture gagne du terrain sur le marché en raison de ses nombreux avantages, notamment sa faible consommation énergétique par rapport aux technologies existantes, réduisant ainsi les coûts d'exploitation. Le développement du marché de l'éclairage horticole est principalement dû aux applications de serre et des usines de plantes surtout en milieu urbain. L'agriculture urbaine représente une solution potentielle pour faire face à la rareté des terres arables et répondre aux besoins alimentaires des consommateurs. L'eclairge à LED est également un facteur important dans le developpemnt de l'agriculture verticale. Cette technique agricole contribue entre autre à la dépollution de l'air dans les zones urbaines par l'obsorption du $CO_2$ dans le processus de la photosynthèse.

En ce qui concerne l'industrie de l'éclairage horticole à LED, les cinq principaux fabricants (notamment Philips, Osram et General Electric) occupent près de 42 % du marché (chiffres de 2016). Philips, avec une part de marché de près de 13 % (2016), est le leader du secteur. L'Europe est la plus grande région de vente de lampes LED horticoles, avec un chiffre d'environ 1 163 000 unités et une part de marché de 32,24 % (2016). L'Amérique du Nord suit avec environ 1 116 000 unités. Selon une étude menée par Value Market Research, le marché mondial de l'éclairage à LED pour l'horticulture est évalué à 868 milliards USD (en termes de revenus) en 2018 et devrait atteindre 3 912,7 milliards USD d'ici 2025 avec un taux de croissance annuel moyen de 24 %.

## Conclusion

L'utilisation de l'éclairage artificiel en horticulture en environnement contrôlé pour la croissance des plantes offre de grandes opportunités autant sur le plan économique ou énergétique que pour l'augmentation des volumes de production des produits agricoles tels que les légumes et les fruits. Parmi les systèmes d'éclairage horticole, les LED présentent de nombreux avantages pour la croissance des plantes tant sur le plan de l'efficacité énergétique que photosynthétique. De plus, avec leur longue durée de vie, elles sont à même d'assurer une rentabilité économique aux producteurs. Avec leur gamme variée de spectres monochromatiques, les LED offrent également de nombreuses possibilités dans la recherche avec notamment des thématiques concernant l'influence du spectre visible, des UV et des infrarouges sur la croissance, la synthèse et l'accumulation de produits phytochimiques au niveau des plantes. Ces applications doivent permettre d'obtenir des produits à forte valeur nutritionnelle contribuant ainsi à la lutte contre la malnutrition. Par ailleurs, le développement des usines de plantes et de l'agriculture verticale grâce aux LED permettra de lutter non seulement contre l'insécurité alimentaire et la pollution de l'air mais également de préserver les terres cultivables.

## Bibliographie

[1] R. C. Morrow, « LED lighting in horticulture », HortScience, vol. 43, no 7, p. 1947–1950, 2008.

[2] M. Olle et A. Viršile, « The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality », Agric. Food Sci., vol. 22, no 2, p. 223–234, 2013.

[3] Z. H. Bian, Q. C. Yang, et W. K. Liu, « Effects of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in controlled environments: a review: Effects of light on vegetable phytochemicals », J. Sci. Food Agric., vol. 95, no 5, p. 869‑ 877, mars 2015.

[4] J. K. Holopainen, M. Kivimäenpää, et R. Julkunen-Tiitto, « New Light for Phytochemicals », Trends Biotechnol., vol. 36, no 1, p. 7‑ 10, janv. 2018.

## Les auteurs

**Urbain Niangoran** est enseignant-chercheur à l'université Nangui Abrogoua (Abidjan). Il est ingénieur en électronique de l'INP-HB de Yamoussoukro et docteur en photonique et systèmes optoélectroniques de l'université de Toulouse 3. Ces activités de recherches notamment au sein de l'équipe Lumière et matière au laboratoire LAPLACE portent sur la modélisation et l'optimisation de systèmes d'éclairage à LED pour applications (impacts énergétique, photosynthétique et nutritionnel) en algoculture.

**David Buso**, est enseignant-chercheur à l'université Paul Sabatier. Il travaille sur la technologie de nouvelles sources de lumières et à leurs utilisations dans des applications non éclairagistes. Il travaille notamment sur la culture de microalgues en photobioréacteur depuis plusieurs années. Il s'intéresse plus particulièrement aux interactions lumières microalgues ans au travers de projets collaboratifs (public/privé) qui ont abouti à une dizaine de publications dans le domaine.

**Laurent Canale** est ingénieur de recherche au CNRS, laboratoire LAPLACE, équipe Lumière et Matière. Il est docteur en électronique des hautes fréquences et optoélectronique, président de l'Association française de l'éclairage Midi-Pyrénées et secrétaire de l'*Industrial Light & Display Committee* de l'IEEE. Ses recherches portent sur les LED et OLED. Il a dirigé deux thèses soutenues en 2017 et en dirige actuellement deux autres en cours. Il collabore également à plusieurs programmes

européens. En 2019, il obtient un financement pour son programme *MELINA*, Mastering Efficient Lighting In North Africa.

**Georges Zissis** est professeur UPS au département EEA de la FSI et chercheur au laboratoire Laplace, responsable du groupe de recherche Lumière et Matière. Il a été président de la 63e section du Conseil national des universités (2015-19) et est actuellement membre du COMEVAL (ministère de Transition écologique et solidaire). Il est président de l'IEEE Industry Applications Society (2019-20 et a reçu le 1er prix de l'IEC Centenary Challenge. Il est docteur Honoris Causa de l'université de Saint-Petersbourg.

Georges Zissis est membre émérite de la SEE,

## Summary

Horticulture in controlled environments is an alternative to meet the growing food needs of population. For plants growth in these environments, artificial lighting is necessary. This lighting must be adapted to plant i.e. a lighting that has a suitable spectrum. LED technology, although recent in horticultural lighting, has a considerable market share and steadily growing. Moreover, in addition to its variety of monochromatic spectral range suitable for photosynthesis and phytochemical compounds accumulation, it has a high energy efficiency. Horticultural lighting is a promising sector with LED manufacturing industries or horticultural lamp, distribution, fittings, consulting and others that are diversified and growing. The market is dominated by Europe and North America. Finally, in 2018, global market for LED horticultural lighting was valued in terms of revenues at 868 billion USD. This market is expected to reach 3912.7 billion USD by 2025 with an average annual growth rate of 24%.

## Abstract

L'horticulture en milieux contrôlés est une alternative pour répondre aux besoins alimentaires croissants de la population. Pour la croissance des plantes dans ces environnements, un éclairage artificiel est nécessaire. Cet éclairage doit être adapté à la plante c'est-à-dire un éclairage qui a un spectre approprié. La technologie LED, quoique récente parmi les technologies horticoles, possède une part de marché considérable et en croissance constante. En plus de sa variété de gamme spectrale monochromatique adaptée à la photosynthèse et à l'accumulation de composés phytochimiques, elle offre une efficacité énergétique élevée. L'éclairage horticole est un secteur industriel prometteur, avec la fabrication de LED ou de lampes horticoles, la distribution, les accessoires, le conseil et d'autres activités diversifiées et en croissance. Le marché est dominé par l'Europe et l'Amérique du Nord. En 2018, le marché mondial de l'éclairage horticole LED a été évalué en termes de chiffre d’affaires à 868 milliards de dollars. Ce marché devrait atteindre 3 912,7 milliards de dollars d'ici 2025 avec un taux de croissance annuel moyen de 24 %.