

Qualité de la lumière sur les cultures de fraises hors-sol sous serre et effets de l'éclairage.

Date : 30/05/2018

Rédacteur(s) : François PASCAUD, Invenio

Article rattaché à l'action n° : [6120174798](#) / Code Invenio : [01501](#)

Résumé

Depuis 2010, en culture sous serres (verres et plastiques) la thématique lumière est travaillée dans le cadre du programme d'expérimentation développé par Invenio en partenariat avec l'ensemble de la filière Fraise. La lumière est abordée selon 3 axes : (1) la production via la photosynthèse avec notamment l'utilisation d'éclairages photosynthétiques, (2) le développement via la qualité du spectre lumineux avec l'utilisation d'éclairages horticoles et (3) le potentiel (période et cinétique) de production via le contrôle de la photopériode. La présentation reviendra sur les résultats marquants obtenus dans le cadre de ces recherches et soulignera les éléments indispensables, d'un point de vue la lumière, pour le développement du fraisier ainsi que les attentes de la profession en termes de nouvelles technologies des matériaux de couverture des serres.

Abstract

Since 2010, in greenhouses (glasses and plastics) the light theme is worked in the framework of the experimentation program developed by Invenio in partnership with the entire Strawberry industry. Light is considered according to three major approaches: (1) Photosynthesis for fruit yield and quality via photosynthetic lightings (2) Light quality (i.e. light spectrum) for plant development via horticultural lighting and (3) Plant yield potential (i.e. harvest period and its kinetic) via day length control and adaptation. The present article gives a brief overview of the work done and underlines some interesting results obtained since the beginning of the project. These results highlight prerequisite for strawberry production as well as grower's expectations regarding new technologies such as roofing material.

Mots-clefs: Fraisier, Photosynthèse, photopériode, éclairage

INTRODUCTION

Plusieurs travaux témoignent de l'intérêt agronomique de l'apport de lumière artificielle pour la culture de fraises. En termes de photosynthèse, compléter des plantes avec des éclairages enrichis en longueurs d'onde bleu et rouge favorise l'assimilation photosynthétique (Moe et al., 2006; Yanagi et al., 1996). Des essais sous serre plastique sous différentes longueurs d'onde ont montré une production supérieure d'environ 15% (Choi et al., 2015; Hidaka et al., 2013; Park et al., 2014). Ces résultats ont également été observés en phytotron sur plants frigos et les résultats indiquent qu'un rapport 30% de lumière bleue et 70% de lumière rouge semble être le plus approprié (Nhut et al., 2003). Des essais conduits en conditions de production par Invenio en 2016 ont permis d'obtenir des résultats allant dans le même sens. À des doses croissantes de lumière, comme le présente la Figure 1, l'assimilation est largement stimulée lorsque la densité de flux de photon photosynthétique augmente jusqu'à atteindre un plateau entre 1300 et 1400 μmol , de $\text{photon}/\text{m}^2/\text{s}$.

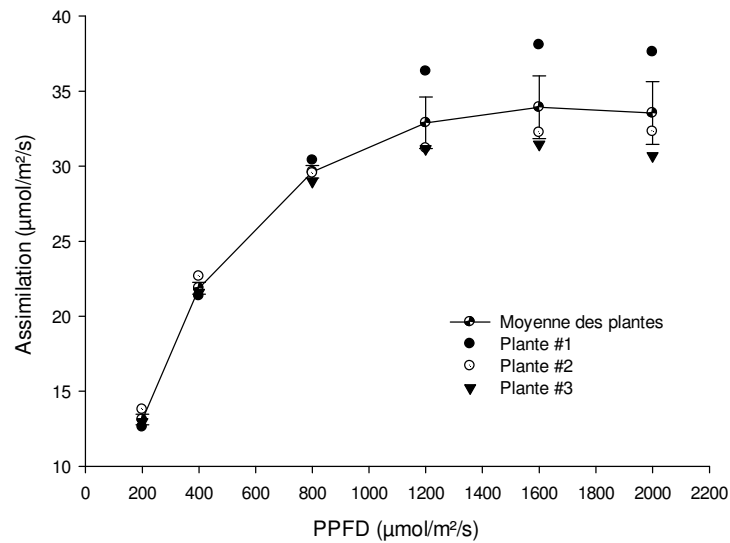


Figure 1. Variation de l'assimilation du fraisier en fonction de la densité de flux de photon photosynthétique (PPFD). L'acquisition a été réalisée avec le GFS3000, 3 plantes distinctes (numérotées de 1 à 3) sont observées, la courbe de réponse moyenne au PPFD est présentée et les l'erreur standard est figurée. Les mesures ont été réalisées avec les autres paramètres climatiques imposés (Température 20°C, HR 75%, CO₂ 1000 ppm).

La lumière n'intervient pas que dans le cadre de l'activité photosynthétique et agit aussi en tant que signal pour le développement de la plante (Demotes-Mainard et al., 2016; Huché-Thélier et al., 2016; Leduc et al., 2014). En termes de photopériode, des travaux rapportent l'importance dans le spectre lumineux des longueurs d'onde dans le rouge lointain. Ces longueurs d'onde jouent un rôle via les phytochromes dans les mécanismes de dormance/initiation florale chez le fraisier. Takeda et ses collègues ont par exemple ralenti l'initiation florale de plants en prolongeant artificiellement la photopériode (16h) à l'aide de rouge lointain (Takeda et al., 2008), inversement la levée de dormance semble facilitée en présence de rouge lointain et ce dernier pourrait favoriser le développement végétatif associé à la reprise d'activité des plants (Van Delm et al., 2012; Van Ieperen, 2012). À Invenio, l'éclairage photopériodique est travaillé depuis 5 ans. Depuis 2016, des éclairages horticoles (présentant des spectres enrichis en rouge lointain) sont étudiés dans le cadre des cultures précoces.

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'impact de l'éclairage photosynthétique sur le développement et la production de plants de fraisier conduits dans des conditions similaires à celles rencontrées dans les exploitations françaises. Ces travaux visent à évaluer la pertinence technique de ce type d'éclairage et à distinguer leurs apports tant d'un point de vue de la photosynthèse (irradiance en lien avec l'assimilation et la production) que d'un point de vue du développement (qualité de lumière et temps d'exposition/photopériode en lien avec la précocité et l'architecture du plant).

MATERIELS ET METHODES

Eclairage et évaluation de la lumière : Les mesures d'activité photosynthétiques ont été réalisées à l'aide du GFS300 (Walz, Allemagne). La qualité et la quantité de lumière ont été respectivement mesurées avec un spectrophotomètre MR-16 (Rainbow-Light Technology Co., Taïwan) et un PARmètre LI-250QR (LI-COR, U.S.A.). Les éclairages LEDs sont des prototypes dont les caractéristiques sont détaillées dans le Tableau 1 et réalisés à façon par les sociétés LEDLYT(France) et VEGELED(Belgique).

Tableau 1. Caractéristiques des éclairages

Modalité	Caractéristiques		Puissance (W/ mètre linéaire)
	Composition (L.E.D.)	PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	
BFR	Blue/3000K=16/12	165 à 10cm	60
BCB	Red/6000K=16/12	165 à 10cm	
FRBFR	Red/6000K/FarRed=14/8/6	145 à 10cm	
V6000	6000K	150 à 15cm	
V4000	4000K	150 à 15cm	
V3000	3000K	150 à 15cm	

Les consignes d'éclairages utilisées lors des expérimentations sont présentées dans le Tableau 2.

Tableau 2. Consignes d'éclairage

Modalité	Caractéristiques		Irradiance cumulée
	Période	Jour de démarrage : arrêt	
2016	16h30 à 00h30	23/12/2015 : 23/02/2016	504h avec un apport artificiel de 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$
2017	06h30 à 10h30 et de 15h30 à 19h30	13/12/2016 : 13/02/2017	

Matériel Végétal : *Fragaria ananassa*, Var. Gariguette, trayplants plantés en novembre avec 650 heures de froid en serre verre chauffée.

Dispositif expérimental : Tous les essais ont été réalisés à la station expérimentale Invenio à Sainte Livrade sur Lot (France) lors des campagnes d'expérimentation 2016 et 2017. Les dispositifs expérimentaux présentaient systématiquement pour chaque modalité d'éclairage 4 répétitions randomisées dans le compartiment de la serre verre utilisé pour l'essai. Pour chaque modalité, la distance à la source lumineuse était ajustée afin d'obtenir un PPFD de 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.

Observations et mesures : les parcelles élémentaires étaient constituées d'au minimum 12 plants. Le suivi du développement végétatif des plants : nombre de feuilles et surface foliaire a été

réalisé sur 4 répétitions de 6 plants par modalité. Le suivi de récolte : rendements commerciaux, bruts, taux de déchets, poids moyens des fruits commercialisables a été réalisé sur 4 répétitions de 12 plants par modalité.

Traitement statistique des résultats : l'analyse statistique a été réalisée avec le logiciel R. Dans les graphiques, lorsque c'est possible, les écarts-types sont figurés. Lorsque les moyennes des modalités sont statistiquement différentes, une comparaison multiple de ces dernières est réalisée (test de Newman et Keuls) et les groupes d'appartenance sont figurés sur les graphiques par des lettres.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les essais "éclairages photosynthétiques" ont été conduits pendant les campagnes d'expérimentation 2016 et 2017. Lors de ces deux campagnes, les dispositifs expérimentaux étaient équivalents et seules les modalités d'éclairages (type de L.E.D. et consignes) ont été modifiées et/ou ajustées. Les Tableau 3 et 4 présentés ci-dessous synthétisent l'ensemble des résultats obtenus pour les deux années d'expérimentation.

En 2016, le développement et les rendements de fraisiers soumis à trois types d'éclairages photosynthétiques ont été comparés à un témoin pour lequel l'éclairage photosynthétique était absent. Les consignes d'éclairage détaillées dans le Tableau 2 ont permis d'apporter pendant l'équivalent de 21 journées, 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ de photon en supplément de la lumière naturelle (Tableau 2). Dans les conditions de l'essai, l'architecture des plants (représentée par la longueur de pétiole ainsi que la surface foliaire) a varié en fonction de l'éclairage L.E.D considéré.

Les plants de la modalité FRBFR (Tableau 1) présentaient le développement végétatif le plus important avec des longueurs de pétioles et des surfaces foliaires supérieures par rapport au témoin sans éclairage respectivement de supérieures de +49% et 68%. Une tendance à l'augmentation des longueurs de pétioles et des surfaces foliaires supérieures est aussi observée pour les modalités BFR (respectivement +7% et +40%) et BCB (+25% et +40%). La précocité, représentée par le nombre fleurs émises, est aussi affectée par le type d'éclairage utilisé. 86 jours après plantation, la modalité BCB présentait un nombre de fleurs plus important (+25%) que le témoin non éclairé. Des écarts sont aussi observés en termes de rendement, dans les conditions de l'essai, les modalités BCB et BFR avaient une meilleure productivité (respectivement +17% et +14%).

Tableau 3. Suivi du développement et de la production du plant, expérimentation 2016

Modalité	Longueur de pétiole (cm)		Surface foliaire (cm ²)		Nombre de fleurs		Rendement (g/plant)	
	Moy.	NKS ¹	Moy.	NKS ¹	Moy.	NKS ¹	Moy.	NKS ¹
BFR	18.2	ab	1737	ab	16.5	ab	374	bc
BCB	21.3	bc	1730	ab	17.9	b	384	c
FRBFR	24.9	c	2071	b	16.6	ab	341	ab
Témoin sans éclairage	17	a	1232	a	14.3	a	328	a

ANOVA (Pr(>F))	3x10 ⁻⁴	0.01	0.04	0.002
-------------------	--------------------	------	------	-------

¹NKS: résultat du test de Newman et Keuls

En 2017, l'essai a été reconduit en modifiant d'une part les L.E.D utilisées et d'autre part les consignes d'éclairages. L'objectif était à la fois d'introduire des qualités de lumières différentes (modalités V6000, V4000 et V3000) et de profiter des hygrométries et de températures intéressantes du début (6h30 – 10h30) et de la fin de journée (15h30-19h30) pour maximiser l'efficacité de l'apport lumineux. Comme en 2016, le développement et les rendements de fraisiers soumis à 5 types d'éclairages photosynthétiques ont été comparés à un témoin pour lequel l'éclairage photosynthétique était absent. Les consignes d'éclairage détaillées dans le Tableau 2 ont permis d'apporter, comme en 2016, pendant l'équivalent de 21 journées, 150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ de photon en supplément de la lumière naturelle (Tableau 2). L'ensemble des résultats est synthétisé dans le Tableau 3.

Tableau 4. Suivi du développement et de la production du plant, expérimentation 2017

Modalité	Longueur de petiole (cm)		Surface foliaire (cm ²)		Nombre de fleurs		Rendement (g/plant)	
	Moy.	NKS ¹	Moy.	NKS ¹	Moy.	NKS ¹	Moy.	NKS ¹
BFR	27,6	-	2135	-	27,3	-	336	-
BCB	25,0	-	1788	-	27,4	-	332	-
V3000	26,0	-	2035	-	25,9	-	348	-
V4000	25,5	-	1831	-	28,1	-	347	-
V6000	25,1	-	1670	-	29,2	-	338	-
Témoin sans éclairage	24,8	-	1760	-	25,7	-	325	-
ANOVA (Pr(>F))	0,647		0,498		0,579		0,823	

¹NKS: résultat du test de Newman et Keuls

Quel que soit le paramètre considéré, il n'a pas été possible d'identifier de différences significatives entre les différentes modalités testées. En 2017, bien que l'apport de lumière artificielle soit identique à 2016, les résultats indiquent qu'il n'y a pas eu de modification notable du comportement des plants (architecture/précocité et rendement). Au regard des résultats obtenus pour les modalités BFR et BCB et des protocoles mis en place en 2016 et 2017, la période d'utilisation des éclairages est un des seuls paramètre susceptible d'expliquer les écarts observés entre les deux expérimentations.

Les consignes d'éclairages définies dans le Tableau 2 modifient à la fois l'énergie lumineuse disponible pour l'assimilation (« hypothèse photosynthèse ») et la durée du jour (« hypothèse photopériode ») perçue par la plante.

Il est possible de supposer que les apports de lumière artificielle réalisés en 2017 ont été négligeables par rapport au rayonnement naturel reçu (i.e. l'éclairage artificiel a été mis en route alors que le niveau d'irradiance naturelle était saturant pour la plante) mais les données présentées Figure 2 indiquent que, dans le meilleur des cas (journée de Février sans couverture nuageuse), les niveaux d'irradiance même supplémentés avec une source de lumière artificielle n'excèdent pas $550 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ de photon. Ces niveaux d'irradiance restent largement en deçà des seuils de saturation de l'assimilation présentés dans la Figure 1.

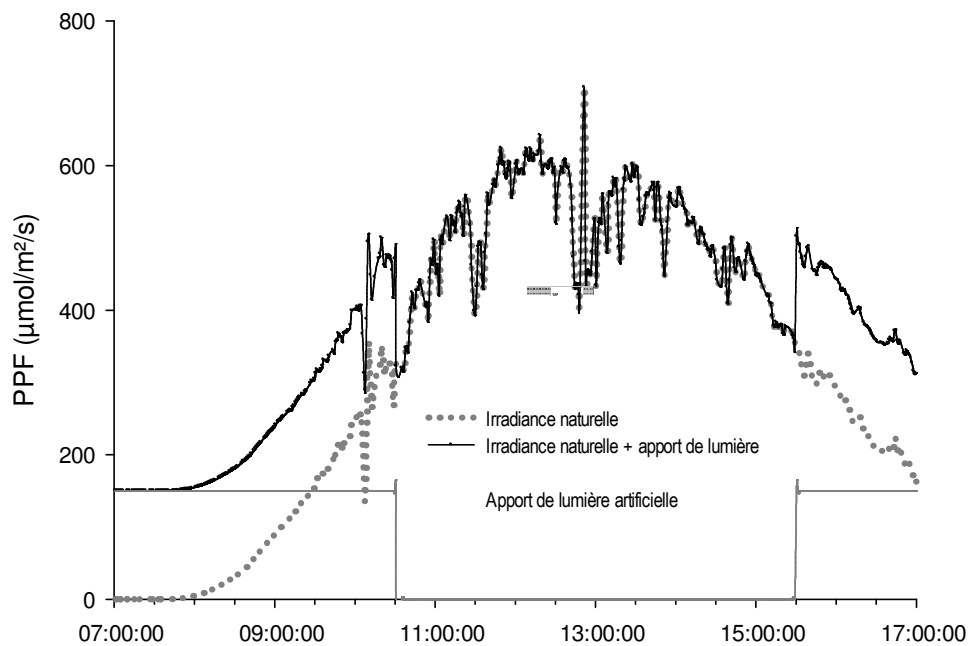


Figure 2. Représentation schématique des consignes d'éclairage pour l'année 2017. La courbe en pointillé gris représente le rayonnement naturel enregistré sous abri (multi-chapelle plastique) lors d'une journée type de Février sans couverture nuageuse. La courbe en noire représente la somme du rayonnement naturel et du rayonnement artificiel apporté via les L.E.D (les périodes de fonctionnement sont indiquées en gris).

Si on exclut « l'hypothèse photosynthèse », l'augmentation de la photopériode lors des essais de 2016 pourrait être à l'origine des écarts observés entre le témoin non éclairé et les autres modalités de l'essai. En effet, les consignes utilisées en 2016, en plus d'apporter un supplément de lumière, rallongent la photopériode naturelle (par exemple +7h30 en décembre et +6h en Février). Ce rallongement de photopériode peut expliquer les écarts de développement des plants observés (Lieten, 1997; Palha, 2005; Vince-Prue et al., 1976). Cette hypothèse est confortée par le fait que les éclairages FRBFR, dont le spectre d'émission contient du rouge lointain (720 nm), sont ceux permettant le meilleur développement foliaire (Tableau 3) comme suggéré précédemment (Van Delm et al., 2012). Dans les conditions de l'essai réalisé en 2016, l'amélioration du développement des plants sous éclairage artificiel a très certainement augmenté la capacité des plants à percevoir le rayonnement naturel et par conséquent favorisé l'augmentation de rendement. Il faut cependant noter que l'augmentation de surface foliaire, si elle est trop importante, semble être préjudiciable au rendement comme le suggèrent les résultats obtenus avec les modalités BFR et FRBFR (Tableau 3).

CONCLUSIONS

Dans les conditions des essais, un supplément de lumière de $150\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ de photon pendant l'équivalent de 500 heures n'est intéressant que lorsque cet apport est couplé à une augmentation de la photopériode. Dans ces conditions, l'intérêt des éclairages photosynthétiques est discutable dans la mesure où l'augmentation de la photopériode peut être gérée avec des sources lumineuses moins onéreuses et énergivores telles que des ampoules à incandescence traditionnellement utilisées. Au-delà de ces résultats, il apparaît important de noter que la qualité de la lumière joue un rôle capital dans le développement du plant. Les résultats obtenus démontrent par exemple l'intérêt du rouge lointain dans le développement du plant, mais ce n'est pas la seule composante du spectre naturel à agir sur le développement et la physiologie du plant. Des études récentes relatent la découverte de nombreux photorécepteurs (UVR8 pour les UV, phototropines et cryptochrome pour les bleus, phytochrome pour le rouge et le rouge lointain, Huché-Théliier et al., 2016). A ce titre, il est important de ne pas réduire la lumière à sa seule intensité (irradiance) mais de considérer aussi sa qualité (composition spectrale dans le visible et au-delà) et sa périodicité (photopériode). Les développements technologiques en cours autour des matériaux de couverture de serre et des éclairages horticoles devront prendre en compte l'ensemble de ces paramètres pour satisfaire les besoins du fraisier mais aussi celui de ses producteurs.

REMERCIEMENTS

Le projet a été réalisé dans le cadre d'un financement France Agrimer avec le soutien financier de l'AOPn Fraîse de France.

REFERENCES

- Choi, H.G., Moon, B.Y., and Kang, N.J. (2015). Effects of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic greenhouse and in a growth chamber. *Sci. Hortic.* 189, 22–31.
- Demotes-Mainard, S., Péron, T., Corot, A., Bertheloot, J., Le Gourrierc, J., Pelleschi-Travier, S., Crespel, L., Morel, P., Huché-Théliier, L., Boumaza, R., et al. (2016). Plant responses to red and far-red lights, applications in horticulture. *Environ. Exp. Bot.* 121, 4–21.
- Hidaka, K., Dan, K., Imamura, H., Miyoshi, Y., Takayama, T., Sameshima, K., Kitano, M., and Okimura, M. (2013). Effect of Supplemental Lighting from Different Light Sources on Growth and Yield of Strawberry. *Environ. Control Biol.* 51, 41–47.
- Huché-Théliier, L., Crespel, L., Gourrierc, J.L., Morel, P., Sakr, S., and Leduc, N. (2016). Light signaling and plant responses to blue and UV radiations—Perspectives for applications in horticulture. *Environ. Exp. Bot.* 121, 22–38.
- Leduc, N., Roman, H., Barbier, F., Péron, T., Huché-Théliier, L., Lothier, J., Demotes-Mainard, S., and Sakr, S. (2014). Light Signaling in Bud Outgrowth and Branching in Plants. *Plants* 3, 223–250.
- Lieten, F. (1997). Effects of chilling and night-break treatment on greenhouse production of "Elsanta." *Acta Hortic.* 633–640.
- Moe, R., Grimstad, S.O., and Gislerod, H.R. (2006). The use of artificial light in year round production of greenhouse crops in Norway. *Acta Hortic.* 35–42.
- Nhut, D., Takamura, T., Watanabe, H., Okamoto, K., and Tanaka, M. (2003). Responses of strawberry plantlets cultured in vitro under superbright red and blue light-emitting diodes (LEDs). *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 73, 43–52.

Palha, M.G.S. (2005). Strawberry Growth and Development in the Mild Winter European Regions. *Int. J. Fruit Sci.* 5, 83–90.

Park, Y.H., H.Y. Ryu, H.M. Choo, M.H. Kim, and B.S. Seo (2014). Effect of different supplement lights for strawberry growth and fruit quality. *Acta Hort.* 903–906.

Takeda, F., Glenn, D.M., and Stutte, G.W. (2008). Red Light Affects Flowering Under Long Days in a Short-day Strawberry Cultivar. *HortScience* 43, 2245–2247.

Van Delm, T., Melis, P., Stoffels, K., and Baets, W. (2012). Breaking dormancy by cyclic lighting in Strawberry glasshouse cultivation: sustainable alternatives for incandescent lamps. In *Acta Horticulturae*, (International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium), pp. 251–258.

Van Ieperen, W. (2012). Plant morphological and developmental responses to light quality in horticultural context. *Acta Hort.* 131–139.

Vince-Prue, D., Guttridge, C.G., and Buck, M.W. (1976). Photocontrol of petiole elongation in light-grown strawberry plants. *Planta* 131, 109–114.

Yanagi, T., Okamoto, K., and Takita, S. (1996). Effect of blue and red light on photosynthetic rate of strawberry leaves. In *Acta Horticulturae*, (International Society for Horticultural Science (ISHS), Leuven, Belgium), pp. 371–376.