
Fraise 2015

Synthèse bibliographique : Eclairage photosynthétique

Date : 05/02/2016

Rédacteur(s) : François PASCAUD – Fanny THIERY

Essai rattaché à l'action n° : 18.2015.01

Titre de l'action : Culture de fraise hors-sol : maîtriser l'itinéraire technique et l'impact environnemental

1. Thème de l'essai

En France, la production de fraise de printemps s'étale de fin février à fin juillet. L'essentiel de cette production est réalisée par trois grands bassins de production : le Centre-Ouest, le Sud-Ouest ainsi que le Sud-Est. Chaque bassin de production a ses spécificités et la région Sud-Ouest, qui nous intéresse plus particulièrement ici, a largement investi dans la culture sur substrat organique, plus communément dénommée culture hors-sol. Rien que dans le Sud-Ouest, les surfaces de fraise hors sol ont été multipliées par quatre en 10 ans. La dernière enquête réalisée par le CTIFL en 2013 évalue à 260 ha les surfaces de fraises hors sol dans le Sud-Ouest soit 40% de la surface totale française. Ce type de culture mis en place au milieu des années 1990 possède de multiples avantages et il permet par exemple: (1) pallier aux des impasses techniques de lutte contre les bio-agresseurs telluriques, (2) de fidéliser une main d'œuvre locale (moindre pénibilité, allongement de la période d'activité) enfin (3) d'allonger la période de production en limitant les contraintes climatiques notamment dans le cas de la culture sous serre verre ou multi-chapelle. Ces adaptations ont ainsi permis aux fraisculteurs de faire face à la concurrence du marché européen en proposant une fraise de qualité supérieure et homogène et, par la même, de produire plus précocement (dès fin février) par rapport aux autres bassins de production français (Sud-Est : début mars ; Centre-Ouest : mi-mars, Source Agreste).

Cette production toujours plus précoce correspond à une demande des consommateurs. En 2014 par exemple, les valeurs d'importations de fraise n'ont cessé d'augmenter de février à mai jusqu'à atteindre une valeur de 25 kT (Source Agreste). Cette demande forte qui n'est pas comblée par la production française est, par ailleurs, associée à un prix sur le marché relativement élevé (indice des prix agricoles à la production à 150 contre 90 en pleine période de production, Source Agreste). Le créneau précoce, bien que nécessitant un investissement important, permet la production d'un fruit à forte valeur ajoutée dont le marché français semble être demandeur. Ce créneau peut donc être perçu comme rémunérateur.

L'objectif des travaux d'Invenio est d'apporter aux producteurs de Fraise des solutions innovantes permettant d'exploiter au mieux cette demande en favorisant l'implantation et la production précoce de fraises.

Différentes approches peuvent être envisagées pour favoriser la précocité de la production : d'une part, un travail en amont dès la production de plants (pépinière) pour favoriser le développement végétatif et floral du plant et sa reprise après une période de dormance. D'autre part, en favorisant un environnement climatique propice à une vigueur végétative précoce. C'est ce 2^{ième} point que nous allons développer dans la suite de cette synthèse.

Quatre paramètres environnementaux conditionnent le bon développement du fraisier ainsi que des plantes d'une manière générale : (1) la température, (2) les apports en eau et nutriments, (3) le rayonnement (que ce soit en terme de photopériode ou de photosynthèse) et (4) le dioxyde de carbone (CO₂). Les modes de cultures hors sol permettent une maîtrise de la température

(chauffage/ventilation) ainsi que le contrôle de l'apport en eau et nutriments (Fertirrigation). La suite de cette synthèse s'intéressera donc plus particulièrement aux apports possibles en termes de rayonnement.

2. Objectif

L'objectif de cette étude est, à partir de recherches bibliographiques portant à la fois sur l'éclairage photosynthétique et sur le CO₂, de réaliser un état des lieux des connaissances disponibles dans le cas du fraisier mais aussi des autres espèces cultivées sur substrat organique (ex : tomate, aubergine...). Ces synthèses permettent (1) d'identifier les connaissances acquises et à acquérir en termes de conduite culturale dans le cas du fraisier et (2) de définir les protocoles des expérimentations à conduire en 2016, 2017 et 2018.

Les premières recherches bibliographiques effectuées ont mis en évidence que les aspects rayonnements et CO₂ étaient étroitement liés. De ce fait nous avons choisi de bâtir une synthèse bibliographique commune aux deux thématiques.

Les données recueillies au cours de cette synthèse ont permis de définir un protocole d'évaluation de l'éclairage photosynthétique sur fraisier pour la campagne 2016 et de définir une ébauche de protocole pour tester l'effet conjoint du CO₂ et de l'éclairage photosynthétique (approche qui sera menée en 2017).

3. Synthèse

A. Rappel sur la lumière

A notre échelle, on peut considérer que la lumière est une radiation électromagnétique qui se caractérise d'une part, par son spectre (les longueurs d'onde électromagnétiques qu'elle contient, Figure 1) et d'autre part, par son intensité.

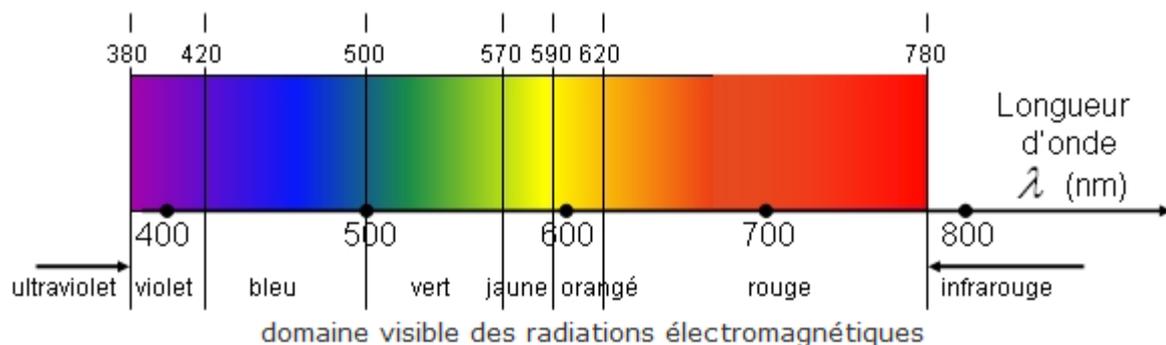


Figure 1 Correspondance longueur d'onde et couleur (Source Wikipedia)

Dans le visible, une lumière bleue aura pour principale caractéristique d'avoir un spectre d'émission majoritairement compris entre 420 et 500 nm. A l'opposé, une lumière rouge aura un spectre d'émission majoritairement compris entre 650 et 780 nm. La couleur blanche correspond à la superposition de plusieurs couleurs et donc de longueurs d'ondes diverses comprises entre 400 et 700 nm. Le spectre d'un blanc dit « froid » est plus prononcé dans le bleu (420-500nm) alors que le spectre d'un blanc « chaud » est plus prononcé dans le jaune-rouge (600-700nm).

Il existe plusieurs unités de mesures de l'intensité lumineuse, nous ne considérerons que les rayonnements dits photosynthétique qui se quantifient en micro-Enstein ($\mu E = \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) qui reflètent une intensité uniquement pour une gamme de longueurs d'onde comprise entre 400 et 700 nm.

Les plantes perçoivent la lumière naturelle et ses variations par l'intermédiaire d'un ensemble de composés chimiques principalement connus sous le nom de pigments et photorécepteurs. Ces composés sont capables, à une longueur d'onde donnée, d'absorber une partie de l'énergie lumineuse. La liste de ces composés est longue et leur importance varie en fonction de l'espèce étudiée. Dans la suite de cette synthèse, nous allons nous intéresser plus particulièrement à deux pigments, la chlorophylle a et b et à une famille de photorécepteurs : les phytochromes (Lodish et al., 2000).

B. Le rayonnement et la photosynthèse

Dans les mécanismes de photosynthèses, les chlorophylles sont les pigments qui permettent la transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique nécessaire à la réaction de photosynthèse. Toute l'énergie lumineuse n'est pas exploitée, en effet les chlorophylles ont des spectres d'absorption relativement bien spécifiques : la chlorophylle a a pour spectre d'absorption principale le bleu à 430 nm et le rouge à 660 nm ; la chlorophylle b a pour spectre d'absorption principale le bleu à 445 nm et le rouge à 645 nm (Figure 2).

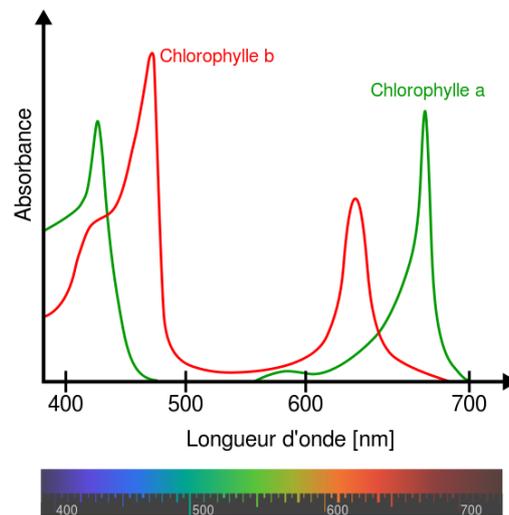


Figure 2 : Spectre d'absorption des chlorophylles a et b (Source Wikipedia)

Les phytochromes, quant à eux, sont impliqués dans des mécanismes de régulation du développement tels que la germination, les levées de dormance (Smith and Whitelam, 1990) ou encore la floraison (Amasino, 1996). Leur spectre d'absorption principal est dans le rouge lointain à 660 et 720 nm (Jacques, 1987). De manière schématique, leurs propriétés changent en fonction de leur état d'excitation et donc de l'intensité et du spectre de la lumière utilisée. C'est le ratio entre la quantité de phytochromes excités et au repos qui conditionne la réponse des plantes.

Un éclairage dit photosynthétique est une source de lumière qui permet en pratique d'exciter les chlorophylles (a et b) et qui conduit donc à une stimulation de la photosynthèse. Pour qu'il y ait excitation, il faut que le spectre d'émission de la source lumineuse soit chevauchant « au moins » avec celui des chlorophylles. Il doit donc posséder des pics d'émissions aux longueurs d'ondes des chlorophylles. La stimulation de la photosynthèse est d'autant plus forte que l'intensité à une longueur d'onde donnée est élevée.

Maitriser le spectre d'émission de l'éclairage va permettre, en jouant sur l'apport en rayonnement bleu/rouge photosynthétique et rouge lointain, de maitriser le développement de la plante et la transition entre ces différents stades phénologiques. Cependant, le type d'éclairage souhaité dépend fortement des conditions de culture et de la possibilité d'un apport de lumière naturelle en journée. En

horticulture, différents dispositifs d'éclairage sont disponibles, leur utilisation est variable suivant le contexte dans lequel est la culture :

- en croissance : il faut privilégier les longueurs d'onde bleue qui procurent une lumière blanche typique du printemps. Cette longueur d'onde bleue peut être procurée par des néons horticoles dits blanc froid, des lampes horticoles Haute Pression aux Iodures Métalliques (MH), des diodes électroluminescentes (LED). Cependant les néons sont à proscrire s'il n'y a pas d'apport de lumière naturelle car ils génèrent une intensité lumineuse insuffisante pour assurer une croissance optimale des plantes.
- en floraison : il faut privilégier les longueurs d'onde rouge qui procurent une lumière jaune comme celle que l'on retrouve en été. Cette longueur d'onde rouge peut être procurée par des néons horticoles dits blanc chaud, des lampes horticoles Haute Pression Sodium (HPS), des diodes électroluminescentes (LED). Comme précédemment, les néons sont à proscrire s'il n'y a pas d'apport de lumière naturelle.

C. Le cas de la fraise

Plusieurs travaux témoignent de l'importance du choix d'un spectre lumineux adapté pour la culture de fraises. In vitro, les taux de photosynthèse sont largement dépendant des proportions bleu/rouge du spectre lumineux (Yanagi et al., 1996). Des essais sous serre plastique sous différentes longueurs d'onde, bleu (448 nm) uniquement, rouge uniquement (634 et 661 nm) et rouge et bleu simultanément ont montré une production supérieure (environ 15%) lorsque la source lumineuse était réalisée avec une combinaison de bleu et de rouge (Choi et al., 2015). 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).

Indépendamment des aspects purement photosynthétiques, des travaux rapportent l'importance dans le spectre lumineux des longueurs d'ondes dans le rouge lointain. Ces longueurs d'ondes 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).

Sur la station de Meerle en Belgique, les essais d'éclairage photosynthétique ont été conduits avec un éclairage Phillips émettant à la fois dans le bleu et le rouge lointain qui permet à la fois de prendre en compte les aspects photosynthétiques et les aspects de dormance (Rouge lointain : efficace pour la photosynthèse, la reproduction végétative et la stimulation du développement foliaire ; Bleu : effet positif sur la densité et la vigueur végétative).

Il faut cependant noter que dans tous les cas de figure l'intensité lumineuse perçue par les plantes reste un facteur déterminant dans le cas d'un éclairage photosynthétique. Il est admis qu'en dessous du seuil de 20 μE la photosynthèse n'a pas lieu (Harvey, 1980). L'intensité utilisée lors de la culture dépend principalement des conditions dans lesquelles elle est menée. En chambre de culture ou in vitro, des valeurs proches de 200 μE sont généralement utilisées (Choi et al., 2015; Nhut et al., 2003; Samuoliene et al., 2010). En serre ou en tunnel, en complément de la lumière naturelle, des valeurs proches de 70 μE sont généralement utilisées (Choi et al., 2015).

Dans tous les cas, il convient de retenir que l'intensité de la lumière ou d'autres ondes linéaires se propageant à partir d'une source ponctuelle est inversement proportionnelle au carré de la distance à la source, ce qui fait qu'un objet (de même taille) placé deux fois plus loin recevra seulement un quart de l'énergie émise (pour la même période). En conséquence, un ajustement des distances entre le couvert et la source lumineuse peut être nécessaire lors de la culture.

La mesure de l'intensité lumineuse reste un élément critique pour aider à la compréhension de l'impact de l'éclairage photosynthétique. L'utilisation d'un PARmètre permet d'avoir une mesure immédiate de

l'intensité perçue par les plantes mais cette dernière reste une mesure instantanée et ne témoigne pas des variations naturelles que peuvent subir les plantes au cours de la culture. La DLI (Daily Light Integral) est utilisé en horticulture pour décrire au mieux l'apport de lumière sur les cultures (Torres and Lopez) mais pour l'heure il n'y a pas de données disponibles dans le cas de la fraise (Arizona Edu., 2015).

D. Les différentes méthodes d'apport d'éclairage synthétique.

Nous ne considérerons que les deux systèmes les plus utilisés à savoir les lampes à décharges (de type MH ou HPS) et les diodes électro-luminescentes

- Lampes à décharges. Elles sont couramment utilisées en horticulture. A titre d'exemple la Figure 3 présente le spectre d'émission de lampes de type HPS et MH. Le spectre d'émission correspond en partie à celui d'absorption des chlorophylles mais l'émission est plus intense dans les longueurs d'onde jaunes. Ce type d'éclairage dégage beaucoup de chaleur (il doit être maintenu loin du feuillage), possède une puissance élevée (400W par ampoules), un coût moyen et à une durée de vie de l'ordre de 15000h.

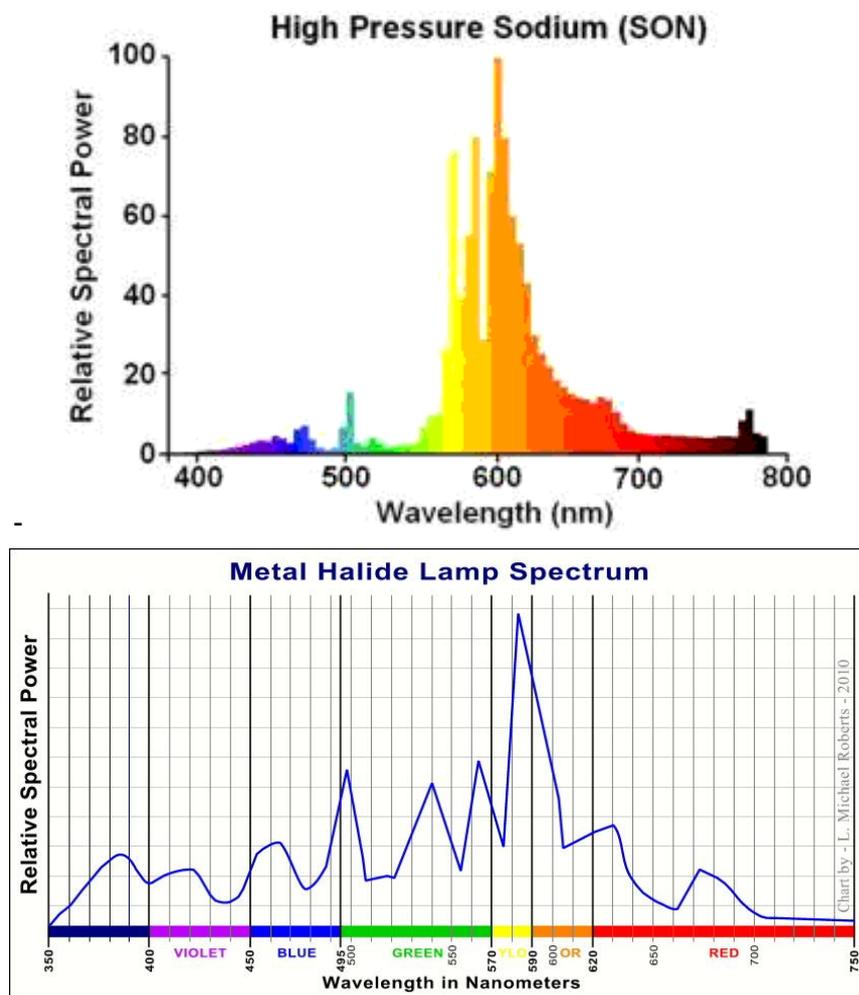


Figure 3 Spectre d'émission d'une lampe HPS (type SON Phillips) et MH (Source Wikipedia)

- Lampes LEDS : de par leur conception, les LEDs sont excessivement petites et peuvent être « monochromatiques » (spectre d'émission étroit). Les éclairages LEDS utilisés en horticulture

sont généralement des éclairages composites issus de l'assemblage de LEDs individuelles monochromatiques. A titre d'exemple, Phillips commercialise des LEDs GreenPower Production DR/B 150 composées de LEDs émettant dans le rouge lointain (660-720 nm) et le bleu (430 nm). En changeant la composition en LEDs des éclairages on peut, quasi à volonté, adapter le spectre d'émission de ces systèmes. Ce type d'éclairage ne dégage pas de chaleur, a une consommation faible (1/3 des lampes à décharge), un coût élevé (2 à 3 fois le coût d'une lampe à décharge) et une durée de vie théorique de l'ordre de 50000 h.

En termes de puissance/intensité il est important de noter que l'éclairage LED génère, en comparaison avec les lampes à décharges, une intensité plus faible. De ce fait ils doivent être placés à proximité du feuillage. Cependant comme le spectre des éclairages LED est adapté à l'éclairage photosynthétique il y a peu de perte de puissance liée à l'émission de longueurs d'ondes non-utilisées par les plantes.

E. La période et la durée d'éclairage

L'éclairage photosynthétique vient en complément de l'éclairage naturel. Il permet l'allongement de la période pendant laquelle les plantes sont photosynthétiquement actives,

Les différents essais sur fraisier semblent indiquer que son utilisation est optimale lorsque les cultures sont précoces. A titre d'exemple, pour une plantation de fin septembre, l'éclairage est mis en place au 1er novembre et vient compléter l'éclairage naturel jusqu'au 15 mars en rallongeant la photopériode de 6 heures (Choi et al., 2015). Dans les essais conduits à la station de Meerle, pour une plantation le 14 décembre, l'éclairage a été mis en utilisé du 19 décembre au 15 mars de manière à obtenir une photopériode de 13 heures.

4. Conclusions : raisonner l'apport conjoint de lumière et de CO₂

L'intérêt d'un apport de lumière et de CO₂ est d'autant plus pertinent qu'il vient combler un déficit de rayonnement ainsi que de CO₂. En période hivernale, (1) le rayonnement naturel est faible (photopériode plus courte et conditions météorologiques défavorables) et (2) la teneur en CO₂ dans les enceintes des serres est amoindrie (les températures extérieures basses limitent la ventilation des serres et donc le renouvellement de l'air). Ces deux observations font de la période hivernale le moment le plus propice à l'utilisation conjointe du CO₂ et de l'éclairage photosynthétique.

A titre d'exemple et compte-tenu des informations présentées ci-dessus le

Tableau 1 présente un exemple de conduite climatique qui pourrait s'avérer pertinente.

Tableau 1: exemple de conduite climatique prenant en compte à la fois l'apport de CO₂ et l'éclairage photosynthétique

L'ensemble des informations présentées sont le résultat de la synthèse ci-dessus, en partant du postulat d'une plantation réalisée début décembre. Les apports de CO₂ et de lumière photosynthétique sont initiés 3 semaines après plantation. La concentration est amenée à 600 ppm (\pm 300 ppm en fonction du rayonnement et de l'ouverture des ouvrants). T, température en °C ; O, ouverture des ouvrants en % ;R, rayonnement extérieur en W/m².

Paramètre	Consignes	
Chauffage*	Nuit	T=12°C
	Jour	T=18°C
Aération	Fermeture	T<18°C
	ouverture	Progressive (0 à 15%) de 18 à 24°C
CO ₂	Absence	R<50W/m ²
		O>15%
	Injection	Lorsque que l'éclairage est actif ou R>50W/m ²
	Injection enrichie	Progressive + 300 ppm entre 200W/m ² <R<450W/m ²
Injection appauvrie	Progressive - 300 ppm entre 5%<O<15%	
Eclairage photosynthétique	Absence	Hors photopériode définie, au-delà du 1er jet de production
	Présence	R<50W/m ² , 3 semaines après plantation
	Intensité	70-80 μ E au sommet de la végétation
	Spectre	Bleu, Rouge, Rouge Lointain
Eclairage photopériodique	Présence	Dès la plantation – durée en fonction de la photopériode – cf résultats 2016

* Les température de culture sont augmentées de 2°C par rapport aux consignes usuelles suite aux observations réalisées à la station de Meerle et aux données bibliographiques (Bunce, 2001; De Jager, 2001; Lieten, 1999)

5. Références bibliographiques

Amasino, R.M. (1996). Control of flowering time in plants. *Curr. Opin. Genet. Dev.* 6, 480–487.

Arizona Edu. (2015). Hydroponic Strawberry Environmental Control.

Bunce, J.A. (2001). Seasonal patterns of photosynthetic response and acclimation to elevated carbon dioxide in field-grown strawberry. *Photosynth. Res.* 68, 237–245.

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.

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.

Harvey, G.W. (1980). Photosynthetic performance of isolated leaf cells from sun and shade plants.

Jacques, R. (1987). Importance de la qualité spectrale du rayonnement. *C R Acad Agric Fr* 73, 15–24.

De Jager, K. (2001). Bij goede productie draait alles om evenwicht.

Lieten, P. (1999). Strawberries on a CO₂ diet. *Grower* 24–25.

Lodish, H., Berk, A., Zipursky, S.L., Matsudaira, P., Baltimore, D., and Darnell, J. (2000). Photosynthetic Stages and Light-Absorbing Pigments.

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.

Samuoliene, G., Brazaityte, A., Urbonaviciute, A., Sabajeviene, G., and Duchovskis, P. (2010). The effect of red and blue light component on the growth and development of frigo strawberries. *Zemdirb.-Agric.* 97, 99–104.

Smith, H., and Whitelam, G.C. (1990). Phytochrome, a family of photoreceptors with multiple physiological roles. *Plant Cell Environ.* 13, 695–707.

Source Agreste Infos Rapides Fraise 2015 n°4.

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.

Torres, A.P., and Lopez, R.G. Measuring Daily Light Integral in a Greenhouse.

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.



La responsabilité du ministère chargé
de l'agriculture ne saurait être
engagée.

