



Compte-rendu d'essai

Fraise 2016

Evaluation de l'impact de différents types d'éclairages LED photosynthétique sur le développement végétatif et la production de plants de Gariguette

Date : novembre 2016

Rédacteur(s) : Fanny Thiery, François Pascaud

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

Cet essai s'inscrit dans le cadre de la maîtrise de l'itinéraire technique.

2. But de l'essai

- 1- Evaluer l'impact de différents types d'éclairage LED photosynthétiques sur le développement végétatif et la production du plant.
- 2- Identifier quel spectre lumineux s'avère le plus pertinent dans le cas du fraisier.
- 3- Evaluer la pertinence économique de l'éclairage photosynthétique.

3. Facteurs et modalités étudiées

Comparaison de 4 conditions d'éclairage :

- Témoin sans éclairage photosynthétique artificiel
- Un éclairage LED photosynthétique enrichi en lumière bleue nommé Blanc Chaud Bleu (BCB)
- Un éclairage LED photosynthétique enrichi en lumière rouge nommé Blanc Froid Rouge (BFR)
- Un éclairage LED photosynthétique enrichi en rouge lointain nommé (BFRFR)

Facteur durée d'éclairage :

- Eclairage de 16h30 à 00h30 du 23/12/2015 au 03/02/2016 soit un apport de 14 jours de lumière artificielle supplémentaire.
- Eclairage de 16h30 à 00h30 du 23/12/2015 au 23/03/2016 soit un apport de 30 jours de lumière artificielle supplémentaire.

4. Matériel et Méthodes

- **Matériel Végétal** : Variété Gariguette, trayplants plantés le 9 novembre 2015.
- **Site d'implantation** : Station expérimentale Invenio à Ste Livrade sur Lot (47)
- **Dispositif expérimental** : Chaque modalité est représentée par un ensemble de parcelles élémentaires de 1m (soit 12 plants). Ces parcelles sont utilisées à la fois pour le suivi de développement végétatif et pour le suivi de production. Avant le 23/03/2016, le dispositif expérimental présentait 4 modalités ayant chacune 4 répétitions, après le 23/03/2016, en

raison de l'introduction du facteur durée, le dispositif a été décomposé en 8 modalités ayant chacune 2 répétitions.

- **Observations et mesures :**

- o Suivi du développement végétatif des plants : nombre de feuilles et surface foliaire. Suivi sur 2 à 4 répétitions de 6 plants par modalité
- o Suivi de récolte : rendements commerciaux, bruts, taux de déchets, poids moyens des fruits commercialisables
- o Suivi de la consommation électrique.

- **Conduite de l'essai :** conduite en serre verre à une densité de 10 plants/m² (12 plants/m) sur des sacs de substrats de fibre de coco Dumona de 1 m. Dans toutes les modalités, un éclairage photopériodique est mis en route 2 à 3 semaines après plantation et arrêté quand la première nouvelle jeune feuille mesure 15 cm. L'éclairage a lieu de 18h à 2h. Les ampoules sont placées à une hauteur d'environ 2 m au-dessus de la rangée de fraisiers.

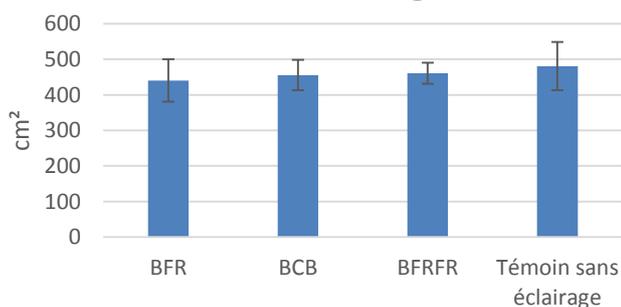
- **Traitement statistique des résultats :** l'analyse statistique a été réalisée avec le logiciel R. Dans les graphiques, lorsque c'est possible, les écarts-types sont figurés. Lorsque les moyennes des modalités sont statistiquement différentes, une comparaison multiple de ces dernières est réalisée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

5. Résultats détaillés :

➤ **Développement végétatif**

Etat de développement du plant avant mise en route de l'éclairage photosynthétique

Surface foliaire avant mise en route de l'éclairage



Au 23/12/2015, c'est-à-dire avant la mise en route de l'éclairage photosynthétique, le développement des plants était homogène.

Impact général sur l'architecture du plant (longueur de pétiole et surface foliaire du plant)

Modalité	Nombre feuilles	Longueur pétiole	Surface foliaire	Nb Fleurs
BFR	9,8	11,2 (a)	863	2,7
BCB	10,0	11,8 (a)	890	2,6
BFRFR	9,8	16,4 (b)	965	2,9
Témoign sans éclairage	10,0	12,6 (a)	752	2,3
ANOVA	NS	S	NS	NS
Prob	0.939	7.10 ⁻⁶	0.112	0.53

Au 13/01/2016, les plants de la modalité BFRFR présentent des longueurs de pétiole supérieures (+30%) à celles observées chez le témoin

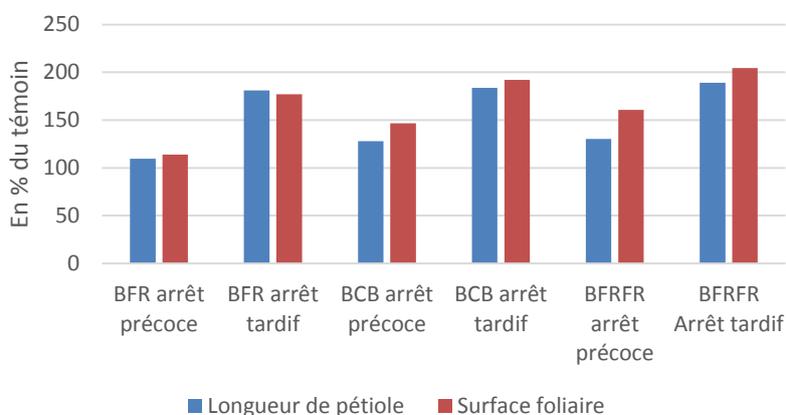
Modalité	Nombre feuilles	Longueur pétiole	Surface foliaire	Nb Fleurs
BFR	13,0 (b)	18,2 (ab)	1737 (ab)	16,5 (ab)
BCB	12,0 (a)	21,3 (bc)	1730 (ab)	17,9 (b)
BFRFR	12,9 (b)	24,9 (c)	2071 (b)	16,6 (ab)
Témoin sans éclairage	12,0 (a)	17,0 (a)	1232 (a)	14,3 (a)
ANOVA	S	S	S	S
Prob	6.10 ⁻³	3.10 ⁻⁴	0.01	0.04

Au 03/02/2016, toutes les modalités éclairées avec des éclairages photosynthétiques présentent au moins un critère de développement végétatif supérieur à celui observé

sur le témoin.

Passé le 03/02/2016, les facteurs « Arrêt Précoce » et « Arrêt Tardif » ont été introduit dans l'essai et le nombre de répétition par modalité a été réduit à deux.

Impact général sur le développement du plant (dernier suivi de végétation)

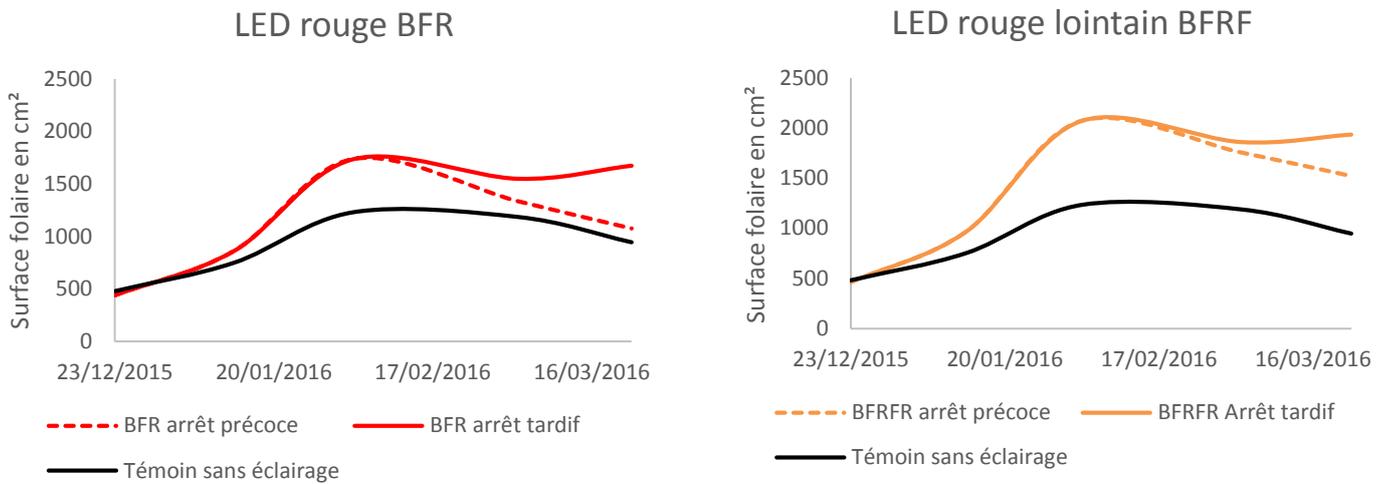


Modalité	Longueur de pétiole	Surface foliaire
BFR arrêt précoce	9	14
BFR arrêt tardif	81	77
BCB arrêt précoce	28	47
BCB arrêt tardif	84	92
BFRFR arrêt précoce	30	61
BFRFR Arrêt tardif	89	104

D'un point de vue général, l'apport d'un éclairage photosynthétique quel qu'il soit permet une augmentation à la fois de la longueur du pétiole et de la surface foliaire. Cette augmentation demeure néanmoins variable en fonction de la modalité. En effet, un développement végétatif plus important a été observé dans les modalités BCB (+47 à

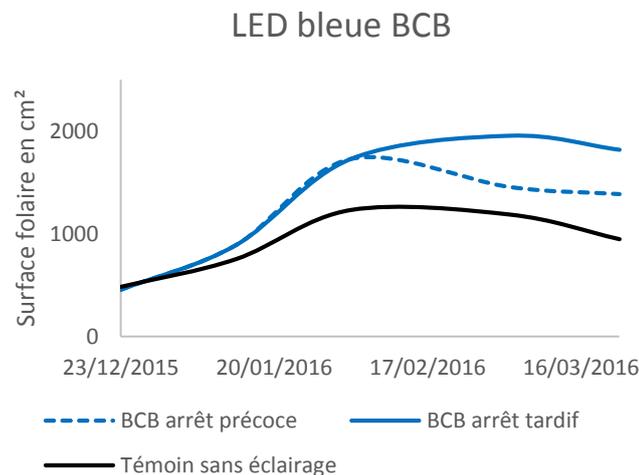
92%) et BFRFR (+61 à 104%). La durée de mise en route de l'éclairage photosynthétique joue aussi beaucoup sur le développement du plant puisque le développement est largement augmenté dans les modalités « Arrêt tardif ». Par ailleurs, la réponse au niveau pétiole et surface foliaire semble légèrement différente. Indépendamment du spectre, la longueur du pétiole semble plafonner à 80-90% de la longueur du témoin alors que l'augmentation de surface foliaire semble dépendante du spectre (+77% pour BFR, +92% pour BCB et +104% pour BFRFR).

Impact général sur la cinétique de développement du plant



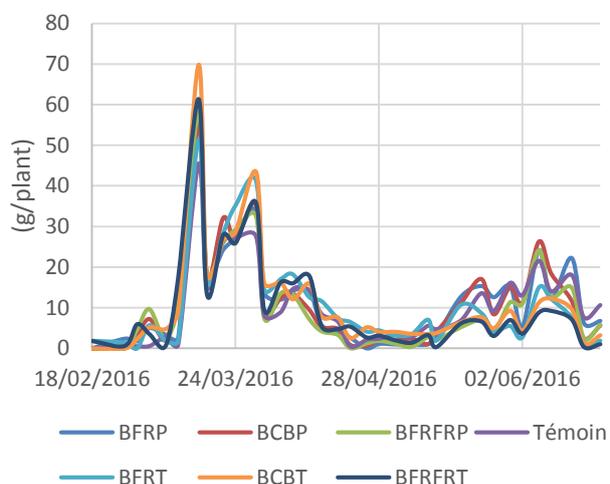
La cinétique de développement foliaire varie grandement en fonction du spectre considéré. Dans des conditions d'éclairage rouge (BFR et BFRFR, présentées ci-dessus), le développement de la surface foliaire atteint un pic aux alentours du 03/02, passé cette date, un tassement du plant est observé comme en témoigne la diminution de surface foliaire et ce que l'éclairage soit laissé actif (Arrêt tardif) ou non (Arrêt précoce). En condition d'éclairage « tardif », une reprise de végétation est observée vers le 03/03.

Dans des conditions d'éclairage bleu (BCB présentée ci-dessous), il n'y a pas le tassement des plants observé dans les conditions BFR et BFRFR. La croissance semble soutenue lorsque l'éclairage bleu est maintenu.



➤ **Rendements et qualité des fruits**

Evolution de la production commerciale



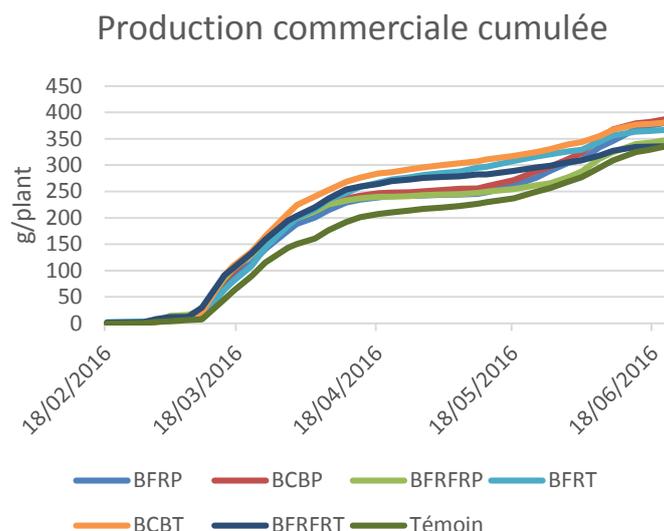
Les cinétiques de productions pour chacune des conditions testées sont similaires. En termes de variations, seules les intensités des phases de production varient en fonction de la condition considérée. Ces variations d'intensité sont particulièrement marquées au tout début du pic de production ainsi qu'au milieu de la remontée.

Traitements	Premier jet de production		Remontée	
	g/plant	%total	g/plant	%total
BFRP	244	64	138	36
BCBP	253	65	135	35
BFRFRP	244	70	104	30
BFRT	285	78	82	22
BCBT	300	79	81	21
BFRFRT	278	83	58	17
Témoin	219	65	117	35

Le tableau présenté ci-dessus indique la part du premier jet et de la remontée dans la production totale. Des tendances semblent se dégager, en effet, « l'arrêt précoce » de l'éclairage semble favoriser une production en remontée alors que « l'arrêt tardif » favorise la production lors du premier jet. Ces observations sont valables quel que soit le type de spectre considéré.

En production cumulée, la condition témoin reste largement en retrait par rapport aux conditions éclairées. Le retard du témoin semble se combler légèrement lors de la remontée mais reste inférieure aux conditions éclairées.

La production commerciale cumulée de la condition BCBT reste la plus importante dans cet essai.



Le tableau ci-dessous présente un synthèse des données de récoltes accumulées au cours de l'essai. Le rendement commercial apparaît comme supérieure au témoin pour les conditions BFR (entre +9 et +13%) et BCB uniquement (entre +13 et +15%). Par contre, le rallongement de la durée de fonctionnement de l'éclairage n'apporte pas de bénéfice sur le rendement total.

Traitement	Date de récolte		Rendement					Pourcentages			PMP	Précocité
	Début	Fin	Extra (g/pl)	Comm (g/pl)	Comm (kg/m ²)	Brut (g/pl)	Gain (% com)	E/C	C/B	Pourri		
BFRP	15/3	14/6	307	381	3,81	518	13	80%	74%	11%	12,8	109
BCBP	10/3	9/6	316	388	3,88	530	15	82%	73%	11%	13,1	107
BFRFRP	10/3	14/6	286	348	3,48	489	3	82%	71%	14%	12,5	104
BFRT	15/3	9/6	300	367	3,67	474	9	82%	77%	8%	13,2	101
BCBT	10/3	9/6	315	381	3,81	483	13	83%	79%	8%	13,8	99
BFRFRT	10/3	6/6	280	336	3,36	437	0	83%	77%	8%	13,6	96
Témoin sans éclairage	15/3	9/6	271	336	3,36	456	na	81%	74%	10%	12,7	110

Dans les conditions, « arrêt tardif », la proportion de fruits pourris semble légèrement inférieure, et un léger gain de précocité est observé (entre 9 et 14 points par rapport au témoin et 8 points entre les conditions arrêt tardif et arrêt précoce). L'apport de rouge Lointain (BFRFR) semble d'autant plus favoriser cette précocité puisque, quelle que soit la durée d'éclairage, c'est ce spectre qui offre la meilleure précocité. Le Poids Moyen Pondéré ne semble pas affecté dans cet essai.

➤ Evaluation économique

Le tableau ci-dessous, présente les données économiques relatives à la production. Les valeurs indiquées sont calculées à partir des données de production hebdomadaires ainsi que des prix de vente hebdomadaires.

	Total (€ brut/m ²)	Gain par rapport au témoin (€ brut/m ²)	Gain arrêt tardif	Gain brut par jour d'éclairage (centime d'€ brut)
BFRP	16,79	1,76		13
BCBP	17,82	2,79		20
BFRFRP	16,00	0,97		7
BFRT	17,72	2,69	0,92	19
BCBT	18,38	3,35	0,56	24
BFRFRT	16,65	1,61	0,64	12
Témoin	15,03			

Le gain brut apporté par l'éclairage photosynthétique varie entre 0.97 et 3.35€. Les conditions permettant le meilleur gain étant les éclairages de type BCB et BFR. Les conditions arrêt tardif permettent d'améliorer légèrement ce gain mais l'impact sur le produit brut reste limité entre 0.56€ et 0.92€. L'éclairage BCB offre le meilleur gain brut par jour d'éclairage (entre 20 et 24 centimes d'€ par jour).

Ces résultats peuvent paraître encourageants mais sont à considérer au regard de l'investissement et de du coût de fonctionnement des éclairages photosynthétiques.

Du point de vue du coût de fonctionnement, le tableau ci-dessous résume les dépenses énergétiques liées à l'utilisation des éclairages.

	Gain en € brut pour 360 m ²	Coût d'électricité pour 360 m ²	Marge (€)
14 jours d'éclairage supplémentaire	1005	706	299
30 jours d'éclairage supplémentaire	1205	1529	-324

Les calculs ont été réalisés sur la base de notre unité de culture en partant du principe que l'ensemble des lignes de cultures étaient équipées de l'éclairage le plus performant mis en évidence dans cet essai (condition BCB) (un compartiment 360m²).

Dans ces conditions, on observe que :

- En condition d'arrêt précoce (14 jours d'éclairage supplémentaire), les bénéfices de production compensent les coûts de fonctionnement des éclairages et permettent de dégager une marge de 299€.
- En condition d'arrêt tardif (30 jours d'éclairage supplémentaire), les bénéfices de production ne compensent pas les coûts de fonctionnement des éclairages et induisent une perte économique de 324€.

Du point de vue du coût d'investissement, les dispositifs utilisés dans le cadre de cet essai sont susceptibles de coûter d'après notre fournisseur 100€ du mètre linéaire (prix pour un achat en grande quantité comme le ferait un producteur).

Le coût d'investissement est pour l'heure élevé. En effet en partant de l'hypothèse qu'on équiperait un compartiment de notre serre verre de ce type d'éclairage (soit 280 ml à équiper), cette installation nécessiterait un investissement initial de 28000€.

6. Conclusions de l'essai

Dans les conditions de l'essai, les éclairages photosynthétiques ont permis d'obtenir une augmentation à la fois de la végétation et de la production. Ces bénéfices sont variables en fonction du spectre d'émission des différents éclairages. L'éclairage BCB composé de LED bleues et Blanc chaud permet globalement d'obtenir les meilleurs résultats :

- Une augmentation de la surface foliaire du plant de +47%.
- Une croissance du plant soutenue et ce même en période de fructification.
- Une augmentation de rendement de l'ordre de 15% avec un léger gain de précocité.

L'éclairage BFRFR apporte aussi des informations intéressantes. La présence de rouge lointain dans le spectre permet de stimuler le développement végétatif du plant. En effet dans le cas d'un arrêt tardif de l'éclairage, la surface du plant est doublée. Ces observations viennent conforter les observations réalisées dans le cadre des essais éclairage photopériodique puisque nous avons aussi observé l'importance du rouge lointain comme signal de développement du plant. Il est par ailleurs important de noter que bien que les plants soient très développés, le rendement n'est pas différent du témoin. Ceci suggère que la croissance végétative s'est fait au détriment de la production.

Du point de vue du rendement, les bénéfices de l'éclairage photosynthétiques restent pour l'heure relativement limité. Il faut cependant noter que :

- A cause du coût de l'éclairage, les parcelles élémentaires dans cet essai sont exceptionnellement réduites et nous avons dû utiliser les mêmes plants pour réaliser les suivis de végétation et de production. Les suivis de végétations sont des notations relativement stressantes pour les plants et ce stress peut induire des baisses de rendement. On peut donc considérer que dans cet essai, les résultats de rendements sont sous-estimés.
- Ce travail vise à identifier le spectre le plus pertinent pour le fraisier mais ne permet pas une optimisation réelle de cet apport de lumière artificielle. Des écarts importants de végétations ont pu être observés entre les conditions de cet essai et il aurait fallu dissocier les conduites climatiques et de fertirrigation en fonction de ces différents développements.
- L'apport de CO₂ était très loin de l'optimum et il aurait été préférable compte-tenu du développement du plant de fournir au plant des concentrations en CO₂ élevées tout au long de la journée (Apport de CO₂ liquide).

Economiquement, il est difficile de savoir si ces équipements seront un jour pertinent dans le cadre de la culture de fraise. Cette incertitude est dû à 2 inconnues :

- Il est encore difficile de savoir quels sont les vrais bénéfices de rendements à attendre de ces outils.
- Les LED restent des produits relativement nouveaux et les prix de ventes même s'ils ont tendance à baisser restent très élevés.



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

