
**Fraise
2015**

**Synthèse bibliographique : Apport du CO₂ dans le cadre de la
culture du Fraisier hors-sol**

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 300 ha les surfaces de fraises hors sol dans le Sud-Ouest soit 45% de la surface totale hors sol française. Ce type de culture mis en place au milieu des années 1990 possède de multiples avantages et il permet par exemple : (1) pallier à 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^{ème} 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 (cf autre CR sur le sujet) 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

I. CO₂

A. Le CO₂, stomate et photosynthèse

Le CO₂ est avec l'eau un des substrats de base de la photosynthèse (création de pouvoir réducteur utilisé notamment dans la synthèse des glucides, Buchanan et al., 2000). Son absorption, au niveau de la plante, est contrôlée par l'intermédiaire d'organes spécialisés composés de deux cellules et présents majoritairement à la surface des feuilles : les stomates. Ces stomates constituent des pores limitant ou facilitant les échanges gazeux entre la plante et l'air environnant. L'ouverture stomatique conditionne directement l'activité photosynthétique des plantes (G D Farquhar and Sharkey, 1982) et plusieurs paramètres environnementaux régissent l'état d'ouverture du stomate comme par exemple la teneur en CO₂, le rayonnement ou encore l'humidité de l'air (Araújo et al., 2011).

B. Naturellement le CO₂ est limitant

La concentration atmosphérique de CO₂ généralement observée est de l'ordre de 400 ppm. A cette teneur, il est admis en condition de développement idéale (eau, nutriment et lumière satisfaisants) que le CO₂ est un facteur limitant le développement des plantes. Ces observations ont pu être corroborées aussi bien en laboratoire (Buchanan et al., 2000; Sharkey, 1985) qu'en plein champ. Dans ces dernières conditions par exemple, en utilisant des approches de type FACE (Free Air CO₂ Enrichment) des augmentations de rendement de l'ordre de 6% et de 8% respectivement pour le riz et le blé ont été obtenues (Ainsworth and Long, 2005).

Cependant il existe des limites biologiques à une utilisation massive de CO₂. D'une part, en cas d'exposition trop longues (plusieurs mois) des cultures à une teneur élevée en CO₂, la plante s'adapte à cette concentration et retrouve ses rendements usuels (Griffin and Seemann, 1996). D'autre part, à forte dose le CO₂ peut avoir un impact délétère sur les cultures. Par exemple en serre, les valeurs de CO₂ optimales sont proches de 700 à 900 ppm et au-delà de ces valeurs, l'exposition à de fortes concentrations en CO₂ peut être néfaste et entraîne des nécroses ainsi qu'une réduction de croissance (Mortensen, 1987).

Par ailleurs, même si pour l'instant peu d'études sont disponibles, l'élévation de la teneur de CO₂ est susceptible de modifier l'interaction plantes-insectes (Grodzinski et al., 1999; Robinson et al., 2012).

C. Le cas de la fraise

Dès les années 70, des observations ont montré une augmentation de l'activité des fraisiers en présence d'une teneur élevée en CO₂ (Enoch et al., 1976). A la fin des années 90, une caractérisation complète de l'impact du CO₂ sur fraisier a été réalisée (Chen et al., 1997a, 1997b, 1997c) et depuis de nombreuses études ont détaillé l'impact du CO₂. Le tableau ci-dessous résume de manière non-exhaustive une partie des caractères étudiés ainsi que les apports du CO₂ que ce soit en termes de rendement pur ou en termes de qualité du fruit.

Tableau 1 : exemple d'études sur l'impact du CO₂ sur le développement et la production du fraisier

Caractère étudié	Références	Gains
Activité photosynthétique	(Bunce, 2001)	à 650 ppm, +77% ; à 950 ppm, +106%
	(Deng and Woodward, 1998)	à 560 ppm, +30%
Biomasse totale	(Deng and Woodward, 1998)	à 560 ppm, +17%.
Nbre de fleurs & fruits		à 560 ppm, +42%
Poids moyen des fruits	(Sung and Chen, 1991)	à 700 ppm, +17.6% ; à 900 ppm 38.5%
Rendements	(Lieten, 1997, 1999, 2013)	à 400 ppm, +15% ; à 600 ppm, +20%, à 900 ppm, +31%
Teneur en sucre du fruit	(Wang and Bunce, 2004) (Lieten, 1999)	à 700 ppm, +12%, à 900 ppm, +20%
Antioxydant & flavonol	(Wang et al., 2003)	Non-quantifié

Indépendamment des aspects de rendement et/ou de qualité, des bénéfices sont aussi constatés à la fois sur la précocité, 4 à 7 jours d'avance par rapport à des plants cultivés sans apport de CO₂ (Bushway and Pritts, 2002) et sur l'adaptation des plantes aux contraintes du milieu. Ainsi certains auteurs avancent une meilleure résistance au stress hydrique (Bunce, 2001).

Par ailleurs, un apport de CO₂ est d'autant plus efficace qu'il est raisonné par rapport aux autres paramètres environnementaux. En effet, il a été observé un effet synergique entre le CO₂ et les autres composantes environnementales. Par exemple, l'augmentation moyenne des températures lors de la culture associée à un apport de CO₂ induit une stimulation de l'assimilation photosynthétique de CO₂ (Bunce, 2001), au niveau technique certains auteurs préconisent même une augmentation des consignes de températures (Essais conduits à la station de Meerle, De Jager, 2001; Lieten, 1999). Cependant au-delà d'une valeur seuil, la température peut avoir des effets délétères (Sun et al., 2012). Le rayonnement est aussi un facteur à prendre en compte et agit de concert avec le CO₂ en augmentant l'efficacité photosynthétique (Lieten, 1999).

D. En serre ou multichappelle le CO₂ peut être limitant

Les productions de fraises précoces sont conduites en environnement clos (serre-verre, multichappelle...). Ce type de conduite induit de forte variation de la teneur en CO₂ au sein de l'enceinte de culture. Par exemple, en condition de culture précoce, lorsque le rayonnement est favorable à un démarrage de l'activité photosynthétique et que les conditions climatiques limitent l'ouverture des ouvrants et la ventilation, une diminution de la concentration en CO₂ sous le seuil de 400 ppm est observée (Wacquant, 1995). En cas d'apport de CO₂, et dans le but de limiter ses émissions atmosphériques ainsi que son coût, l'apport doit aussi être raisonné en fonction du rayonnement et de l'aération des compartiments de culture.

A titre d'exemple, des essais menés à la Station d'Expérimentation en Cultures Légumières (S.E.C.L.) de Pleumeur Gautier ont permis de définir des règles de décision en matière de conduite climatique (Tableau 2).

Tableau 2 : Exemple de conduites climatiques conduites au S.E.C.L.

L'ensemble des informations présentées est extrait des rapports d'expérimentations réalisées par le S.E.C.L lors des campagnes 2005 et 2014 (Floury, 2005, 2014). T, température en °C ; O, ouverture des ouvrants en % ; R, rayonnement en W/m².

Paramètre	Consignes	
Chauffage	Nuit	T=10°C
	Jour	T=14°C
Aération	Fermeture	T<16°C
	ouverture	Progressive (0 à 15%) de 16 à 24°C
CO ₂	Absence	R<50W/m ²
		O>15%
	Injection	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%

Cet exemple de conduite est donné à titre informatif et des ajustements sont à prévoir notamment en fonction du stade de développement de la culture. Par exemple, l'injection de CO₂ ne peut débuter qu'à la reprise totale des plants soit environ 3 à 4 semaines après la plantation. Par ailleurs, certains auteurs suggèrent qu'en cas d'ouverture importante des ouvrants (O>15%), l'injection de CO₂ doit tendre à maintenir 350-400 ppm pour limiter l'appauvrissement local en CO₂ lors des pics d'activité des plants (Wacquant, 1995).

E. La période et la durée de l'apport en CO₂

La photosynthèse ne peut avoir lieu qu'en présence de lumière. De ce fait l'apport de CO₂ n'est pertinent que lorsque le rayonnement existe et est suffisant pour permettre une reprise de l'activité photosynthétique. Un seuil de 50 W/m² est généralement admis pour démarrer un apport en CO₂. La culture est relativement courte et chaque culture est mise en place à partir de nouveaux plants aussi il n'y a pas de risque d'adaptation des plantes aux teneurs élevées en CO₂ (Griffin and Seemann, 1996). L'apport de CO₂ est démarré 3 semaines après la plantation pour ne pas perturber l'état de reprise du plant. Finalement, l'utilisation de CO₂ peut être conduite durant toute la vie de la culture. Il y a lieu de la raisonner uniquement si l'apport de CO₂ représente un coût ce qui dépend de sa méthode d'apport.

F. Méthodes d'apport du CO₂

Deux alternatives sont couramment utilisées pour l'approvisionnement en CO₂ des enceintes de culture. Soit la récupération du CO₂ issu de la combustion d'hydrocarbures par la chaudière utilisée pour le chauffage, soit l'injection de CO₂ pur issu d'un réservoir indépendant (Laplante and Turcotte, 2009).

1. Injection de CO₂ issu de la combustion

Cette production est nécessairement associée au fonctionnement de la chaudière. La récupération du CO₂ des fumées de combustion nécessite l'installation d'un condenseur. En pratique, lorsque le chauffage est nécessaire pour les cultures, le CO₂ est produit par la chaudière quasi gratuitement et en quantité largement suffisante pour couvrir les besoins nécessaires aux besoins des cultures (Laplante and Turcotte, 2009). Le système est d'autant plus efficace que la chaudière est équipée d'un réservoir d'eau chaude. Ce stockage de chaleur permet de produire du CO₂ le jour même quand les besoins en chauffage sont nuls et de redistribuer la chaleur emmagasinée la nuit pour chauffer les cultures (Grisey and Brajeul, 2007). Indépendamment de la production de CO₂, un système d'acheminement (généralement une ventilation dédiée) est requis pour amener le gaz de sa zone de production à sa zone de distribution.

2. Injection de CO₂ pur

A l'état pur, le CO₂ peut être stocké sous pression à l'état de liquide dans un réservoir extérieur. En opposition au CO₂ issu de la combustion l'enrichissement peut être réalisé quelles que soient les conditions climatiques. La distribution du CO₂ est par ailleurs facilitée car ce dernier est initialement sous pression.

4. Conclusions

Le CO₂ apparaît comme un intrant pertinent pour l'amélioration générale du Fraisier (biomasse et qualité). Il ne demeure néanmoins qu'un des prérequis pour l'amélioration de l'assimilation photosynthétique des plantes. Son utilisation peut entraîner un coût, notamment lors de l'injection de CO₂ pur, et nécessite d'être raisonnée en fonction du rayonnement disponible. Cette synthèse est liée à la synthèse bibliographique réalisée sur l'éclairage photosynthétique du fraisier. Dans cette synthèse, un bilan général présente les protocoles d'essais susceptibles d'optimiser l'utilisation du CO₂ en fonction de la lumière.

5. Références bibliographiques

Ainsworth, E.A., and Long, S.P. (2005). What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂. *New Phytol.* 165, 351–371.

Araújo, W.L., Fernie, A.R., and Nunes-Nesi, A. (2011). Control of stomatal aperture. *Plant Signal. Behav.* 6, 1305–1311.

Buchanan, B., Gruissem, W., and Jones, R.L. (2000). *Biochemistry and molecular and biology of plants* (American Society of Plant Physiologists).

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

Bushway, L.J., and Pritts, M.P. (2002). Enhancing early spring microclimate to increase carbon resources and productivity in June-bearing Strawberry. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 127, 415–422.

- Chen, K., Hu, G., and Lenz, F. (1997a). Effects of CO₂ concentration on strawberry. IV. Carbohydrate production and accumulation. *Angew. Bot.* 71, 183–188.
- Chen, K., Hu, G., Keutgen, N., and Lenz, F. (1997b). Effects of CO₂ concentration on strawberry. I. Plant growth analysis. *Angew. Bot.* 71, 168–172.
- Chen, K., Hu, G., Keutgen, N., and Lenz, F. (1997c). Effects of CO₂ concentration on strawberry. III. Dry matter production and water consumption. *Angew. Bot.* 71, 179–182.
- Deng, X., and Woodward, F.I. (1998). The growth and yield responses of *Fragaria ananassa* to elevated CO₂ and N supply. *Ann. Bot.* 81, 67–71.
- Enoch, H.Z., Rylski, I., and Spigelman, M. (1976). CO₂ enrichment of strawberry and cucumber plants grown in unheated greenhouses in Israel. *Sci. Hortic.* 5, 33–41.
- Floury, H. (2005). Expérimentation Fraise campagne 2005. C. R. Essai SECL.
- Floury, H. (2014). Expérimentation Fraise campagne 2014. C. R. Essai SECL.
- G D Farquhar, and Sharkey, T.D. (1982). Stomatal Conductance and Photosynthesis. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 33, 317–345.
- Griffin, K.L., and Seemann, J.R. (1996). Plants, CO₂ and photosynthesis in the 21st century. *Chem. Biol.* 3, 245–254.
- Grisey, A., and Brajeul, E. (2007). Serres chauffées : réduire ses dépenses énergétiques (CTIFL).
- Grodzinski, B., Schmidt, J.M., Watts, B., Taylor, J., Bates, S., Dixon, M.A., and Staines, H. (1999). Regulating plant/insect interactions using CO₂ enrichment in model ecosystems. *Adv. Space Res. Off. J. Comm. Space Res. COSPAR* 24, 281–291.
- De Jager, K. (2001). Bij goede productie draait alles om evenwicht.
- Laplante, M.A., and Turcotte, G. (2009). Tom'Pousse Bulletin n°2.
- Lieten, P. (1997). Effect of CO₂ enrichment on greenhouse grown strawberry. (International Society for Horticultural Science - ISHS), pp. 587–596.
- Lieten, P. (1999). Strawberries on a CO₂ diet. *Grower* 24–25.
- Lieten, P. (2013). Advances in Strawberry Substrate Culture during the Last Twenty Years in the Netherlands and Belgium. *Int. J. Fruit Sci.* 13, 84–90.
- Mortensen, L.M. (1987). Review: CO₂ enrichment in greenhouses. Crop responses. *Sci. Hortic.* 33, 1–25.
- Robinson, E.A., Ryan, G.D., and Newman, J.A. (2012). A meta-analytical review of the effects of elevated CO₂ on plant-arthropod interactions highlights the importance of interacting environmental and biological variables. *New Phytol.* 194, 321–336.
- Sharkey, T.D. (1985). Photosynthesis in intact leaves of C₃ plants: Physics, physiology and rate limitations. *Bot. Rev.* 51, 53–105.
- Source Agreste Infos Rapides Fraise 2015 n°4.

Sun, P., Mantri, N., Lou, H., Hu, Y., Sun, D., Zhu, Y., Dong, T., and Lu, H. (2012). Effects of elevated CO₂ and temperature on yield and fruit quality of Strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) at two levels of nitrogen application. *PLoS ONE* 7, e41000.

Sung, F., and Chen, J.. (1991). Gas exchange rate and yield response of strawberry to carbon dioxide enrichment. *Sci. Hortic.* 48, 241–251.

Wacquart, C. (1995). Maîtrise de la conduite climatique tomate sous serre et abris en sol (CTIFL).

Wang, S., and Bunce, J. (2004). Elevated carbon dioxide affects fruit flavor in field-grown strawberries (*Fragaria × ananassa* Duch). *J. Sci. Food Agric.* 84, 1464–1468.

Wang, S.Y., Bunce, J.A., and Maas, J.L. (2003). Elevated carbon dioxide increases contents of antioxidant compounds in field-grown strawberries. *J. Agric. Food Chem.* 51, 4315–4320.



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

