

FICHE # 9 : RÉCUPÉRATION DU GAZ CARBONIQUE À PARTIR DES GAZ DE COMBUSTION DU SYSTÈME DE GÉNÉRATION DE CHALEUR (PROPANE OU GAZ NATUREL)

À retenir

- Le gaz carbonique provenant de la combustion dans le système de génération de chaleur au gaz naturel ou au propane constitue une source « gratuite » de CO₂ pour l'enrichissement carboné
- La qualité des gaz de combustion doit être évaluée en tout temps pour éviter des dommages aux plants

Introduction

L'ajout de gaz carbonique (CO₂) dans les serres est une pratique courante. En effet, le CO₂ améliore la croissance et la vigueur des plants, ce qui accroît ultimement la productivité. Le CO₂ favorise aussi la floraison hâtive par l'augmentation du rendement en fruits et par l'amélioration de la vigueur des tiges ou de la taille des fleurs.¹ De plus, l'ajout de CO₂ dans les serres s'avère nécessaire lorsque de l'éclairage de photosynthèse est utilisé afin de ne pas limiter le processus de photosynthèse.

À titre indicatif, dans la majorité des cultures en serre, le rendement photosynthétique augmente de 50 % lorsque la concentration de CO₂ passe de 340 ppm (concentration de l'air ambiant) à 1000 ppm.²

Diverses techniques permettent l'apport en CO₂, dont l'injection par canon (brûleur de gaz naturel ou de propane) ou l'utilisation de CO₂ liquide. Le CO₂ peut également être récupéré à partir des gaz d'échappement d'une chaudière au gaz naturel ou au propane, ce qui constitue d'ailleurs le sujet de la présente fiche.

La récupération du CO₂ des gaz de combustion pourrait également se faire à partir d'une chaudière à la biomasse. Toutefois, de tels systèmes s'appliquent généralement aux serres de grande taille (15 hectares et plus) puisque les coûts d'installation et d'opération sont élevés.³

Description du système

Tel que mentionné précédemment, le CO₂ peut être récupéré des gaz d'échappement d'une chaudière au gaz naturel ou au propane. Les gaz d'échappement issus de la combustion de combustibles fossiles contiennent généralement beaucoup de gaz carbonique. Par exemple, les gaz de combustion du gaz

¹ Khosla, S. (2002) Le gaz carbonique dans les serres. Repéré à <http://www.omafr.gov.on.ca/french/crops/facts/00-078.htm>

² Ibid

³ Villeneuve, J. (s. d.) Les technologies d'éclairage artificiel et de CO₂ dans les serres. Repéré à https://www.agrireseau.net/documents/Document_91384.pdf

naturel atteignent des concentrations de 10% à 12 % de CO₂. Ces gaz de combustion sont généralement assez purs (composés de CO₂, d'eau et d'infimes traces d'autres composés). Ils sont expulsés à une température moyenne de 200°C et doivent être refroidis à 30°C à l'aide d'un condenseur afin d'être injectés dans la serre. Cette opération permet la condensation de 40% à 70 % de l'eau qu'ils contiennent.⁴ Un détecteur installé à la sortie du condenseur permet à la fois de mesurer la quantité de monoxyde de carbone expulsée - gaz toxique généré par une combustion incomplète- et le niveau d'enrichissement en CO₂ de la serre (permettant ainsi l'arrêt de l'enrichissement lorsque les seuils prédéterminés sont atteints).⁵ Un ventilateur permet d'évacuer les gaz refroidis vers le réseau de distribution de la serre. Une vanne de mélange peut également être utilisée pour diluer les fumées de combustion avec l'air extérieur, afin de diminuer la température des fumées avant leur rejet vers l'extérieur.⁶

Une quantité adéquate d'air extérieur doit être acheminée à la chambre de combustion de la chaudière. Un apport trop faible pourrait résulter en une combustion incomplète et à un dégagement de composés dangereux tel le monoxyde de carbone. Un apport excessif pourrait entraîner une diminution de l'efficacité de la combustion.⁷

Généralement, s'il y a plus d'une chaudière en opération, la récupération du gaz carbonique s'effectue pour une seule chaudière, car en période de pointe, le CO₂ produit pour répondre aux besoins de chauffe dépasse largement la quantité de CO₂ requise pour l'enrichissement.⁸

Démarche

La récupération du gaz carbonique à partir des gaz de combustion devrait suivre la démarche suivante :

- Déterminer le taux de gaz carbonique visé dans la serre
 - La majorité des cultures tolèrent un taux de 1000 ppm de CO₂, ce qui est d'ailleurs le niveau standard d'injection dans les serres. À noter que la limite maximale de CO₂ tolérée en milieu de travail a été fixée à 5000 ppm par la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST).⁹

⁴ Villeneuve, J. (s. d.) Les technologies d'éclairage artificiel et de CO₂ dans les serres. Repéré à https://www.agrireseau.net/documents/Document_91384.pdf

⁵ Laplante, M.-A. et Turcotte, G. (2009) Dossier spécial : Le CO₂ en serre. Repéré à https://www.agrireseau.net/legumesdeserre/documents/tp03_sem14_09.pdf

⁶ Ibid

⁷ Ibid

⁸ Ibid

⁹ Villeneuve, J. (s. d.) Les technologies d'éclairage artificiel et de CO₂ dans les serres. Repéré à https://www.agrireseau.net/documents/Document_91384.pdf

- À titre indicatif, le tableau 9.1 indique la quantité théorique de CO₂ utilisée pour une production de légumes à trois niveaux différents d'enrichissement, et ce en fonction du nombre d'heures d'enrichissement.

Tableau 9.1 Utilisation annuelle potentielle de CO₂ sur une base mensuelle (tiré de Khosla, 2012)

Mois	Nombre d'heures d'enrichissement	Quantité apportée (kg/ha/h)		
		45	65	90
janv.	82	3 690	5 330	7 380
févr.	100	4 500	6 500	9 000
mars	127	5 715	8 255	11 430
avril	168	7 560	10 920	15 120
mai	234	10 530	15 210	21 060
juin	253	11 385	16 445	22 770
juill.	283	12 735	18 395	25 470
août	252	11 340	16 380	22 680
sept.	187	8 415	12 155	16 830
oct.	157	7 065	10 205	14 130
nov.	89	4 005	5 785	8 010
Déc. d	67,1	3 019,5	4 361,5	6 039
Total (kg)		89 959,5	129 941,5	179 919

- S'assurer de la qualité du combustible
 - Seuls des combustibles à faible teneur en soufre peuvent être utilisés pour la récupération du CO₂. En effet, la combustion du soufre provoque la formation de dioxyde de soufre, un gaz très dommageable pour certains plants.¹⁰ Les teneurs en soufre des combustibles ne doivent pas dépasser 0,02 % en poids.¹¹
- Vérifier que la chaudière ait la capacité d'émettre des gaz de combustion de qualité
 - Ce ne sont pas tous les brûleurs de chaudières qui peuvent être utilisés à des fins d'enrichissement carboné. En effet, certaines chaudières plus anciennes produisent des niveaux d'oxyde d'azote ou d'éthylène trop élevés.¹²
- S'assurer de la faisabilité technique d'ajouter un condenseur à la chaudière
 - La récupération du CO₂ des gaz de combustion ne peut s'effectuer sans refroidissement et sans condensation de l'eau.
- Envisager l'utilisation d'un réservoir d'hydro-accumulation (voir Fiche 8)

¹⁰ Nedderhoff, E. (2004) Carbon dioxide Enrichment. Repéré à <http://www.crothouse.co.nz/crothouse/pdf/CO2%20&%20Plant%20Growth%20-Nederhof-PH&G-may04-proofs.pdf>

¹¹ Khosla, S. (2002) Le gaz carbonique dans les serres. Repéré à <http://www.omafr.gov.on.ca/french/crops/facts/00-078.htm>

¹² Khosla, S. (2002) Le gaz carbonique dans les serres. Repéré à <http://www.omafr.gov.on.ca/french/crops/facts/00-078.htm>

- La production de chaleur et de CO₂ s'effectue simultanément, mais les demandes dans la serre sont décalées. En effet, les demandes en CO₂ surviennent généralement le jour, moment où la photosynthèse suit son cours. Il est toutefois recommandé d'enrichir la serre en CO₂ en période nocturne combiné à l'utilisation d'éclairage de photosynthèse, moment où les besoins de chauffe sont plus importants. Ainsi, l'utilisation d'un réservoir d'hydro-accumulation permet de produire du CO₂ le jour, d'accumuler la chaleur produite dans le réservoir lorsque la demande est faible ou inexistante, et de restituer cette chaleur lorsque les besoins augmentent en période nocturne.
- Il convient d'avoir un système de contrôle adéquatement calibré et programmé afin de permettre le délestage des autres sources de chauffage (ex : en été, le système de contrôle devra permettre la dissipation du surplus de chaleur du réservoir d'hydro-accumulation vers les serres, causant ainsi un refroidissement du réservoir d'hydro-accumulation qui permettra une nouvelle production diurne de gaz carbonique par combustion)
- Suivre l'utilisation du système de récupération des gaz de combustion
 - L'utilisation d'un combustible adéquat et d'un système de récupération propice est un prérequis pour obtenir un enrichissement carboné répondant aux besoins des plants. Toutefois, des problèmes techniques peuvent se produire, engendrant la création ou l'accumulation de composés néfastes, voir toxiques dans la serre (éthylène, CO, NO_x, etc.). Il importe donc de monitorer la qualité de gaz de combustion ainsi que divers autres paramètres (tels la température, la pression d'opération et les débits d'air). L'utilisation d'un système de contrôle s'avère tout désigné pour y parvenir.
- Doter la serre d'un système de distribution du gaz carbonique adéquat
 - Le gaz carbonique ne parcourt pas une grande distance par simple diffusion. Il importe donc que le système de distribution puisse répartir le gaz carbonique de manière homogène, particulièrement lorsqu'il n'y a qu'une seule source de production de CO₂.¹³

Sources énergétiques concernées

La présente fiche porte exclusivement sur la récupération du gaz carbonique issu de la combustion du propane ou du gaz naturel.

¹³ Khosla, S. (2002) Le gaz carbonique dans les serres. Repéré à <http://www.omafr.gov.on.ca/french/crops/facts/00-078.htm>

Amélioration de l'efficacité énergétique

L'amélioration de l'efficacité énergétique à l'aide de la récupération des gaz de combustion porte sur deux éléments : la récupération de la chaleur latente des gaz de combustion et l'utilisation d'une source unique de combustible fossile.

En ce qui a trait au premier élément, le refroidissement de gaz de combustion permet une captation de chaleur. Ultimement, cela se traduit par une récupération de chaleur de l'ordre d'au plus 10 %.¹⁴

Ainsi, les économies se calculent de la manière suivante :

$$\begin{aligned} \text{Économies de combustibles anticipées} \left(\frac{L \text{ ou } m^3}{\text{an}} \right) \\ = \text{Économies de combustibles anticipées (\%)} \times \text{Consommation actuelle attribuable à la chauffe} \left(\frac{L \text{ ou } m^3}{\text{an}} \right) \end{aligned}$$

Quant au second élément, l'enrichissement carboné se fait à partir d'une matière qui serait autrement rejetée hors de la serre. En effet, puisque la serre doit de toute façon être chauffée grâce à la combustion d'une source énergétique, il n'est pas nécessaire de brûler une quantité supplémentaire de gaz naturel ou de propane ou d'utiliser du gaz carbonique liquide pour enrichir la serre. Ainsi, l'économie s'exprime tout simplement :

$$\text{Économies de combustibles anticipées} \left(\frac{L \text{ ou } m^3}{\text{an}} \right) = \text{Quantité de combustible utilisé pour l'enrichissement carboné} \left(\frac{L \text{ ou } m^3}{\text{an}} \right)$$

Réduction des émissions des gaz à effet de serre (GES)

La réduction des émissions de GES découle directement de la réduction de la quantité de combustible utilisée pour le chauffage.

Le calcul se réalise selon la formule suivante :

$$\text{Réduction des GES} \left(\frac{g \text{ de } CO_2eq}{\text{an}} \right) = \text{Économies de combustibles} \left(\frac{L \text{ ou } m^3}{\text{an}} \right) \times \text{Facteur d'équivalence} \left(\frac{g \text{ de } CO_2eq}{L \text{ ou } m^3} \right)$$

Le tableau 1.2 de la fiche 1A – Systèmes de production de chaleur efficaces (maintien d'une même source énergétique) présente d'ailleurs les facteurs d'équivalence pour différentes sources énergétiques.

¹⁴ Villeneuve, J. (s. d.) Les technologies d'éclairage artificiel et de CO₂ dans les serres. Repéré à https://www.agrireseau.net/documents/Document_91384.pdf

Coûts d'investissements

Les coûts à considérer pour calculer l'investissement concernent les coûts de l'équipement et du système nécessaire à la production et à la distribution de CO₂, et le coût du combustible pour la production de CO₂ (voir les coûts de fonctionnement).

Plusieurs systèmes d'injection de dioxyde de carbone existent, et les coûts d'acquisition varient grandement d'un système à un autre. Il convient bien sûr de choisir un système adapté au besoin en CO₂ de l'entreprise. En effet, certains systèmes d'injection sont conçus spécifiquement pour les serres de grande superficie. Le tableau 9.2 montre les coûts d'investissement pour certains systèmes.

Tableau 9.2 Coûts de quelques systèmes d'injection du CO₂ ¹⁵

Méthode d'injection	Coûts minimum (\$)	Coûts maximum (\$)
Récupération directe – Aérotherme nouvelle installation serre ≤ 25 000 pi ²	9 500	15 000
Récupération directe – Aérotherme installation existante serre ≤ 25 000 pi ²	3 000	8 000
Injection via Canon serre ≤ 25 000 pi ²	3 000	8 000
Récupération sur fournaise/bouilloire biomasse petite taille, en développement serre ≤ 25 000 pi ²	9 500	15 000
CO₂ liquide serre = 1hectare	100 000	200 000
Récupération sur bouilloire au gaz serre = 1hectare	350 000	600 000

Selon le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ), le coût pour un générateur et un contrôleur de CO₂ est de 1 889\$ pour une serre de 3 000 pi² (279 m²).

Coûts de fonctionnement

Les coûts de fonctionnement sont associés aux achats de combustible nécessaire à la combustion. Le tableau 9.3 illustre des exemples de coûts de fonctionnement selon le type de combustible utilisé pour produire le CO₂ et son coût unitaire.

¹⁵ Villeneuve, J. (s. d.) (2015) Les technologies d'éclairage artificiel et de CO₂ dans les serres. Repéré à https://www.agrireseau.net/documents/Document_91384.pdf

Tableau 9.3 Comparaison des coûts de production de CO₂ selon le type et la quantité de combustible utilisés pour un hectare¹⁶

Combustible utilisé	Durée de l'enrichissement (h)	Taux d'enrichissement (kg CO ₂ /ha/h)	Quantité de combustible (par ha)	Coût unitaire du combustible (\$/unité)	Horaire (\$/ha)	Coût (\$/jour)
CO ₂ liquide	12	50	50.0 kg	0.11\$/kg	5.50	66.00
CO ₂ liquide	12	50	50.0 kg	0.15\$/kg	7.50	90.00
CO ₂ liquide	12	50	50.0 kg	0.20\$/kg	10.00	120.00
CO ₂ liquide	12	50	50.0 kg	0.30\$/kg	15.00	180.00
Gaz naturel	12	50	27.8 m ³	0.10\$/m ³	2.78	33.33
Gaz naturel	12	50	27.8 m ³	0.15\$/m ³	4.17	50.00
Gaz naturel	12	50	27.8 m ³	0.30\$/m ³	8.33	100.00
Propane	12	50	27.8 L	0.20\$/L	5.56	66.67
Propane	12	50	27.8 L	0.25\$/L	6.94	83.33
Propane	12	50	27.8 L	0.30\$/L	8.33	100.00

À noter que la durée de l'enrichissement est approximative. En l'augmentant, le coût de production quotidien de CO₂ s'accroît également. Les entreprises de grande taille peuvent consommer quotidiennement jusqu'au double des quantités de combustible indiquées par hectare.¹⁷

Période de retour sur l'investissement

Le temps de récupération de l'investissement se calcule comme suit :

$$\text{PRI (an)} = \frac{\text{Coût d'investissement (\$)}}{\text{Économies annuelles de chauffage} \left(\frac{\$}{\text{an}} \right)}$$

En ce qui concerne la récupération du CO₂ des gaz de combustion, la période de retour sur l'investissement dépendra des prix du gaz naturel ou du propane. Qui plus est, l'utilisation de ce type d'équipement va de pair avec l'utilisation d'un réservoir d'hydro-accumulation. Dans un tel cas, l'investissement total est plus important et il faut considérer les deux coûts mentionnés précédemment dans les calculs de rentabilité, en plus de démontrer les gains énergétiques reliés à chacun des équipements.

¹⁶ Khosla, S. (2002) Le gaz carbonique dans les serres. Repéré à <http://www.omafra.gov.on.ca/french/crops/facts/00-078.htm>

¹⁷ Ibid.

Fiche réalisée par :



Claudia Berger, ing, CEM (section Description, Démarche, Sources énergétiques concernées, amélioration de l'efficacité énergétique, Programmes d'efficacité énergétique, Réductions des gaz à effet de serre et Annexe)
514-966-9586 - cberger@ecllo.info



Stéphanie Brazeau, agr., Conseillère en gestion agricole (sections Coûts d'investissements, Coûts de fonctionnement et Période de retour sur l'investissement)
450-359-4761 poste 202 – stephanie.brazeau@groupeproconseil.com