LA GRAPPE SCIENTIFIQUE BIOLOGIQUE : LEVIER MAJEUR DE LA PRODUCTION BIOLOGIQUE DE LÉGUMES EN SERRE

GRAPPE SCIENTIFIQUE biologique

La culture biologique au Canada poursuit sa croissance phénoménale avec des ventes qui atteignaient 6,38 milliards de dollars en 2017 pour une croissance moyenne annuelle de 8,7% depuis 2012. De 2014 à 2018, les ventes de l'industrie des légumes de serre ont progressé de 5% par année. Les statistiques canadiennes actuelles de légumes de serre bio sont rares mais au Québec, cette proportion atteint maintenant 22%, et beaucoup plus si l'on considère que plusieurs producteurs ne demandent pas la certification biologique. Le bio a fait du chemin!

Face à cette forte demande des consommateurs pour des produits plus sains et respectueux de l'environnement, cette jeune industrie artisanale a dû se transformer, passant d'un mode de production basé sur des connaissances empiriques à un mode plus intensif appuyé par la recherche scientifique. Grâce aux deux Grappes scientifiques biologiques (GSB) d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (2008-2013 et 2013-2018), le docteur et professeure Martine Dorais et son équipe ont joué un rôle de premier plan pour propulser la production biologique vers une efficacité équivalente ou supérieure aux cultures hydroponiques tout en poursuivant les efforts de réduction de leur empreinte environnementale. La culture biologique pouvait faire plus,

Dr. et Professeur Martine Dorais de l'Université Laval et son équipe composée de 3 chercheurs, 4 professionnels de recherche et 8 étudiants gradués ont grandement contribué à l'avancement des connaissances en culture biologique en serre

Figure 1: Mieux nourrir le sol pour mieux nourrir la plante

et mieux : et elle l'a fait.

Pour le Dr Dorais, l'atteinte de ces objectifs reposait tout d'abord sur l'amélioration de la productivité et de la durabilité des systèmes biologiques par :

a. L'amélioration de la nutrition du sol pour mieux nourrir la plante (fig. 1) via une meilleure gestion de l'environnement racinaire (c.-à-d. substrat, irrigation, fertilisation) ;
b. L'optimisation de l'utilisation de l'eau, des nutriments et le recyclage des eaux de drainage ;
c. L'atteinte d'un meilleur potentiel de production des cultures biologiques, comparable ou supérieur aux cultures hydroponiques dans un contexte de serres de hautes technologies (c.-à-d. une production hivernale avec éclairage d'appoint).

La culture biologique a toujours bénéficié d'une image environnementale positive de la part des consommateurs. Cependant, les études européennes indiquent que certains enjeux sont loin d'être positifs, notamment en ce qui concerne l'efficacité de l'utilisation de l'azote et du phosphore qui peut engendrer la pollution des nappes phréatiques. La production biologique intensive en serre sous climat nordique est aussi remise en question par certaines communautés à travers le monde. Son recours aux énergies fossiles remet en cause la perception des gens voulant que « si c'est bio, c'est bon ». Pour des systèmes intensifs comme les productions sous abri, il est donc impératif de préciser « si c'est bio, c'est bon si c'est bien fait ». Le bio doit donc s'assurer d'être le

plus durable possible afin de respecter non seulement une certification, mais les fondements mêmes des systèmes agroécologiques. L'équipe du Dr Dorais s'est donc intéressée aux faiblesses des systèmes biologiques utilisés afin de proposer des alternatives plus durables par l'adoption de différentes stratégies.

Le présent article présente les avancées touchant l'environnement racinaire et la gestion des effluents des serres.

GESTION DE L'ENVIRONNEMENT RACINAIRE

Milieux de culture

Plusieurs méta-analyses ont rapporté que l'écart de productivité des cultures biologiques par rapport aux cultures conventionnelles est d'environ 20 %, alors que cet écart est très variable pour les cultures de fruits et légumes. Il est généralement associé à une gestion non optimale de la fertilisation azotée, créant ainsi un découplage entre la disponibilité et les besoins de nutriments par les cultures. Ceci est d'autant plus vrai pour les cultures en serre dont le rendement annuel par unité de surface cultivée est de 10 fois celui de la production en champs. Par rapport aux cultures hydroponiques, les différentes propriétés physicochimiques des sols, et la difficulté de gérer avec précision les éléments nutritifs du sol en fonction de la radiation solaire et de la période de la journée, ont longtemps été considérées comme des facteurs limitants en production de cultures biologiques. Afin de caractériser la performance de différents types de sol, Gravel et coll. ont comparé la productivité de quatre sols biologiques provenant de fermes commerciales (sable, loam sableux, loam, terre noire), d'un sol biologique reconstitué ayant 40 % de porosité en air et d'un terreau de tourbe amendé de sciure de bois (Fig. 2). Les irrigations ont été gérées indépendamment par tensiométrie, avec une consigne de départ de -3kPa. Les rendements et le nombre de fruits ont subi la même tendance pour chaque type de sol, étant plus faibles pour le sol biologique reconstitué et le terreau de tourbe amendé de sciure de bois, alors que la terre noire a obtenu le rendement le plus élevé. Ces différences se sont toutefois estompées au cours du temps en réponse à l'évolution de leurs propriétés physicochimiques.

Ces résultats démontrent l'importance d'optimiser les propriétés physicochimiques de départ des sols

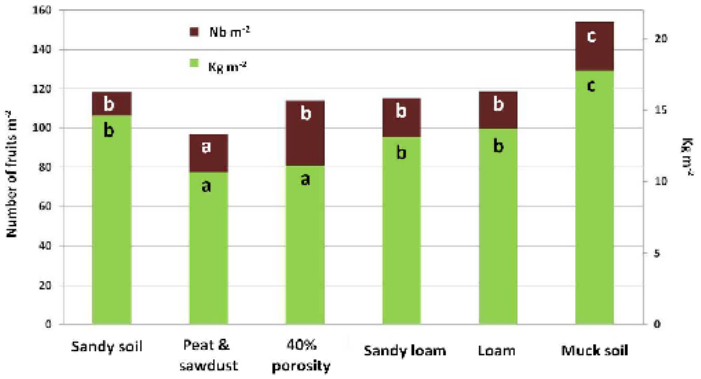

Figure 2: Rendement comparatif de 6 terreaux biologiques

biologiques afin d'atteindre leur plein potentiel de rendement. Contrairement aux substrats hydroponiques dont le rôle principal est d'offrir un support à la plante, de l'oxygène et une gestion très précise des apports en eau et en nutriments, les sols biologiques offrent une rétention en eau et une capacité d'échange cationique (CEC) importantes. Il en résulte des échanges complexes entre les particules du sol, les racines, la microflore, la microfaune et la macrofaune, d'où la difficulté de standardiser de façon précise la gestion des éléments nutritifs.

Les travaux subséquents de l'équipe ont également démontré l'importance :

a. De l'accumulation minimisée des sels à long terme,
b. De l'oxygène au niveau racinaire essentiel à l'absorption de l'eau, des éléments nutritifs et de la santé des cultures,
c. D'une gestion équilibrée de la fertilisation pour les cultures hors-sol en fonction des besoins des cultures, des ratios entre les éléments nutritifs de la rhizosphère et des pertes dans l'environnement,
d. De l'utilisation du même milieu de culture sur plusieurs années pour bâtir l'activité biologique et un cycle nutritif,
e. De l'importance d'une gestion adaptée des apports en eau (fréquence et quantité) selon le type de sol afin de favoriser l'activité biologique du sol tout en assurant un apport adéquat d'eau à la plante.

Pour les cultures hydroponiques, ces notions sont déjà bien connues et appliquées dans l'ensemble de l'industrie. La culture biologique devait donc apprendre à maîtriser la pierre angulaire de sa propre production : l'environnement racinaire, et ce, en fonction des différents types de sol.

Traitements	*Rendement total*	
	(fruits/m²)	*(kg/m²)*
Substrat biologique		
Première année	332a	44.61a
Deuxième année	351ab	53.54b
Conventionnel	370b	52.64b
Valeur P	0.0176	0.0031

Tableau 1: Rendement en tomate grappe en substrats biologique et conventionnel

Auteurs	*Substrat*	*Rendement (kg/m²)*
Dorais et al. (2012b)	Fibre de noix de coco	22,69
	Mélange tourbeux biologique	25,18
Lemay et al. (2012)	Laine de roche	29,81
	Mélange toubre-sciure de bois	32,06

Tableau 2: Rendement compartif entre les cultures conventionelles et biologiques (Adapté de Dorais et al. (2012b) et Lemay et al. (2012))

Gestion des irrigations

La gestion des irrigations doit assurer un apport adéquat en eau à l'environnement racinaire, tout en préservant l'oxygénation des racines et du sol, le sol étant nécessaire à la minéralisation microbienne des amendements organiques et, par conséquent, à la disponibilité des éléments nutritifs pour les cultures. En culture hydroponique, les fréquences d'arrosage sont habituellement basées selon un seuil cumulatif de lumière reçue, seuil établi en fonction de l'estimation de la vitesse de consommation en eau par unité de lumière (évapotranspiration potentielle, ETP), de la disponibilité en eau du substrat (réserve facilement utilisable, RFU), et du risque d'asphyxie racinaire. Le soleil est donc considéré comme le principal facteur affectant la consommation en eau. Ainsi, plus un substrat a une forte RFU, plus les arrosages seront espacés et les volumes par arrosage élevés.

Cependant, plusieurs autres facteurs influencent cette consommation en eau dont la capacité d'assèchement de l'air (déficit hydrique de l'air; déficit de pression de vapeur), la vélocité de l'air, la conductivité électrique du sol et la présence de stress (p. ex. température trop élevée, maladies telluriques). L'utilisation de tensiomètres, lorsque ceux-ci sont bien installés et calibrés, reflète généralement bien l'ensemble des facteurs affectant la consommation en eau. Ainsi, lorsque les consignes de départ et d'arrêt sont bien définies pour un type de sol précis, une régie par tensiométrie permet d'optimiser la disponibilité en eau et en air dans l'environnement racinaire. En appliquant des stratégies d'irrigation en fonction des tensions des substrats organiques hors-sol, Dorais et coll. et Lemay et coll. ont obtenu des rendements supérieurs à la laine de roche ou à la fibre de coco irriguée en fonction du seuil cumulatif de la lumière reçue (tableau 2).

Lemay et coll. ont d'ailleurs développé une méthodologie pour identifier les consignes de tensions optimales en fonction du rendement photosynthétique, se situant à près de -0,5 kPa pour la laine de roche (saturation en pot) et de -0,9 kPa pour un mélange tourbe-sciure, ce dernier ayant obtenu un taux de photosynthèse supérieur de 10 à 20%. Ainsi, une zone de confort hydrique a pu être déterminée pour chacun des milieux de culture étudiés.

GESTION DE LA FERTILISATION : EFFICACITÉ ET EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE (EE)

La gestion de la fertilisation est probablement le paramètre le moins bien maîtrisé pour les cultures biologiques en serre, dû à l'obligation d'appliquer une approche holistique complexe (propriétés physiques, chimiques et biologiques) et au fait qu'il s'agit de systèmes intensifs de culture. Il a toutefois été observé que les rendements sous régie biologique peuvent être similaires ou supérieures aux cultures hydroponiques, ce qui suggère qu'il n'existe pas de conditions limitantes évidentes: nous sommes donc sur la bonne voie ! mais…

Le contrôle phytosanitaire des cultures demeure un enjeu important pour les producteurs. Afin de contrôler le mildiou poudreux chez le concombre de serre, les cultures hydroponiques utilisent de la silice sous forme de silicate de sodium ou de potassium. Ces formes de silicate ne sont toutefois pas permises en culture biologique. Pour doter l'industrie d'un alternative aussi performante, l'équipe du Dr Dorais a démontré que l'ajout de 8 g/L de wollastonite (roche de silicate de calcium) dans un mélange tourbeux permettait d'accumuler la silice dans les feuilles à un

taux aussi élevé que celui observé avec les produits hydroponiques et améliorait la croissance de 6.5%. Il ne reste donc plus qu'à attendre l'arrivée du parasite. Notons que, tout comme la forme conventionnelle de Si, la wollastonite possède un caractère alcalin. Par ailleurs, les effets bénéfiques de l'utilisation de biostimulants sous régie biologique n'ont pas été observés. Ceci s'explique par une microflore et une microfaune indigène déjà bien présentes.

La pollution des nappes phréatiques par le lessivage des éléments nutritifs des cultures biologiques en serre est un enjeu majeur non seulement au Canada, mais aussi dans La Communauté Économique Européenne. Une meilleure connaissance des sources fertilisantes biologiques et de leur taux de minéralisation est donc nécessaire pour que l'industrie puisse mieux gérer leurs apports de nutriments et ainsi afficher patte blanche. Les engrais biologiques peuvent émettre une quantité non négligeable de gaz à effet de serre (GES; CO2, N2O, CH4). La volatilisation d'une partie importante de l'azote ainsi que le lessivage des éléments nutritifs ont été observés sous régie biologique en sol et en hors-sol. En plus de réduire l'efficacité de l'utilisation de ces minéraux, ces pertes accroissent l'empreinte environnementale des cultures. Depuis 20 ans, les cultures hydroponiques ont redoublé d'efforts pour réduire les rejets de fertilisants dans l'environnement. Pourquoi ne pas viser la réduction des émissions et des rejets en culture biologique ? Ainsi différentes stratégies peuvent être mises en place.

Réduction du taux de lessivage

Une gestion rationnelle des irrigations est la technique la plus simple à appliquer pour réduire les pertes d'eau et d'éléments nutritifs par lessivage. Ainsi, une estimation adéquate des besoins en eau de la culture, donc de l'évapotranspiration, et des apports adaptés au type de sol évitent le lessivage inutile et la perte d'éléments nutritifs dans l'environnement, notamment du nitrate qui est facilement lessivé. De plus, l'émission de N2O est réduite lorsque le contenu en eau du sol est inférieur à 70% de la porosité. L'utilisation de tensiomètres, lorsque la consigne est bien établie pour l'optimisation de la disponibilité en eau et en air dans le sol, s'avère un outil accessible et efficace pour les producteurs, leur permettant de réduire les émissions de GES et de limiter les excès de lessivage.

Synchronisation de la disponibilité des éléments nutritifs avec les besoins ponctuels de la culture

Afin de mieux connaître les taux de minéralisation des principales sources de fertilisants biologiques, Dion et coll. ont mesuré sur une période de 364 jours, la vitesse de minéralisation de l'azote de cinq engrais organiques (tableau 3), et ce, pour un sol minéral (loam sableux argileux provenant d'une serre biologique en plein sol) et un mélange tourbeux utilisé pour le hors-sol biologique (après une seule culture). Des mesures hebdomadaires ont démontré que la minéralisation des amendements organiques était pratiquement terminée après seulement 60 jours d'incubation, avec des niveaux d'efficacité allant de 21% pour le fumier de poulet en sol minéral à 88% pour la farine de sang en mélange tourbeux. La différence du taux de minéralisation entre les deux types de sols s'explique principalement par l'historique de culture de ces deux sols et leur contenu en carbone, facteur limitant pour de tels essais in vitro. Les engrais ayant un ratio C/N plus élevé ont obtenu une minéralisation plus faible (farine de luzerne, farine de crevette et fumier de poule) malgré une activité microbienne plus élevée comparativement à la farine de plume et la farine de sang. Les granules de fumier de poule ont libéré la

Engrais biologique	Contenu en minéraux	% minéralisation-N après (jours)			
		Sol minéral		Mélange tourbeux	
	$N\text{-}P_2O_5\text{-}K_20$	1	60	1	60
Farine de Sang	11-0.73-0.77	5	50,9	4,82	88
Farine de Plume	13-1.27-0.20	3,35	50,98	0,9	79,75
Farine de luzerne	2.59-0.5-3.23	-6,39	40,73	-4,86	57,5
Farine de crevette	5.69-10.80-0.12	8,76	47,93	4,93	68,37
Granule de fumier de poulet	5.19-3.01-2.76	20,14	21,09	33,4	29,85

Tableau 4: Vitesse de minéralisation de 5 engrais biologiques dans un sol minéral et un mélange tourbeux. (Adapté de Dion et al. (2020))

moitié de leur azote dès le début de l'incubation pour ensuite atteindre très rapidement un plateau, ce qui en fait un bon engrais pour une correction rapide. Une surdose de granule de fumier de poule peut toutefois entraîner des dommages importants aux plantes par suite de l'émission de NH3 (ammoniaque). La farine de sang et la farine de plume ont également un taux rapide de minéralisation, mais avec une efficacité plus élevée que les granules de fumier de poule. À l'opposé, la farine de luzerne a entraîné une immobilisation de l'azote lors de la première semaine d'incubation, pour ensuite fournir une libération lente dans le temps. Cette dernière a aussi émis le plus de CO2 et de N2O puisqu'elle a eu pour effet d'augmenter le carbone organique soluble du sol et par conséquent la biodiversité microbienne, la biomasse bactérienne et l'activité des bactéries nitrifiantes et dénitrifiantes. La stimulation de l'activité bactérienne est généralement considérée comme favorable à la santé et la fertilité du sol. À l'inverse, les farines de sang et de plume ont réduit la biodiversité des sols.

Cette étude a également mis en évidence que les engrais biologiques permettent la prolifération de communautés bactériennes très contrastantes, étroitement associées aux propriétés du sol, tels que la concentration de l'azote minéral, le pH et la teneur en carbone soluble. Outre cet impact sur la microflore, cette étude permet de comprendre combien la présence de carbone labile en provenance des exsudats racinaires est essentielle aux bactéries hétérotrophes nitrificatrices pour augmenter l'efficacité de l'utilisation de ces engrais, sachant qu'en champ par exemple, l'efficacité de l'utilisation de l'azote du fumier de poule est estimée à près de 70-80%. En serre, l'application de plastiques sur le sol ou sur les bacs permet de conserver une excellente humidité des amendements organiques. Il ne sera donc pas rare d'observer la présence de radicelles dans le fumier de poule, ce dernier étant digéré en moins de 2 semaines. Le sol est donc, ni plus, ni moins, le biodigesteur des racines.

Augmenter la capacité de rétention des éléments nutritifs par le sol

L'argile est bien connue pour sa capacité à retenir les minéraux à sa surface. Cependant, sa texture très fine et sa très forte rétention en eau ne permettent pas une gestion adéquate des arrosages et du lessivage sans risque d'asphyxie, alors que sa forte densité limite son utilisation en culture hors-sol. Le biocharbon, un produit similaire au charbon, mais produit à partir de la pyrolyse de la biomasse, offre des avantages de rétention des minéraux et d'eau similaires à l'argile mais il possède une densité près de 14 fois moins élevée et une très grande porosité en air. Son utilisation en tant que conditionneur de sol remonte à l'époque précolombienne ou l'ajout de charbon de bois était pratiqué par les Amérindiens dans les « Amazonian dark earth » ou Terra Preta. Dorais et coll. ont amendé les six types de sols présentés à la Fig. 2 avec 10 % de biocharbon v:v (sapin baumier + épinette noire et blanche, 750ºC) pendant 2 ans, puis de 15 % v:v lors de la 3e année de culture. L'activité microbienne des sols et leur rétention en éléments nutritifs ont été grandement améliorées tout en réduisant le lessivage des nitrates de 30 à 50 %, sans affecter les paramètres de croissance et de rendement. En plus de réduire l'empreinte environnementale de la fertilisation biologique, le biocharbon permet d'améliorer la réserve fertilisante du sol.

Les caractéristiques physico-chimiques des biocharbons varient en fonction de la matière première et des conditions de pyrolyse (p. ex. la vitesse de montée et la température de pyrolyse; le taux d'oxygène). Leurs effets dans le sol vont également dépendre de la taille des particules. Les principales caractéristiques physico-chimiques de 5 biocharbons étudiés lors des travaux de doctorat de Vicky Lévesque sont présentées au tableau 4.

DID YOU KNOW?

Bien gérée, la culture biologique n'a plus rien à envier aux rendements de la culture hydroponique. Bien gérée, elle pourra aussi réduire son empreinte environnementale.

Paramètre	*M400*	*M550*	*M700*	*P700*	*W400*
Matière première	*Écorce d'érable à sucre*			*Copeaux de pin*	*Copeaux de saule*
Température de pyrolyse	400°C	500°C	700°C	700°C	400°C
pH (H_2O)	10,1	11,3	11,1	7,4	8,2
EC[1] (mS/cm)	0,6	1,4	1,1	0,1	0,4
% saturation en bases	100	100	100	32,7	100
Matière séche	96,5	95,8	96,6	93,2	95,7
Contenu en cendre (%)	15,8	23,6	20,1	4,8	7,5
Matière volatile (%)	36,6	29,4	33,7	15,8	17,7
Ratio C/N	57,99	58,68	85,78	61,36	95,51
Densite apparente (g/cm^3)	0,42	0,42	0,39	0,17	0,26
Porositè totale (cm^3/cm^3)	0,75	0,76	0,77	0,9	0,83
Contenu en eau à -1kPa (%)	47	62	48	78	69

Tableau 4: Caractristiques physico-chimiques (Adapté from Lévesque et al. (2018))
1- CE: conductivité électrique 2- CEC: capacité d'échange cationique

Trois sources de matières premières (écorces d'érable à sucre (M), copeaux de pins (P) et copeaux de saules (W)) et trois températures de pyrolyse (400, 550 et 700oC) ont été comparées. Il s'avère que les biocharbons sont loin d'être tous équivalents. Pour la même matière première (écorce d'érable à sucre), les paramètres les plus affectés par la température de pyrolyse sont la CE (0,6 à 1,4), le ratio C/N (57,99 à 85,78). De plus, des essais d'incubation en mélange tourbeux ont démontré que le M400 immobilisait une partie de l'azote, alors que la faible granulométrie du saule pouvait nuire à l'aération du substrat. Par conséquent, ces derniers ont été considérés inappropriés dans les essais de production en mélange tourbeux.

Lévesque et coll. ont évalué les impacts agronomiques des biocharbons M550, M700 et P700 en mélange tourbeux à des proportions de 0, 5, 10 et 15% (v/v) chez la tomate (micro-Tom) et le poivron (cultivars de champ) pour des fertilités de 50 et 100%. L'ajout de biocharbons a permis de réduire le lessivage des nutriments tels que N-P-Mg et Ca et d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau et des nutriments. L'effet du biocharbon serait lié à une meilleure colonisation du substrat par les racines; cela favorise la libération d'exsudats, une source de carbone nécessaire à l'activité microbienne. Chez la tomate, la meilleure combinaison a été l'utilisation du biocharbon P700 à 5% alors que chez le poivron, ce sont les biocharbons à base d'érable à sucre, sans distinction pour les températures de pyrolyse. Le poivron a même réagi positivement à une fertilité de 50% avec ajout de biocharbon. L'ajout de 5 à 15 % de biocharbon aux mélanges tourbeux semble donc une avenue prometteuse pour accroître la durabilité des systèmes de production biologique. Des tests sur des cultures plus exigeantes (cultures indéterminées en serre) seront à réaliser. De même, la qualité du biocharbon choisi pour amender les sols est très importante et doit respecter certaines normes afin d'éviter des effets négatifs reliés aux composés phytotoxiques. Si celui-ci laisse des traces noires sur vos mains, méfiez-vous !

GESTION DES EFFLUENTS DE SERRE

Biofiltration

La gestion des effluents de serre vise tout d'abord à réduire la charge polluante des rejets (surtout NO3, PO4 et SO4) et, dans le cas où cette solution est réutilisée comme eau d'irrigation pour les cultures, l'élimination des agents pathogènes et des molécules ayant un potentiel de phytotoxicité. Pour la gestion des eaux usées, la technologie des marais filtrants artificiels (MFA) a été la plus étudiée étant donné son faible coût et sa capacité à réduire les agents pathogènes.

La biofiltration est un mécanisme incluant une séquence précise de réactions faisant intervenir des processus physiques, chimiques et biologiques. Il faut donc établir plusieurs niches écologiques distinctes (pH faible et élevé, zones aérobiques et anaérobiques, présence de carbone labile) dans un ordre précis pour

soutenir l'activité des micro-organismes impliqués. Ces derniers pourront ainsi réaliser les chaînes de réaction de transformation de l'azote nitrique et ammoniacal en azote gazeux (N2) et la réduction des sulfates vers le sulfure d'hydrogène puis sa réoxydation en composés insolubles. Ces chaines de réactions, lorsqu'incomplètes, peuvent générer du N20 et du CH4, puissants gaz à effet de serre, ou du H2S, toxique pour la microflore, les cultures et les humains lorsque les marais ou bioréacteurs sont placés dans un environnement fermé.

Trois types de MFA ont été étudiés (fig.3):

Les marais surfaciques à flux horizontal, FWS (free water surface flow) : Les effluents sont apportés à une extrémité du marais, circulent par un mouvement horizontal sous la flore aquatique (jacinthes d'eau ou autres macrophytes), puis ressortent à l'autre extrémité via un tuyau permettant de maintenir un temps de rétention déterminé ainsi que le niveau du marais. Ce système s'apparente à un étang.

Les marais sous surfaciques à flux horizontal, HSS (Horizontal-subsurface flow) : Les effluents sont apportés à une extrémité du marais qui est composé d'une couche de gravier grossier (1.905 cm de diamètre) assurant une distribution uniforme des eaux qui circulent horizontalement dans un lit de sable, de gravier ou autres matériels filtrants (pouzzolane) sur lequel se développent des microfilms. Des plantes macrophytes, dont la quenouille, colonisent ce milieu afin d'assurer, par leurs racines, des apports en carbone et en oxygène, essentiels au développement des microorganismes qui sont responsables de la réduction des nitrates et des sulfates. Les eaux traitées sont évacuées du marais via un tuyau permettant de maintenir un temps de rétention déterminé et le niveau du marais.

Les marais sous surfaciques à flux vertical, VSS (Vertical subsurface flow) : Les effluents sont apportés sur l'ensemble de la surface du marais, percolent d'abord dans un lit de sable, de gravier ou autres matériels filtrants (pouzzolane) pouvant atteindre près de 1 mètre de profondeur, puis atteignent un lit de gravier sous-jacent (1.905 cm de diamètre) de 15 cm pour ensuite être évacués du marais par un tuyau permettant de maintenir un temps de rétention déterminé et le niveau du marais.

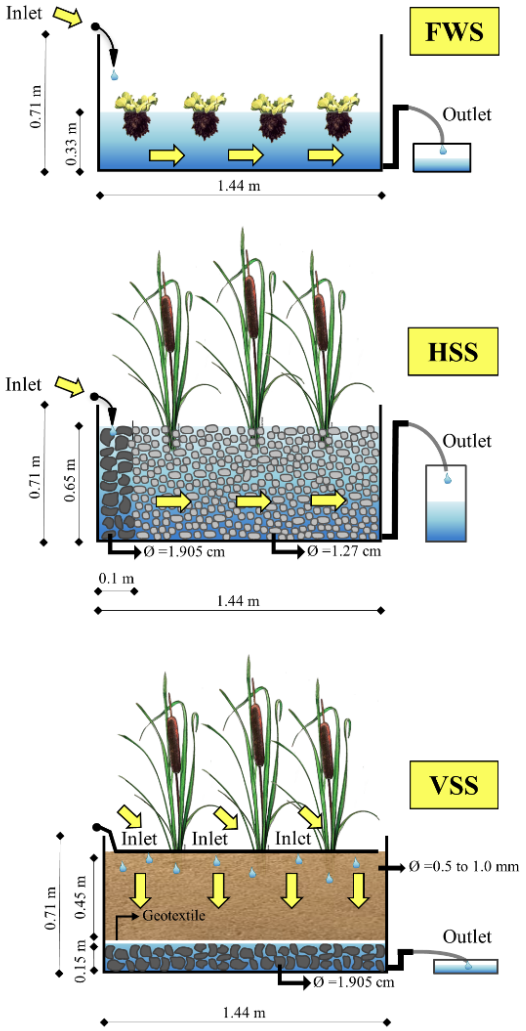

Figure 3: Rendement photosynthétiques de six substrats hors-sols en fonction de la tension matricielle de l'eau

Pour les effluents de serre très riches en nitrates et en sulfates, une source additionnelle de carbone est nécessaire afin de maintenir une activité microbienne élevée, et éviter une compétition nutritionnelle entre les organismes réducteurs de nitrates et de sulfates. En ajoutant du carbone labile, le HSS est le plus efficace pour réduire les nitrates tout en limitant les émissions de N20, alors que le VSS est moins efficace car il permet des échanges d'oxygène plus important, limitant ainsi l'activité des microorganismes réducteurs. Les marais FWS sont les plus efficaces pour diminuer les effluents en nitrates. Cependant, ces marais-ci émettent sept fois plus de N2O et deux fois plus de CO2 que les HSS. Un essai commercial au Québec avec trois VSS en série a réussi à réduire de 86% les nitrates, 100% le phosphore par adsorption et 63% des sulfates avec une charge fertilisante importante. Cependant, les données d'émissions de N2O n'ont pas été répertoriées.

Certains matériaux pourraient remplacer en partie le lit de gravier et augmenter la capacité de purification des MFA. Gruyer et coll. ont observé une réduction complète des nitrates et des sulfates des effluents de serre lorsque le milieu filtrant utilisé était de la pouzzolane (composé très poreux) en offrant une surface accrue pour le développement de biofilms. Cependant, cette alternative s'avère trop dispendieuse dû au coût de l'importation. Des travaux additionnels ont également été menés par l'équipe du Dr Dorais afin de démontrer les avantages d'amender les milieux filtrants avec le biocharbon. Selmène Ouertani a ainsi démontré que le taux d'expression de plusieurs gènes clés d'espèces bactériennes impliqués dans le fonctionnement des MFAs, incluant ceux contrôlant le dégagement des gaz à effet de serre, étaient favorisés par l'ajout de biocharbon. De plus, le biocharbon peut protéger la population microbienne des marais contre les pesticides pouvant se retrouver dans les eaux à traiter. Selon Dr. Dorais, le HSS sur un lit de gravier avec un apport suffisant en carbone labile répond le mieux aux critères environnementaux par une réduction importante des phosphates, des sulfates et des nitrates dans les effluents, et une forte réduction d'émission de N2O. Une très forte charge fertilisante en NO3 (500ppm) et/ou des risques de phytotoxicité peuvent profiter de l'ajout de biocharbon en mélange au gravier. De plus, il faut seulement 10% de la superficie de la serre pour assurer la purification lors des forts lessivages estivaux, ce qui en fait un système peu encombrant et économique.

ÉLIMINATION DES AGENTS PATHOGÈNES ET RÉUTILISATION DES EAUX TRAITÉES

En utilisant des MFA de type HSS avec la pouzzolane comme milieu filtrant , il a été possible d'éliminer des effluents de serre 99,62 % du F. oxysporum et 99,99 % de P. ultimum. Par ailleurs, la réutilisation des eaux traitées a réduit de 84 à 100% les populations de Pythium observées chez les racines de jeunes plants de tomate cultivés dans un milieu tourbeux. La croissance de leurs racines a toutefois été négativement affectée par l'utilisation des eaux traitées, ce qui pourrait s'expliquer par une trop grande présence de composés phénoliques. Cependant, Ouertani et coll. n'ont observé aucun effet négatif résultant de l'utilisation des eaux traitées provenant de six types de marais HSS amendés ou non avec du biocharbon (15% v/v mélangé avec le gravier ou en mode filtre de 20 cm d'épaisseur) comme eaux d'irrigation. De plus, l'utilisation de l'eau traitée des marais dans les systèmes de culture en eau profonde n'a pas influencé significativement l'abondance et les communautés bactériennes retrouvées dans la rhizosphère des plants de tomate.

CONCLUSION

Le développement d'une industrie biologique dans le respect des écosystèmes et des humains entraînera des enjeux écologiques et sociétaux de plus en plus complexes si on veut que ce développement se poursuive sans tomber dans les excès industriels observés depuis les années 60 dans d'autres secteurs d'activités. L'industrie devra donc adopter des méthodes de production qui, au-delà du rendement et de la rentabilité, contribueront notablement à l'amélioration de la durabilité des systèmes de production. De bons outils pour la gestion durable de l'eau et de la fertilité des sols sont maintenant disponibles pour la production biologique intensive en serre afin d'atteindre des rendements élevés de qualité tout en réduisant l'empreinte environnementale. La réduction des rejets des effluents et des émissions de gaz à effet de serre exige encore certains efforts de recherche, mais tous les éléments sont en place pour réussir. L'industrie de la culture biologique des légumes de serre est maintenant promue à un bel avenir : faire plus, faire mieux.

Ces résultats de recherche vous sont présentés grâce au support des Grappes scientifiques biologiques canadiennes, initiatives en recherche et développement soutenues par l'industrie et dirigées conjointement par la Fédération biologique du Canada et le Centre d'agriculture biologique du Canada de l'Université Dalhousie. Les Grappes scientifiques biologiques sont financées par le Programme Agri-innovation d'Agriculture et Agroalimentaire Canada sous les cadres stratégiques de Cultivons l'avenir et Cultivons l'avenir 2 (une initiative fédérale-provinciale-territoriale) et les partenaires du secteur biologique.

RÉFÉRENCES

Agriculture et Agroalimentaire Canada. (2019). Aperçu statistique de l'industrie des légumes de serre du Canada 2018. 20p. https://www.agr.gc.ca/eng/canadas-agriculture-sectors/horticulture/horticulture-sector-reports/statistical-overview-of-the-canadian-vegetable-industry-2018/?id=1569438862333

CARTV. (2020). Conseil des appellations réservées et des termes valorisants. https://cartv.gouv.qc.ca/

Dion, P.-P., Jeanne, T., Thériault, M., Hogue, R., Pépin, S. & Dorais, M. (2019). Minéralisation et prélèvement direct de l'azote organique dans les cultures légumières biologiques en serre. [Ph. D. thesisThesisThesisThesis]. Université Laval. https://corpus.ulaval.ca/jspui/handle/20.500.11794/37893

Dion, P.-P., Jeanne, T., Thériault, M., Hogue, R., Pépin, S. & Dorais, M. (2020). Nitrogen release from five organic fertilizers commonly used in greenhouse organic horticulture with contrasting effects on bacterial communities. Can. J. Soil Sci. 100: 1–16. https://doi.org/10.1139/cjss-2019-0056

Dion, P.-P. (2019). Minéralisation et prélèvement direct de l'azote organique dans les cultures légumières biologiques en serre. [Doctoral thesis]. Université Laval.

Dorais M. (2017). Chapter 4 Sustainable and Organic greenhouse tomato. In: Achieving sustainable cultivation of tomato. Eds. A. Mattoo and A.K. Handa, Burleigh Dodds Science Publishing. (pp. 77-114).

Dorais, M. & Alsanius, B. (2015). Advances and Trends in Organic Fruit and Vegetable Farming Research. https://doi.org/10.1002/9781119107781.ch04.

Dorais, M. & Pepin, S. (2011b). Soil oxygenation effects on growth, yield and nutrition of organic greenhouse tomato crops. Acta Horticulturae. 915: 91-99. DOI: 10.17660/ActaHortic.2011.915.11. https://www.actahort.org/books/915/915_11.htm

Dorais, M., Pépin, S., Gaudreault, L., Ménard, C., & Bacon, R. (2012b). Organically grown greenhouse tomato under supplemental lighting. Proceedings of the Canadian Organic Science Conference and Science Cluster Strategic Meeting. P. 95

Dorais, M., Gagnon, F., Laurin-Lanctôt, S., Thériault, M., Ménard, C. & Pepin, S. (2017). Short-term improvement of soil biological activity in biochar-amended organic greenhouse tomato crops. Acta Horticulturae: 249-256. DOI: 10.17660/ActaHortic.2017.1164.32. https://www.actahort.org/books/1164/1164_32.htm

Dorais, M., Lévesque, V., Jeanne, T., & Hogue, R. (2017). Metagenomic analysis of organic greenhouse soils and growing media. Technical report, USA National Organic Standard board. 20 p.

Dorais, M. & Thériault, M. (2018). Beneficial effects of using silicon for organic greenhouse cucumber. Acta Horticulturae. 1227: 443-448 DOI: 10.17660/ActaHortic.2018.1227.55 https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1227.55

Duval, J. (2016). Stratégies et engrais pour la fertilisation. Fertilization en production horticole biologique.

Gravel, V., Dorais, M. & Ménard, C. (2011a). Organic greenhouse tomato production in raised bed containers under commercial conditions: Conclusion of a 3-year study. Proceedings of the 28th International Horticultural Congress. Lisbon, Spain. August 22-27

Gravel, V., Ménard, C. & Dorais, M. (2011c). Organic greenhouse tomato production in raised bed containers: A two-year study. Acta Horticulturae. 915: 69-74. DOI: 10.17660/ActaHortic.2011.915.8. https://www.actahort.org/books/915/915_8.htm

Gravel, V., Ménard, C., Dorais, M. & Pepin, S. (2011d). Greenhouse tomato plant development under organic growing conditions: A case study of six organic soils. Acta Horticulturae. 915: 83-89. DOI: 10.17660/ActaHortic.2011.915.10. https://www.actahort.org/books/915/915_10.htm

Gravel, V., Dorais, M., Ménard, C. & Pépin, S. (2012d). Soil salinization of organically-grown greenhouse tomato. Proceedings of the Canadian Organic Science Conference and Science Cluster Strategic Meeting. Winnipeg, Canada. February 21-23, 2012

Gruyer, N., Dorais, M., Zagury, G. & Alsanius, B. (2011). Effects of Using Water Treated by Artificial Wetlands on Root Rot Suppression and Tomato Growth. HortTechnology. 21: 759-766. DOI: 10.21273/HORTTECH.21.6.759. https://journals.ashs.org/horttech/view/journals/horttech/21/6/article-p759.xml

Gruyer, N., Dorais, M., Zagury, G. J. & Alsanius, B. (2012a). Traitement biologique des effluents de serre par des marais filtrants artificiels et des bioréacteurs passifs. [Ph. D. thesisThesis]. Université Laval. http://hdl.handle.net/20.500.11794/23450

Gruyer, N., Dorais, M., Zagury, G. & Alsanius, B. (2013). Removal of plant pathogens from recycled greenhouse wastewater using constructed wetland. Agricultural Water Management. 117: 153-158. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.009

Laurin-Lanctôt, S. & Dorais, M. (2015). Effet de l'amendement en biochar des sols biologiques pour une culture de tomates sous serre : Rétention en nutriments, activité biologique et régie de fertilisationFertilization. [Master's thesisThesis]. Université Laval. https://corpus.ulaval.ca/jspui/bitstream/20.500.11794/25931/1/31583.pdf

Lemay, I., Caron, J., Dorais, M. & Pepin, S. (2012). Defining Irrigation Set Points Based on Substrate Properties for Variable Irrigation and Constant Matric Potential Devices in Greenhouse Tomato. HortScience. 47: 1141-1152. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.8.1141

Lévesque, V., Antoun, H. & Dorais, M. (2011). Potentiel des

marais filtrants à traiter les effluents de serre issus d'une culture de tomate. [Master's thesisThesis]. Université Laval. https://corpus.ulaval.ca/jspui/handle/20.500.11794/22957

Lévesque, V., Rochette, P., Ziadi, N., Dorais, M & Antoun, H. (2017). Amendement en biochars : Effets sur l'activité et la structure des microorganismes et sur les rendements de la tomate et du poivron de serre. [Ph. D. thesisThesis]. Université Laval. https://corpus.ulaval.ca/jspui/bitstream/20.500.11794/27582/1/33412.pdf

Lévesque, V., Rochette, P., Ziadi, N., Dorais, M. & Antoun, H. (2018). Mitigation of CO2, CH4 and N2O from a fertigated horticultural growing medium amended with biochars and a compost. Applied Soil Ecology. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.02.021

Lévesque, V., Antoun, H., Rochette, P. & Dorais, M. (2020). Type of constructed wetlands influence nutrient removal and nitrous oxide emissions from greenhouse wastewater. European Journal of Horticultural Science. 85: 3-13. DOI: 10.17660/eJHS.2020/85.1.1. https://www.researchgate.net/publication/339986754_Type_of_constructed_wetlands_influence_nutrient_removal_and_nitrous_oxide_emissions_from_greenhouse_wastewater

Ouertani, S., Dorais, M., Antoun, H. & Pépin, S. (2019). Effet de l'ajout de biochar sur les microorganismes des marais filtrants artificiels traitant des effluents de serre. [Ph. D. thesis]. Université Laval 2019.

Perron, B. (2018). Impact de la nutrition azotée sur l'activité microbienne du milieu de culture et sur la qualité de la tomate et du concombre biologiques de serre. [Master's thesis]. Université Laval.

Sonneveld, C. & Voogt, W. (2009). Plant Nutrition of Greenhouse Crops. DOI: 10.1007/978-90-481-2532-6. https://link.springer.com/book/10.1007/978-90-481-2532-6

Voogt, W., de Visser, P. H. E., van Winkel, A., Cuijpers, W. J. M. & van de Burgt, G. J. H. M. (2011). Nutrient management in organic greenhouse production: Navigation between constraints. Acta Horticulturae. 915: 75–82. https://www.actahort.org/books/915/915_9.htm

Willer, H., Schlatter, B., Trávníček, J., Kemper, L., & Lernoud, J. (2020). The world of organic agriculture statistics and emerging trends 2020. IFOAM-Organics International. Research Institute or Organic Agriculture FiBL, 337p. https://orgprints.org/37222/9/willer-et-al-2020-full-document-2020-02-28-4th-corrigenda.pdf

À PROPOS DE LA GSB

GRAPPE SCIENTIFIQUE biologique

Ce bulletin présente des résultats de recherche de la Grappe scientifique biologique (GSB), programme dirigé par la Fédération biologique du Canada en collaboration avec le Centre d'agriculture biologique du Canada de l'Université Dalhousie. La Grappe scientifique biologique III (GSB3) est soutenue financièrement par le programme Agri-science du Partenariat canadien pour l'agriculture d'Agriculture et Agroalimentaire Canada, un investissement des gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux, et plus de 70 partenaires du secteur agricole. Pour en savoir plus sur la GSB, visitez le site du Centre d'agriculture biologique du Canada.

PARTENAIRES DE L'INDUSTRIE

vogorganic.com

écolocal MC Demers Fruits rouges, culture verte.

JARDINS-NATURE

Biologico SAINTE-SOPHIE SAGUENAY sagami

Serres St-Joseph de Beauce Culture biologique en pleine terre

L'ABRI VÉGÉTAL CULTURE BIOLOGIQUE EN SERRE

Ce bulletin peut être cité comme :
Theriault, J. 2021. La grappe scientifique biologique : levier majeur de la production biologique de légumes en serre. entre d'agriculture biologique du Canada, Université Dalhousie, Truro, N.-É.. 10 pp.. https://www.dal.ca/faculty/agriculture/oacc/en-home/organic-science-cluster/OSCIII.html

PARTENARIAT CANADIEN pour l'AGRICULTURE · OFC FBC ORGANIC FEDERATION OF CANADA FÉDÉRATION BIOLOGIQUE DU CANADA · Le réseau du savoir biologique CABC Centre d'agriculture biologique du Canada · DALHOUSIE UNIVERSITY · Canada