

Technique

Tomate

PROGRES : un nouveau système de recyclage des solutions nutritives

Cet article présente les premiers résultats expérimentaux d'un nouveau système "PROGRES" permettant le recyclage complet des effluents des cultures hors sol en maintenant la composition minérale de la solution nutritive circulante. Ce procédé est basé sur une analyse effectuée directement par l'horticulteur une fois par semaine à l'aide de bandelettes ; ces données sont fournies à un logiciel qui calcule les quantités des solutions d'engrais qu'il faut apporter pour se rapprocher de la composition de la solution nutritive initiale. Il est ainsi possible de recycler intégralement et sans risques la totalité des effluents des cultures hors sol en les utilisant comme matière première pour la fabrication d'une nouvelle solution nutritive. Ce système a été validé sur une culture hors sol de tomates sur laine de roche à l'AIREL en 1998.

*par Philippe Morard et Stéphane Martinez, INP/ENSAToulouse**

En France, les cultures hors sol sont largement utilisées pour la production de légumes (tomate, concombre), de fruits (fraise) et de fleurs (rose, gerbera œillet). Sur une surface totale estimée à 1.200 ha, la culture hors sol la plus importante est celle de la tomate (environ 800 ha). Les plantes sont cultivées sur un substrat inerte (en général de la laine de roche) irrigué par une solution nutritive apportée en goutte-à-goutte. Dans ce système "à percolation", la solution diffuse par gravité dans le substrat et son excès est, en général, rejeté dans l'environnement de la serre (sol et eaux de surface). Les taux de drainage de ces systèmes "ouverts" sont de l'ordre de 20 à 40 %. Ainsi, la quantité d'effluents d'une culture hors sol de tomate a été mesurée dans différentes situations : la fourchette de valeurs est assez large et se situe, par hectare et par an, entre 3.000 et 5.000 m³ de solution contenant 4 à 10 tonnes de sels minéraux (dont 1.500 à 4.000 kg de nitrates). Les pollutions engendrées et les contraintes réglementaires (taxation des rejets de nitrates dès 2001) conduisent à supprimer ces rejets et à recycler ces effluents au niveau de la serre de production.

LE SYSTEME PROGRES

Du point de vue de l'alimentation minérale des cultures hors sol, les procédés de recyclage intégral des solutions nutritives se heurtent actuellement à deux verrous technologiques : le premier concerne le besoin d'un "outil d'analyse" simple et peu onéreux pour le contrôle régulier de la composition minérale de la solution nutritive, directement utilisable dans la

*Laboratoire d'Ingénierie Agronomique, ENSAT, BP 107, 31320 Castanet Tolosan

serre de production ; le second réside dans la difficulté de calculer les quantités d'éléments minéraux, apportées sous forme d'engrais ou de sels simples, nécessaires au rééquilibrage de la solution nutritive. Le Procédé d'Optimisation de la Gestion du Recyclage des Effluents des Serres (PROGRES) apporte une solution à ces deux problèmes. Il comprend, en effet, un matériel d'analyse des solutions nutritives adapté à une utilisation en serre et un logiciel Vegenut[®] de rééquilibrage des solutions nutritives en vue de leur recyclage.

- La technique de dosage est basée sur l'utilisation d'un spectrophotomètre portable (RQflex de la société Merck) qui permet la mesure de réactions colorimétriques obtenues sur des bandelettes (Réflectoquant et Merckoquant). Ce type de matériel est actuellement commercialisé pour les analyses minérales des eaux. Il a été nécessaire d'adapter son étalonnage aux concentrations plus élevées des macroéléments dans les solutions nutritives et de tenir compte des interactions entre les ions (Martinez, 2000). Cette technologie permet de doser, avec une bonne précision, les nitrates, les phosphates, le potassium, le calcium et l'ammonium, ainsi que les sulfates en lecture directe.
- Le recyclage des effluents pour fabriquer une nouvelle solution nutritive de composition donnée nécessite d'intégrer successivement trois paramètres : les teneurs résiduelles des ions dans le drainage, la composition minérale de l'eau d'irrigation, la quantité d'anions apportés par l'acide nécessaire à la correction du pH. La différence entre l'objectif de fabrication de la solution nutritive et la somme des trois paramètres précédents fournit les quantités d'engrais ou des sels simples nécessaires au rééquilibrage. Enfin, ce calcul doit intégrer le volume de solution à recycler (Morard, 1995). Ces étapes de calculs sont longues et complexes, elles pourraient faire l'objet d'une "formulation assistée par ordinateur", mais les modèles et les algorithmes sont rares ou peu fiables (Reist, 1994). Le logiciel Vegenut[®], déposé en 1999 par l'INPT/ENSAT, a la particularité d'intégrer toutes les étapes des calculs précédemment évoquées et de fournir le meilleur compromis en fonction des engrais dont dispose l'horticulteur (Martinez, 2000). Ce logiciel est polyvalent : il peut être utilisé dans toutes les technologies de cultures hors sol, il s'adapte à tous les systèmes de conduite de la fertirrigation, il peut enfin prendre en compte n'importe quel type d'engrais ou de sel disponibles commercialement.

EXPERIMENTATION SUR TOMATE

Cette expérimentation s'est déroulée en 1998 sous serre verre à l'AIREL (47-Sainte-Livrade/Lot). Les essais ont été réalisés sur des tomates (variété Palmiro) en culture hors sol sur substrat (pains de laine de roche GRODAN) à la densité de 2,4 plants/m². L'expérimentation a eu pour objectif de comparer les résultats agronomiques de deux modalités de culture hors sol : la première reproduisait les techniques culturales de la station sans récupération des effluents ("circuit ouvert"), la seconde était pilotée par le système PROGRES avec recyclage complet de la solution nutritive ("circuit fermé"). Les deux circuits étaient totalement indépendants, chacun d'eux alimentait de 6 lots de 32 plantes.

- Pour la modalité en circuit ouvert, les tomates ont été alimentées par une solution nutritive non récupérée (figure 1) fabriquée à partir de l'eau du Lot enrichie dans un bac de mélange par des solutions mères A (3,95-0-4,2-3,9CaO-0,25MgO) et B (1,5-2,35-4,45-1,6MgO-3,4SO₃) fournies par la société ALGOCHIMIE. La station de fertilisation contrôle la préparation de la solution à partir d'une consigne de l'électroconductivité et assure la régulation du pH à 5,6 par ajout d'acide nitrique.
- Pour la modalité en circuit fermé, les effluents des pains sont récupérés (figure 2). Le drainage représente en volume environ 30% de la solution nutritive fournie aux plantes. Chaque semaine le système PROGRES modifie le contenu des solutions mères A et B pour réajuster la solution nutritive à sa composition initiale : les teneurs en éléments minéraux sont analysés à l'aide des bandelettes et les valeurs obtenues sont introduites

dans le programme Vegnut[®]. Ce dernier calcule les volumes d'engrais liquide à ajouter à partir d'un pool de 5 formulations constitué des 2 solutions A et B du circuit ouvert et de 3 engrais complets en suspension ALGOSPEED FLO (12-7-23-4,5MgO-3,75CaO ; 12-7-24-4,5MgO-3,75CaO ; 14-10-29-0,7MgO-0,9CaO).

L'expérimentation s'est déroulée sur 18 semaines pendant la période de production. Les solutions nutritives des 2 modalités ont été prélevées et analysées chaque semaine avec les bandelettes ; les valeurs obtenues ont été systématiquement contrôlées par dosage en chromatographie ionique DIONEX. Sur chaque lot, les récoltes ont été pesées, les fruits comptés et calibrés. Les consommations hydriques et minérales ont été mesurées en regroupant de 3 lots de plantes.

VALIDATION AGRONOMIQUE DU SYTEME PROGRES

L'évaluation du fonctionnement du système PROGRES a d'abord été estimée sur le rendement et la qualité des fruits récoltés (tableau 1) : quel que soit le paramètre considéré, aucune différence significative n'apparaît au niveau de la production (en kg/m²) entre le système recyclé (33,4 kg/m²) et le circuit ouvert (33,7 kg/m²). La qualité des fruits, estimée par le rendement commercialisable (Cat. 0 = extra, Cat. 1 = légers défauts, déchets), poids moyen des fruits (Pm), nombre de fruits (Nb), est identique.

Toutes les données relatives à la consommation hydrique (tableau 2) ont été ramenées pour chaque modalité à l'unité de surface (m²) et cumulées sur la période de l'expérimentation (130 jours). Le volume total de solution nutritive apporté aux plantes par m² ("arrosage") est supérieur en système fermé (894 L) par rapport au système ouvert (847 L). Cette consommation "de luxe" (+5,5%) a déjà été observée pour une culture hors sol de tomate en système recyclé (Jeannequin et Fabre, 1993). L'excédent de solution nutritive ("drainage" des pains) a été mesuré pour chaque modalité : 35 % en solution recyclée, 41% en solution perdue. La "consommation de la serre" est la quantité d'eau réellement utilisé : elle est beaucoup plus importante en modalité solution perdue (consommation de la culture + rejets dans l'environnement = 847 L) par rapport au procédé permettant de recycler tous les effluents (580 L). L'économie d'eau réalisée au m² est de 32 % soit 2.670 m³/ha/an et environ 3.500 m³/ha/an pour un cycle complet de production, chiffre en accord avec les données bibliographiques.

Les teneurs en macroéléments ont été analysées chaque semaine dans les solutions nutritives et dans les eaux de drainage (Martinez, 2000). En tenant compte des éléments minéraux apportés par l'eau du Lot, il est possible de calculer la consommation réelle d'engrais et de chiffrer l'économie réalisée en recyclant intégralement les éléments minéraux contenus dans le drainage (tableau 3). La consommation d'engrais par la culture est beaucoup plus faible en système fermé qu'en système ouvert pour l'ensemble des éléments étudiés. L'économie d'engrais réalisée varie en fonction de l'élément considéré et s'échelonne entre 4 % et 65 % des quantités apportées pendant l'expérimentation : sur l'ensemble des éléments minéraux, le recyclage a permis de réduire l'apport d'engrais de 50 % soit une quantité d'engrais d'environ 11 tonnes/ha/an pour un cycle complet de production et de rejeter dans l'environnement de la serre 2.300 kg de nitrates par hectare et par an. Ainsi, dans les conditions de cette expérimentation sur tomate, l'économie réalisée par le recyclage sur les apports d'eau et d'engrais pouvait être estimée à 50.000 F/ha/an.

L'analyse hebdomadaire de la solution nutritive recyclée a confirmé que le rééquilibrage ionique a été assuré avec une marge d'erreur de 10 %. La formulation assistée par ordinateur a permis de réutiliser la totalité des effluents d'une culture hors sol sans modifier la composition de la solution nutritive circulante. L'utilisation des drainages a été possible en recalculant, chaque semaine à l'aide du logiciel Vegnut[®], les quantités d'engrais à apporter à partir d'un pool constitué uniquement de 5 formulations différentes. Enfin, il faut remarquer que le

système d'analyse par bandelettes (intégrant la correction des courbes d'étalonnage dans le logiciel Vegenut[®]) est suffisamment sensible pour suivre et contrôler l'évolution des teneurs dans une solution nutritive et que les mesures obtenues sont fiables puisque elles toutes été contrôlées par chromatographie ionique (l'écart n'excède jamais +/- 10%).

CONCLUSIONS

Le système PROGRES permet d'analyser la concentration en éléments minéraux des eaux de drainage des cultures hors sol et de rééquilibrer la composition de ces effluents en vue de leur recyclage. Ce procédé est opérationnel pour les cultures végétales hors sol comme le montre la validation effectuée sur une culture de tomates à l'AIREL de Sainte-Livrade (47). Ces résultats ont été confirmés, l'année suivante dans les mêmes conditions, sur l'intégralité de la durée de la culture la culture hors sol de tomates.

Les principaux avantages de ce nouveau procédé de recyclage des solutions nutritives sont les suivants :

- il n'entraîne aucune différence significative du rendement (autant au niveau qualitatif que quantitatif) par rapport aux résultats d'une culture conduite dans les mêmes conditions en solution perdue ;
- il permet le recyclage intégral des effluents de cultures hors sol en réalisant une économie en eau de 32 % et en engrais de 50 % (soit environ 50.000 F/ha/an) tout en évitant de rejeter dans l'environnement de la serre 2.300 kg/ha/an de nitrates ;
- il est compatible avec tous les équipements utilisés en horticulture (percolation ou subirrigation, stations de fertirrigation, formulations des engrais, procédés de désinfection...);
- il propose une technique simple et rapide de dosage des teneurs en macroéléments dans les solutions nutritives et il utilise la gamme d'engrais habituellement employée par l'horticulteur pour rééquilibrer la solution nutritive recyclée ;
- il présente un coût d'investissement acceptable pour les professionnels : le kit complet de dosages et le logiciel Végénut sont commercialisés à 10.000F HT*.

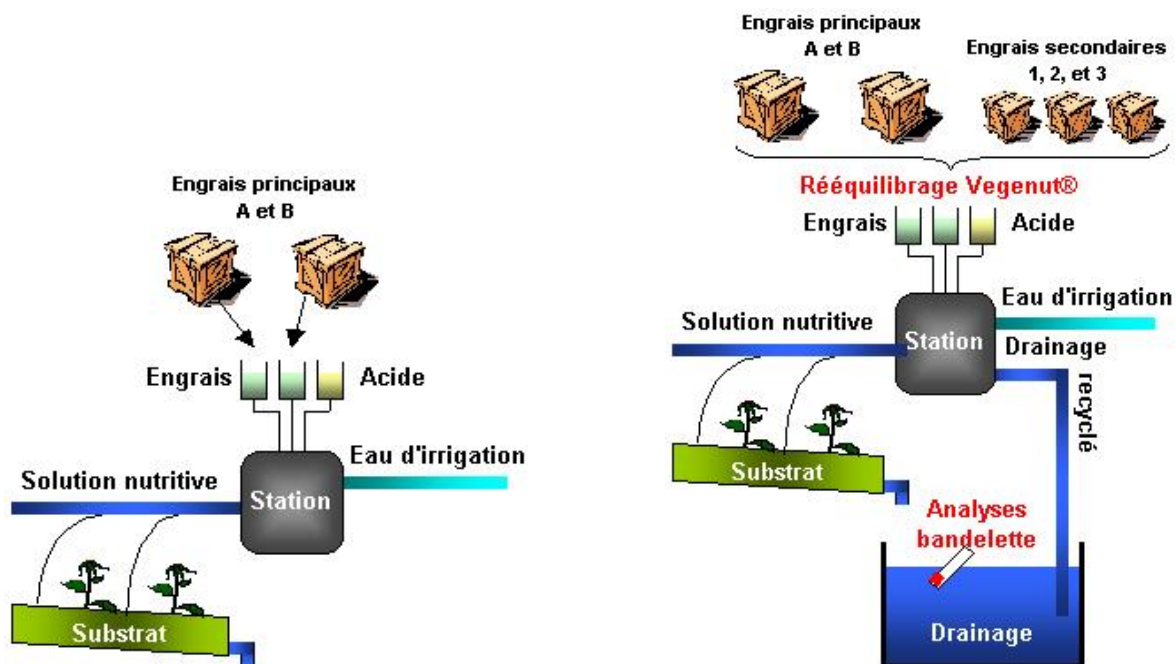
REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée à la station expérimentale de l'AIREL à Ste Livrade sur Lot (47), en collaboration avec la société Algochimie (37) et en partie financée par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne.

* C. Haunold, SRDI/INPT, Place des Hauts Murats, 31.000 Toulouse % 05 62 25 54 19

Bibliographie

- JEANNEQUIN B. et FABRE R. 1993. Procédé de culture hors sol à circuit fermé. Etude et perspectives . PHM revue horticole, 338:21-25.
- MARTINEZ S., 2000. Procédé d'optimisation de la gestion du recyclage des effluents des serres. Thèse doctorat INP Toulouse.
- MORARD P., 1995. Les cultures végétales hors sol. Publications agricoles, 47-Agen, Fr.
- REIST A., 1994. Haute technologie au service de l'environnement : l'horticulture comme haute technologie. Rev Suisse vitic. Arbo. Horti., 27:185-190.



	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Oct.	Cumul au 02/10				
	27-mars	30-avr	29-mai	26-juin	31-juil	28-août	2-oct	Cat 0 %	Cat 1 %	Pm	Nb	% déch.
Solution Perdue	2.4	10.2	17.0	23.7a	30.5	31.6	33.4a	59	30	139	239	11
Solution Recyclée	2.4	10.0	16.7	23.4ab	30.9	32.5	33.7a	62	29	137	246	9

L/m ²	Arrosage	Drainage	Recyclage	Consommation Culture	Consommation Serre
Recyclé	894	314	314	580	580
Perdu	847	345	0	502	847

kg/ha	Solution Recyclée		
	Apports	Recyclage	Economie
NO₃⁻	8 511	4 658	55%
H₂PO₄⁻	1 086	379	35%
SO₄²⁻	1 438	717	50%
K⁺	2 727	1 073	39%
Mg²⁺	595	388	65%
Ca²⁺	1 257	779	62%
NH₄⁺	266	11	4%
Somme	15 879	8 004	50%