



11/ Fertilisation des cultures maraîchères sur substrat

Céline Gilli et Christoph Carlen
Agroscope, 1964 Conthey, Suisse

Renseignements: celine.gilli@agroscope.admin.ch

Table des matières

1. Introduction	11/3
2. Recommandations pour la fertilisation	11/4
2.1 Systèmes ouverts et fermés	11/4
2.2 Composition de la solution nutritive	11/5
2.3 Adaptation de la solution nutritive	11/6
2.4 Apport de solution nutritive	11/6
3. Bibliographie.....	11/7
4. Liste des tableaux	11/8
5. Liste des figures	11/8

1. Introduction

En culture maraîchère sur substrat, la fertigation (fertilisation et irrigation) avec recyclage du drainage fournit à la plante un apport nutritionnel optimal et une utilisation très efficace de l'eau et des éléments nutritifs. La solution nutritive doit être équilibrée et adaptée à la croissance des cultures cultivées sur substrats. Le substrat fournit un support aux plantes et il sert, dans une certaine mesure, de réservoir dans lequel la plante puise les éléments nutritifs nécessaires à sa croissance. Il doit être perméable, bien aéré et durable (Göhler et Molitor 2002). Les matériaux utilisés aujourd'hui sont généralement organiques (écorce, fibre de bois ou de noix de coco, tourbe, etc.), ainsi ils peuvent être réutilisés ou recyclés. Mais des supports minéraux d'origine naturelle (laine de roche, perlite, Pouzzolane, etc.) sont également disponibles.

La composition des éléments dans la solution nutritive est complexe et joue un rôle important dans la réussite de la culture sur substrat, en particulier dans les systèmes avec recyclage du drainage (Pivot *et al.* 1999; Le Quilicq *et al.* 2002). La culture sur substrat présente les avantages suivants par rapport à une culture conventionnelle en sol: simplification des travaux de culture (récolte et pas de désherbage), augmentation du potentiel de rendement, meilleur contrôle de la précocité, moins de pertes de rendement induites par les rotations culturales insuffisantes, liées aux maladies du sol, aux ravageurs et au manque de fertilité des sols, ainsi que réduction des pertes en éléments nutritifs et en eau par le recyclage des eaux de drainage en système fermé.



Figure 2. Les tomates sont les principaux légumes cultivés sur substrat en Suisse (photo: Agroscope).

Cette publication contient des recommandations pour la fertigation des cultures maraîchères suivantes sur substrat: tomates, concombres, aubergines, poivrons et laitues (Sonneveld 1989; Brajeul *et al.* 2001; Göhler et Molitor 2002; Pivot *et al.* 2005; Urban et Urban 2010; Sonneveld et Voogt 2009) (figures 1, 2 et 3).



Figure 1. Poivrons sur substrat (photo: Agroscope).



Figure 3. Concombres sur substrat (photo: Agroscope).

2. Recommandations pour la fertilisation

2.1 Systèmes ouverts et fermés

Le système ouvert (SO) permet l'apport d'une solution nutritive fraîche à chaque irrigation. Les effluents doivent être récupérés pour fertiliser d'autres cultures. Cette réutilisation des rejets nécessite de connaître leur teneur en éléments fertilisants, elle doit se pratiquer d'après les données de base pour la fertilisation des différentes cultures.

Le système fermé (SF) permet au contraire un recyclage dynamique des rejets sur la culture en place. La composition

du drainage varie en fonction de l'absorption d'eau et de nutriments par les plantes. Il peut en résulter une accumulation de certains éléments, et par conséquent des déséquilibres nutritifs (Pivot et Gillioz 2004). Pour cette raison, une analyse complète de la solution nutritive doit être effectuée toutes les trois à quatre semaines environ. Le recyclage permet une économie importante en eau et en engrais. La nécessité de désinfecter le drainage à recycler dépend du risque de propagation des agents pathogènes. Sur les grandes exploitations, le drainage est généralement désinfecté (filtration lente, rayonnement UV, traitement à l'ozone, traitement au chlore, ultrafiltration, etc.) (Göhler et Molitor 2002).

Tableau 1. Masse molaire (MM) des éléments chimiques utilisés pour la préparation des solutions nutritives.

Elément	MM g/mol	Elément	MM g/mol	Elément	MM g/mol
N	14,00	O	16,00	Fe	55,85
P	30,97	H	01,00	Mn	54,90
S	32,06	C	12,01	B	10,81
K	39,10	Na	22,99	Cu	63,55
Ca	40,08	Cl	35,45	Mo	95,90
Mg	24,31			Si	28,09

Tableau 2. Compositions en éléments minéraux des solutions nutritives de diverses cultures maraîchères sur substrats organiques en système ouvert (SO) et fermé (SF) (Sonneveld et Straver 1994; Göhler et Molitor 2002; Pivot et al. 2005).

Système	Jeunes plants	Laitue	Aubergine		Concombre		Poivron		Tomate	
	SF	SF	SF	SO	SF	SO	SF	SO	SF	SO
EC mS/cm	2,40	2,60	1,70	2,10	1,70	2,20	1,60	2,10	1,60	2,60
pH	5,0–6,2	5,0–6,2	5,0–6,2	5,0–6,2	5,0–6,2	5,0–6,2	5,0–6,2	5,0–6,2	5,0–6,2	5,0–6,2
Macro-éléments mmol/l										
NH ₄ ⁺	1,25	1,25	1,00	1,50	1,00	1,25	0,50	0,50	1,00	1,20
K ⁺	6,75	11,00	6,50	6,75	6,50	8,00	5,75	6,75	6,50	9,50
Ca ²⁺	4,50	4,50	2,25	3,25	2,75	4,00	3,50	5,00	2,75	5,40
Mg ²⁺	3,00	1,00	1,50	2,50	1,00	1,38	1,13	1,50	1,00	2,40
NO ₃ ⁻	16,75	19,00	11,75	15,50	11,75	16,00	12,50	15,50	10,75	16,00
SO ₄ ²⁻	2,50	1,13	1,13	1,50	1,00	1,38	1,00	1,75	1,5	4,40
H ₂ PO ₄ ⁻	1,25	2,00	1,00	1,25	1,25	1,25	1,00	1,25	1,25	1,50
Si ^a	–	0,50	–	–	0,75	0,75	–	–	–	–
Micro-éléments µmol/l										
Fe	25	40	15	15	15	15	15	15	15	15
Mn	10	5	10	10	10	10	10	10	10	10
Zn	5	4	5	5	5	5	4	5	4	5
B	35	30	25	35	25	25	25	30	20	30
Cu	1,00	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Mo	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

^a facultatif.

2.2 Composition de la solution nutritive

La solution nutritive contient non seulement des macro-éléments [azote (N), phosphore (P), soufre (S), potassium (K), calcium (Ca), magnésium (Mg)], mais aussi des oligo-éléments [fer (Fe), manganèse (Mn), zinc (Zn), bore (B), cuivre (Cu), molybdène (Mo)]. Elle doit être préparée en tenant compte de la composition en éléments nutritifs de l'eau d'irrigation. Il est possible que les quantités contenues dans l'eau couvrent ou dépassent les besoins de la culture en S, en Ca et en Mg. La composition minérale de l'eau dépend de son origine (source, eaux souterraines, lacs, etc.). Des variations considérables sur l'année sont également possibles. Une eau ayant une salinité inférieure à 0,5 mS/cm peut être utilisée sans problème. Au contraire, si la salinité excède 1 mS/cm, le recyclage est difficile à mettre en œuvre. La composition de la solution nutritive est exprimée en mole ou mmol (tableaux 1 et 2). La mole est la quantité d'une substance contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0,012 kg de carbone (^{12}C). La masse molaire d'une substance, un ion ou un atome, correspond à la somme des masses atomiques présentes, exprimée en grammes. Une mole d'une substance, un ion ou un atome, contient le même nombre d'entités élémentaires.

Les produits utilisés pour la préparation des solutions nutritives peuvent être hydratés ou non, leur composition chimique peut varier. La densité et la pureté des acides peuvent également changer selon leur origine. Il est donc indispensable de vérifier leurs compositions lors du calcul de la solution nutritive. Il est également important de s'assurer de la qualité des produits utilisés, ceux-ci ne devant pas contenir trop d'impuretés, de précipités, de carbonates et d'hydroxydes afin d'éviter la formation de composés insolubles dans les bacs de solutions mères.

La concentration des solutions mères est généralement de 100 à 200 fois plus élevée que celle de la solution nutritive (tableau 3). Elle est souvent limitée par la solubilité des produits utilisés. La règle veut qu'on ne mélange pas dans le même bac des éléments contenant des sulfates ou des phosphates avec des engrais contenant du Ca, ceci pour éviter une précipitation. Au moins deux bacs de solutions mères sont préparés pour pouvoir séparer les éléments incompatibles (figure 4). Les acides peuvent être dilués dans un bac séparé, afin de faciliter la gestion du pH. L'ajout des oligo-éléments, excepté le Fe, se fait dans le bac contenant les phosphates et les sulfates.

Tableau 3. Préparation de la solution nutritive pour une culture de tomate sur substrat dans un système ouvert en considérant les teneurs en éléments fertilisants dans l'eau.

Pour une solution mère de 100 litres (concentration: 100 x) Engrais	Quantité d'éléments fertilisants		
	Récepteur A	Récepteur B	Récepteur C
Hydrogénophosphate de potassium KH_2PO_4	2,04 kg		
Nitrate de magnésium $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	6,14 kg		
Mélange de micro-éléments	0,15 kg		
Nitrate d'ammonium NH_4NO_3 (Amnitra 18 %N)	0,53 l		
Sulfate de potasse K_2SO_4	6,96 kg		
Nitrate de calcium $5(\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) \text{NH}_4\text{NO}_3$		9,3 kg	
Acide nitrique HNO_3 - 60 % (d = 1,37)			4 l



Figure 4. Ordinateur pour mélanger et gérer la fertigation pour les cultures maraîchères sous serre (photo: Agroscope).

Tableau 4. Adaptation de la solution nutritive pendant les 4 à 8 premières semaines de culture. Différences par rapport aux concentrations recommandées pour ces cultures dans le tableau 2 (Pivot et al. 2005).

Élément mmol/l	Culture			
	Aubergine	Concombre	Poivron	Tomate
NH_4^+	+ 0,10	+ 0,10	+ 0,10	+ 0,10
K^+	- 1,00	- 1,00	- 1,00	- 1,00
Ca^{2+}	+ 0,45	+ 0,45	+ 0,45	+ 0,45
Mg^{2+}				+ 0,50
NO_3^-				+ 0,10

2.3 Adaptation de la solution nutritive

Pour favoriser la croissance et le développement optimal des cultures maraîchères cultivées sur substrat, les compositions proposées (tableau 2) doivent être adaptées selon les données du tableau 4 pour les quatre à huit premières semaines de culture. En particulier, la teneur en Ca est augmentée et celle en K est réduite. Ensuite, lorsque la charge en fruits est élevée, la teneur en potassium de la solution nutritive peut être augmentée durant de courtes périodes (environ une semaine) de 1 à 2 mmol/l sous forme de KNO_3 . Pour corriger et adapter l'apport



Figure 5. Mesure du pH et de l'électroconductivité (EC) de la solution nutritive (photo: Agroscope).

nutritif, il est indispensable d'analyser régulièrement la composition de la solution nutritive apportée aux plantes. Habituellement, des analyses sont nécessaires dans les systèmes fermés toutes les trois à quatre semaines.

La mesure de l'électro-conductivité (EC) et du pH permettent un contrôle plus simple de l'eau de drainage (figure 5). L'EC du drainage est un indicateur de la concentration de la solution nutritive dans les substrats. Les valeurs comprises entre 2,5 et 4,0 mS/cm sont considérées comme normales. Elles peuvent aussi être plus élevées (5 mS/cm) selon l'état et la période de culture. En période de forte chaleur, la plante consomme plus d'eau et, en période de faible luminosité, plus d'éléments minéraux. En raison des fluctuations de concentration, l'EC du drainage doit être contrôlée tous les jours et la solution nutritive adaptée en conséquence. Le pH du drainage doit être compris entre 5,5 et 7,0.

Une autre façon de contrôler la fertilisation est d'analyser la concentration en macro-éléments et oligo-éléments des feuilles pleinement développées. Pour évaluer les analyses foliaires, les valeurs indicatives pour les tomates, les concombres et les poivrons sont données dans le tableau 5.

2.4 Apport de solution nutritive

L'apport de solution nutritive est modulé principalement en fonction du stade de végétation, du rayonnement solaire et de la durée du jour. Les quantités d'eau et d'éléments nutritifs absorbés peuvent varier selon la saison. Il est donc nécessaire de vérifier régulièrement et d'équilibrer les fluctuations afin d'optimiser l'alimentation minérale. Dans un système ouvert, non recyclé, le volume de drainage doit représenter 20 % de l'apport. Dans un système fermé avec recyclage, il peut être plus élevé.

Tableau 5. Valeurs indicatives (plage optimale) pour l'analyse de feuille de concombre, poivron et tomate (macro-éléments en % de la matière sèche, oligo-éléments en mg/kg de matière sèche) (Göhler et Molitor 2002).

Valeurs indicatives	Culture		
	Concombre	Poivron	Tomate
N (%)	3,5–5,5	3,5–4,2	3,2–5,0
P (%)	0,4–0,8	0,4–0,8	0,35–0,7
K (%)	3,0–5,0	5,0–6,0	3,5–5,5
Mg (%)	0,4–0,8	0,4–0,8	0,35–0,7
Ca (%)	2,0–5,5	2,8–3,2	2,0–5,0
Fe (mg/kg)	85–250	110	85–300
Mn (mg/kg)	50–300	55	50–250
B (mg/kg)	45–100	55–100	40–100
Zn (mg/kg)	30–150	–	30–125
Cu (mg/kg)	5–18	–	5–16
Mo (mg/kg)	0,3–2,0	–	0,3–3,0

3. Bibliographie

- Brajeul E., Javoy M., Pelletier B. & Letard M., 2001. Le concombre. Monographie. Ctifl, Paris. 349 p.
- Göhler F. & Molitor H.-D., 2002. Erdelose Kulturverfahren im Gartenbau. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart (Hohenheim). 267 p.
- Le Quillec S., Brajeul E., Sédilot C., Raynal Lacroix C., Letard M. & Grasselly D., 2002. Gestion des effluents des cultures légumières sur substrat. Ctifl, Paris. 199 p.
- Pivot D., Reist A. & Gillioz J., 1999. Tomates en serre: substrats réutilisés, solutions recyclées. Revue suisse de Viticulture, Arboriculture, Horticulture 31 (5), 265–269.
- Pivot D. & Gillioz J., 2004. Poivron: adaptation de la solution nutritive en système recyclé. Revue suisse de Viticulture, Arboriculture, Horticulture 36 (6), 368–372.
- Pivot D., Gilli C. & Carlen C., 2005. Données de base pour la fumure des cultures de légumes, de fleurs et de fraises sur substrat. Revue Suisse de Viticulture, Arboriculture, Horticulture 34 (4), 3–8.
- Sonneveld C., 1989. A method for calculating the composition of nutrient solutions for soilless cultures. Serie: Voedingsoplossingen glastuinbouw n°10, 3rd ed. 13 p.
- Sonneveld C. & Straver N. B., 1994. Nutrient solution for vegetables and flowers grown in water or substrates. Voedingsoplossingen glastuinbouw 8, 1–33.
- Sonneveld C. & Voogt W., 2009. Plant Nutrition of Greenhouse Crops. Springer Science + Business Media B.V. Springer Netherlands. 431 S.
- Urban L. & Urban I., 2010. La production sous serre. Tome 2: L'irrigation fertilisante en culture hors sol, 2^e édition. Edition Tec&Doc, Paris. 233 p.

4. Liste des tableaux

Tableau 1. Masse molaire (MM) des éléments chimiques utilisés pour la préparation des solutions nutritives.	11/4
Tableau 2. Compositions en éléments minéraux des solutions nutritives de diverses cultures maraîchères sur substrats organiques en système ouvert (SO) et fermé (SF).	11/4
Tableau 3. Préparation de la solution nutritive pour une culture de tomate sur substrat dans un système ouvert en considérant les teneurs en éléments fertilisants dans l'eau.	11/5
Tableau 4. Adaptation de la solution nutritive pendant les 4 à 8 premières semaines de culture. Différences par rapport aux concentrations recommandées pour ces cultures dans le tableau 2.	11/5
Tableau 5. Valeurs indicatives (plage optimale) pour l'analyse de feuille de concombre, poivron et tomate.	11/6

5. Liste des figures

Figure 1. Poivrons sur substrat.	11/3
Figure 2. Les tomates sont les principaux légumes cultivés sur substrat en Suisse.	11/3
Figure 3. Concombres sur substrat.	11/3
Figure 4. Ordinateur pour mélanger et gérer la fertigation pour les cultures maraîchères sous serre.	11/5
Figure 5. Mesure du pH et de l'électroconductivité (EC) de la solution nutritive.	11/6