

# La boîte à outils des serriculteurs

## Système de recyclage des eaux de lessivage

### Aspect rééquilibrage des solutions nutritives

### Modèle pour entreprises de production de légumes en serre

#### Vue d'ensemble de rééquilibrage des solutions nutritives en fonction du système de base proposé (dans la fiche 5a) pour la recirculation des solutions nutritives

Pour intégrer les eaux de lessivage aux eaux neuves fertilisées, plusieurs possibilités existent selon le niveau d'automatisation. Cependant, cette fiche présente une méthode qui tient compte du niveau d'automatisation peu élevé généralement observé dans les entreprises de petite taille. Le modèle proposé est adapté pour un producteur utilisant des proportionneurs de type Dosatron avec ajustement manuel du taux d'injection, et avec trois bacs de solutions concentrées (A, B et Acide). Avec ce type de système, l'ajustement du taux d'injection doit être effectué le moins souvent possible.

La grandeur du réservoir de désinfection et de repos (item 4 dans le schéma de la fiche 5a) a été dimensionnée afin de pouvoir obtenir une dilution permettant d'atteindre la conductivité électrique désirée au goutteur. Le taux d'injection des proportionneurs visera aussi cette même conductivité. Ainsi, les deux solutions arrivant avec la même conductivité dans le réservoir de mélange (item 5 dans le schéma de la fiche 5a), la gestion de la CE sera rendu plus facile au cas où le producteur manque d'eaux de lessivage ou en cas de bris du système d'alimentation. Également, le producteur pourra modifier les ratios entre les eaux de lessivage et l'eau neuve sans nuire à ses objectifs de CE. Quand au pH, il sera déjà à la valeur désirée suite à la procédure de chloration.

En pratique, un taux de lessivage de l'ordre de 30% fournira près de 45% de l'eau totale après dilution.

#### Quand commencer à recycler

Dans la mesure où la qualité de l'eau (voir fiche 5a) convient au recyclage, il n'y a pas de contrainte temporelle à débiter le recyclage. Cependant, les difficultés techniques particulières peuvent compliquer la tâche :

- Dans le cas d'un substrat riche en matière organique mobile et/ou en sels, le recyclage débute normalement plusieurs semaines après le début de la saison afin de réduire les difficultés de désinfection lié à la matière organique et/ ou les difficultés de rééquilibrage des solutions nutritives.
- Si le recyclage ne se fait pas en début de culture, il peut être difficile de bien déterminer avec précision la recette d'engrais suite à la mise en place du recyclage. Nous suggérons de débiter par un recyclage partiel puis d'augmenter graduellement la portion recyclée à mesure que la gestion des solutions nutritives est maîtrisée.

Pour les entreprises où la qualité de l'eau ne répond pas aux critères présentés à la fiche 5a, il sera possible dans certains cas de réaliser un recyclage partiel sous certaines conditions; ce point sera discuté à la fin de cette fiche (voir recyclage partiel des eaux de drainage). Par contre, certaines entreprises ne pourront recourir au recyclage qu'avec l'aide d'un système de filtration membranaire telle l'osmose inversée, cela ne sera pas traité ici.



## Principes de gestion des solutions nutritives avec recyclage des eaux de lessivage

En système ouvert (eaux de lessivages non recyclées), la gestion des solutions nutritives vise essentiellement à maintenir un équilibre entre les différents éléments minéraux dans l'environnement racinaire. Par conséquent, les ratios de fertilisants apportés à la culture ne correspondent pas nécessairement aux ratios d'absorption par la culture mais plutôt aux ratios qu'il faut établir dans l'environnement racinaire pour que la plante absorbe les minéraux dans les proportions harmonisées à sa croissance.

En système fermé (eaux de lessivage recyclées), le maintien des équilibres dans l'environnement racinaire demeure la priorité, sauf qu'il faut maintenant tenir compte des ratios d'absorptions des minéraux par la plante. Une fertilisation basée sur une meilleure connaissance des prélèvements par la culture demeure donc l'élément clé de la réussite de la fertilisation avec les eaux de drainage recyclées. Dans ce type de système, une bonne recette d'engrais deviendra assez rapidement inadéquate dû à l'absence d'outils de réduction des écarts entre la consommation de la culture et la recette d'engrais.

## Rééquilibrage des solutions nutritives

### *1- Détermination des prélèvements par la culture :*

Plusieurs études démontrent certaines tendances quant aux ratios de prélèvement par la culture. Dans plusieurs cas cependant, les résultats diffèrent grandement, ce qui indique bien que les prélèvements par la culture sont intimement liés aux conditions culturales et donc, aux conditions d'entreprise. Ainsi, cette fiche traitera de ce qui est le plus couramment observée mais ne pourra, en aucun cas, se substituer à la nécessité d'effectuer des analyses minérales régulières (minimum aux deux semaines).

Le tableau 1 indique en général le contenu en fertilisants à fournir avant le mélange aux eaux de lessivage selon les stades de culture ainsi que l'objectif d'équilibre à atteindre dans l'environnement racinaire. Le contenu de la solution nutritive neuve devrait être corroboré par les analyses minérales alors que l'objectif dans le milieu de culture est considéré comme une norme pour la culture de la tomate charnue de serre sur substrat. Cet objectif devrait donc être selon les conditions de culture propres au producteur.

En cours de saison, les conductivités électriques désirées peuvent varier du tableau 1. On admet qu'en général, la concentration des éléments majeurs devraient varier dans les mêmes proportions sauf pour le phosphore qui demeure plutôt stable.

En recyclant les eaux de lessivages, le risque de se retrouver avec un manque de sulfates est bien réel. Le tableau 1 indique les concentrations désirées pour les différents éléments minéraux immédiatement avant le mélange avec l'eau de recyclage. Ces recettes contiennent moins de potassium et de calcium que les recettes habituellement utilisées en système ouvert. Par conséquent, pour combler les besoins en azote, il faudra recourir à plus de nitrate de potassium, ce qui entraînera une baisse importante du niveau de sulfate, même chez ceux qui avaient l'habitude de lutter contre les hausses de sulfate en drainage perdu. Contrairement à la croyance populaire, le sulfate ne constitue pas seulement un ion accompagnateur des formulations commerciales mais fournit le soufre, qui est un élément majeur essentiel de la nutrition minérale des plantes, au même titre que le calcium ! Par conséquent, un niveau minimum de 300 ppm de sulfate dans le substrat est requis.

**Tableau 1: Solution nutritive neuve et objectif du contenu du lessivage en recyclage des eaux de lessivage**

Éléments	Solution nutritive neuve (ppm)			Lessivage
	Standard <sup>a</sup>	Riche en Ca <sup>b</sup>	Riche en K <sup>c</sup>	Drain
CE	2,5	2,5	2,5	3,8
NH4	23	26	23	7
K	404,8	314,6	455,4	312
Ca	147	143	142	400
Mg	54	52	48	108
NO3	230	260	230	322
SO4	337	337	337	648
P	60	60	60	31
Fe	0,84	0,84	0,84	1,4
Mn	0,55	0,55	0,55	0,39
Zn	0,26	0,26	0,26	0,46
B	0,22	0,22	0,22	0,54
Cu	0,05	0,05	0,05	0,05
Mo	0,05	0,05	0,05	0,05

  

K/N	1,60	1,10	1,80	0,95
K/Ca	2,76	2,20	3,20	0,78
K/Mg	7,50	6,10	9,50	2,89
Ca/Mg	2,72	2,77	2,97	3,70
K/(Ca+Mg)	2,02	1,62	2,39	0,61

a- Objectif à maintenir entre la floraison de la 4<sup>ième</sup> à la 5<sup>ième</sup> grappe et à partir de la récolte de la 3<sup>ième</sup> grappe

b- Objectif à maintenir de la plantation à la 4<sup>ième</sup> grappe en fleur

c- Objectif à maintenir de la floraison de la 5<sup>ième</sup> à la fin de récolte de la 3<sup>ième</sup> grappe.

## 2- Fabrication des concentrés :

Les méthodes de calcul des concentrés en situation de recyclage des eaux de lessivages répondent aux mêmes critères habituels qu'en système ouvert. Cependant, la précision qu'exige le recyclage implique que chaque contribution à la fertilité soit correctement comptabilisée. Les contributions à tenir compte sont :

- La valeur fertilisante et les besoins en acide de la source d'eau, pondérée en fonction de sa contribution à la CE totale de la solution au goutteur.
- Les besoins en acide de l'eau de lessivage, pondérés au ratio de contribution de l'eau de lessivage au total de l'eau apporté à la culture.

Finalement, ces contributions seront soustraites de la recette indiquée au tableau 1.

### a- Calcul de la contribution fertilisante de l'acide à l'eau de lessivage

Le bac d'acide affecté à la désinfection est généralement dilué de l'ordre de 1 : 50. Le **tableau 2** nous indique que pour chaque 100 ml d'acide nitrique 67% ajouté à 1 000 litres d'eau, nous ajoutons 21 ppm d'azote. Puisque nous avons une solution diluée, nous pouvons dire que nous ajoutons 21 ppm d'azote pour chaque 5 litres (100 ml X 50) d'acide ajouté. Si nous savons que, sur une semaine complète, nous avons utilisé 40 litres d'acide dilué pour neutraliser 7 500 litres d'eau de lessivage, la contribution en azote sera de :

$$21 \text{ ppm} \times (40 \text{ L} / 5 \text{ L}) \times (1\,000 \text{ L} / 7\,500 \text{ L}) = 22.4 \text{ ppm N}$$

Cependant, ce nouvel apport doit être comptabilisé comme une nouvelle contribution minérale provenant de l'eau neuve. Ainsi, si l'eau de lessivage correspond à 45 % du total de la contribution en eau de la serre, l'eau neuve fournit donc 55 %. Il faudra comptabiliser  $22.4 \text{ ppm} \times 45 / 55 = 18.3 \text{ ppm N}$ .

**Tableau 2 : Neutralisation de l'alcalinité par les acides et leur contribution fertilisante**

Acide utilisé	Concentration du produit	Quantité d'acide pour neutraliser 100 ppm de CaCO <sub>3</sub> dans 1 000 litres			ppm /100 ml dans 1 000 L
	(%)	grammes	ml	Apport ppm	
Nitrique (HNO <sub>3</sub> )	67	187	131	28 N	21 N
Phosphorique (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	85	223	131	58 P	44 P

### b- Calcul de la contribution l'eau neuve :

- i. À titre d'exemple dans le **tableau 3**, la colonne B affichent les valeurs désirées pour une solution nutritive neuve.
- ii. Dans la colonne E du **tableau 3** les valeurs indiquées sont celles provenant de l'analyse de la source d'eau et pour laquelle nous devons neutraliser 168 ppm de CaCO<sub>3</sub> ce qui fournit 47 ppm d'azote. Le total d'azote ajouté pour l'acide nitrique est donc de 47 + 18.3 ppm totalisant 65.3 ppm N (colonne D).
- iii. La CE désirée a un impact sur le calcul de la contribution de l'eau neuve à la fertilité. La contribution à la CE de l'eau d'apport peut être mesurée à l'aide d'un salinimètre ou par une analyse minérale. La CE fournie par les proportionneurs sera donc la CE au goutteur moins la CE de l'eau neuve acidifiée. Par conséquent, plus le CE de l'eau neuve est élevée, ou plus le CE au goutteur est faible, moins les proportionneurs seront sollicités. Il sera donc important de modifier les éléments de la recette d'engrais en fonction de l'apport de l'eau neuve; pour éviter l'accumulation des ions en provenance de l'eau d'apport. Pour vous aider, vous pouvez calculer la CE théorique de votre recette d'engrais en additionnant le nombre de milliéquivalents (meq) dans la solution et en divisant ce nombre par 20. Afin de simplifier le travail, nous avons calculé la contribution de chaque ion en meq pour chaque 100 ppm à la colonne A du **tableau 3**. Puisque vous connaissez votre CE réelle fourni par les proportionneurs (CE au goutteur – CE de l'eau d'apport), vous pouvez établir le ratio (CE proportionneur/ CE théorique) . En

multipliant ce ratio à chaque élément de votre recette, vous obtenez la concentration réellement fournie par les proportionneurs.

**Tableau 3 : Gestion des concentrés en fonction des contributions de la source d'eau**

	A	B	C	D	E
	Charge meq <sup>a</sup> /100ppm	Solution désirée EC=2,50 ppm	Analyse d'eau		Recette EC=2,50 ppm
			Fertilisant ppm	Acide ppm	
EC		2,50	0,5		2,5
NH4	7,1	23			23
K	2,6	405	6		399
Ca	5,0	147	105		42
Mg	8,2	54	39		15
NO3	7,1	230	1,4	65,3	163
SO4	2,1	337	59		278
P	3,2	60	0,2		60
Fe		0,84	0		0,84
Mn		0,55	0,17		0,38
Zn		0,26	0,02		0,24
B		0,22	0,06		0,16
Cu		0,05	0,023		0,03
Mo		0,05			0,05

a- meq = charge X ppm ÷ poids atomique; 20 meq = 1 mS / cm

**c- Réajustements en fonction des analyses minérales :**

- i. Quantifier les écarts :  
Lorsque vous recevez votre analyse minérale des eaux de lessivage, la teneur en éléments minéraux est en général proportionnelle à la CE. Il faut tout d'abord ramener les teneurs en fonction de la CE de référence (3.8mS/cm au drain au **tableau 1**).
- ii. Ajuster les écarts selon la durée des cycles d'ajustements:  
Puisque nous travaillons en circuit fermé, un petit écart de fertilité finit par créer un gros écart après plusieurs semaines. Ainsi, les écarts mesurés devraient être divisés par le nombre de semaines depuis le dernier ajustement.
- iii. Modifier la recette en fonction de l'écart ajusté à la durée :  
En système ouvert, les corrections minérales étaient de l'ordre de 5 % à 20 % pour corriger des écarts de 10 % à 40 % respectivement. En recyclage, il faut plutôt penser à des corrections de l'ordre 7.5 % à 30 %, car la correction ne s'applique que sur la solution neuve qui correspond à 55 % de l'eau totale.

## Recyclage partiel des eaux de lessivage :

Chez plusieurs producteurs, la teneur de l'eau neuve de certains minéraux peut excéder les valeurs maximales présentées au **tableau 1** de la fiche 5a. Pour un élément en excès, si nous connaissons son absorption par la plante, sa teneur dans l'eau neuve, ainsi que sa valeur maximale admissible, il est possible de déterminer le taux de lessivage qu'il faudra respecter pour éviter une accumulation excessive de l'élément concerné avec la formule suivante :

$$\text{Taux de lessivage (\%)} = (\text{ppm Eau} - \text{ppm absorbé}) \div (\text{ppm Max} - \text{ppm absorbé})$$

Exemple : avec une eau contenant 35 ppm de sodium (Na), vous voulez savoir quel devrait être le taux de lessivage à maintenir. À partir du **tableau 4**, nous savons que la culture peut absorber 25 ppm et tolérer 115 ppm au drain. En appliquant la formule ci-haut, nous obtenons :

$$\text{Taux de lessivage (\%)} = (35 - 25) \div (115 - 25) = 10/90 = 0.11 \text{ ou } 11 \%$$

En admettant que la concentration en sodium soit de 50 ppm, nous aurions :

$$\text{Taux de lessivage (\%)} = (50 - 25) \div (115 - 25) = 25/90 = 0.28 \text{ ou } 28 \%$$

Dans cette situation, il est évident que le recyclage ne représente aucun intérêt si la source d'eau ne subit aucun traitement de filtration au préalable.

**Tableau 4 : absorption et tolérance maximale au drain des éléments minéraux (tomate)**

Élément	Absorption par la plante		Max Drain ppm
	meq / litre	ppm	
Ca	4,0	80,0	320
Mg	1,2	14,4	108
SO <sub>4</sub>	2,6	124,8	624
Na	1,1	25,3	115
Cl	1,5	53,1	248

## Gestion du pH, de la CE et du taux de drainage :

### a. Gestion du pH :

Généralement, le pH au drainage est plus alcalin que le pH au goutteur, surtout chez la jeune culture. La présence d'ammonium dans le nitrate de calcium a toujours assuré un effet régulateur sur la hausse de pH. Cependant, la réduction du recours à l'eau neuve fertilisée en recyclage des eaux de lessivage réduira l'effet régulateur de l'ammonium; la hausse de pH sera donc plus importante. Pour pallier à cette situation, l'utilisation de l'ammonium à 10 % du total de l'azote fourni par l'eau neuve fertilisée est essentielle. Outre l'utilisation de l'ammonium, il est normalement reconnu que le pH à l'apport doit être abaissé dans certains cas jusqu'à pH = 5.

**b. Modification de l'objectif de CE au drainage :**

En recyclage, l'absence de rejets augmente l'impact d'un changement de CE au goutteur sur la CE du lessivage. Il sera donc important de créer des mouvements lents dans les changements de consignes de CE.

**c. Gestion du taux de drainage :**

En recyclage, le taux de drainage est habituellement plus élevé d'environ 10 % (40% à 50 %) afin d'assurer un maintien de l'équilibre minéral en tout temps et répondre dans plusieurs cas à une augmentation de la consommation en eau. Cette situation permet cependant de recourir à des volumes de substrat plus petits dans la mesure où les autres contraintes du système d'irrigation le permettent.

## Pour obtenir de l'information complémentaire

Document	Description
CTIFL, 2002. Gestion des effluents des cultures légumières sur substrat. 200 p.	Document traitant de l'ensemble des stratégies liées à la recirculation, la désinfection et le rééquilibrage des solutions nutritives.
Martinez, S., 2000. Procédé d'optimisation de la gestion du recyclage des effluents de serres (P.R.O.G.R.E.S.). PhD thesis 180p.	Ce document établit les bases du rééquilibrage des solutions nutritives en recirculation.
Thériault J., 2008. Rééquilibrage des solutions nutritives avec recyclage des solutions de drainage : Document de travail. 11 p.	Ce document traite plus en détail l'ensemble des enjeux liés au rééquilibrage des solutions nutritives avec une description détaillée des méthodes de calcul des solutions nutritives en recyclage.

Les personnes ayant contribué à la rédaction des fiches sur la recirculation sont :

Gilles Cadotte, agronome au CIDES  
 Marco Girouard, ingénieur au CIDES  
 Jacques Thériault, agronome aux Serres Innov.