

# La boîte à outils des serriculteurs

## Système de recyclage des eaux de lessivage – aspect mécanique

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

Le recyclage des eaux de lessivage requiert normalement un système de :

- collecte des eaux de lessivage;
- entreposage pour l'eau collectée;
- filtration et d'assainissement pour l'eau collectée;
- rééquilibrage de l'eau assainie et d'intégration à l'eau d'irrigation.

Cette fiche d'information propose un modèle de base et une démarche pour implanter l'aspect mécanique d'un système de recyclage des eaux de lessivage. Le modèle de base est conçu pour une production de légumes en serre avec substrat placé au niveau du sol et avec une gestion non automatisée de l'ajustement du contenu des solutions nutritives. Il existe deux autres fiches complémentaires : fiche n° 5b – aspect désinfection et la fiche n° 5c – aspect équilibrage des solutions nutritives.

Lors de la conception d'un tel système, il faut tenir compte des points suivants :

- *Caractéristiques de l'eau neuve provenant des puits ou de l'aqueduc, et des eaux de lessivage*
- *Volume d'eau utilisé*
- *Volume d'eau de lessivage*
- *Niveau de filtration*
- *Méthodes de désinfection*
- *Stratégies de contrôle et de gestion*
- *Sécurité du procédé (aspects humains, agronomiques et environnementaux)*
- *Limites du système*
- *Lois et règlements en vigueur ou à venir*
- *Aspects économiques*
- *Ressources de l'entreprise*

### Avis

Les informations contenues dans ce document sont à titre indicatif seulement. Son utilisation exige une adaptation aux conditions particulières de la serre.

L'utilisation de l'hypochlorite de sodium (eau de Javel) est suggérée dans notre modèle de base comme produit désinfectant pour les eaux de lessivage. Au moment de la rédaction de la fiche, il n'y avait pas à notre connaissance de réglementation au Québec pour son utilisation dans un contexte de production de légumes en serre. Son utilisation demande un suivi rigoureux avec un professionnel qualifié et d'expérience pour éviter tous problèmes de phytotoxicité.

Le producteur devra en tout temps être conforme aux lois et règlements en vigueur pour la



Le système proposé se veut flexible en permettant de :

- installer des systèmes de filtration complémentaires;
- utiliser l'eau de pluie dans le processus;
- utiliser d'autres moyens que l'hypochlorite de sodium pour désinfecter les eaux de rejets;
- intégrer le système de désinfection pour de l'eau neuve;
- augmenter le niveau d'automatisation;
- s'adapter selon le mode de production (production sur dalles), le type de production, les caractéristiques recherchées de l'eau (qualité et quantité), le niveau de sécurité recherché et les ressources disponibles de l'entreprise.

### **Méthode de désinfection proposée**

Le système proposé de recyclage des eaux de lessivage utilise l'hypochlorite de sodium (eau de Javel) pour désinfecter les eaux de lessivage. Il est relativement simple et peu coûteux. Cependant, la conception du système et l'utilisation de l'hypochlorite de sodium (eau de Javel) doivent se faire avec rigueur.

### **Quels sont les avantages qu'apporte un système de recyclage des eaux de lessivage?**

Économies d'environ 30 % et plus...

- en apport d'eau neuve;
- dans l'utilisation des fertilisants.

Action intéressante aux yeux du public par rapport à l'aspect environnemental (gestion des rejets).

### **À qui s'adresse ce modèle de base?**

- Producteurs de légumes en serre.
- Superficie de serre inférieure à un (1) hectare.
- Production avec substrats placés au niveau du sol.

### **Éléments à tenir compte pour optimiser l'usage du modèle proposé**

Pour toutes les périodes de l'année où les serres sont en production, l'eau neuve provenant de vos puits ou de l'aqueduc...

- ne doit pas être contaminée;
- possède des taux égaux ou inférieurs aux valeurs inscrites au tableau 1. Sinon, un prétraitement peut être requis.

**Tableau 1 – Teneur limite de différents éléments dans l'eau neuve**

Élément	PA	Sonneveld (1988)				Wacquant (Ctifl 1996)		Jeannequin, Fabre (Inra 1998)	
		Perdue		Recyclée		Recyclée		Recyclée	
		meq	Ppm	meq	ppm	meq	ppm	meq	Ppm
<b>Na</b>	23,0	2,5	58	0,5	12	1	23	1,5	35
<b>Cl</b>	35,5	3	106	1	35	1	35	2	71
<b>Ca</b>	40,0	8	160	6	120	5	100	6	120
<b>Mg</b>	24,3	4	49	2	24	1,5	18	2	24
<b>SO4</b>	96,1	4	192	2	96	3	144	3	144
<b>HCO3</b>	61,0	10	610	10	610	10	610		
<b>Fe</b>			0,6 à 1		0,3 à 0,6		0,6		
<b>Mn</b>			0,5 à 0,8		0,5		0,5		
<b>B</b>			0,4 à 0,7		0,2 à 0,3		0,3		
<b>Zn</b>			0,7		0,5		0,5		

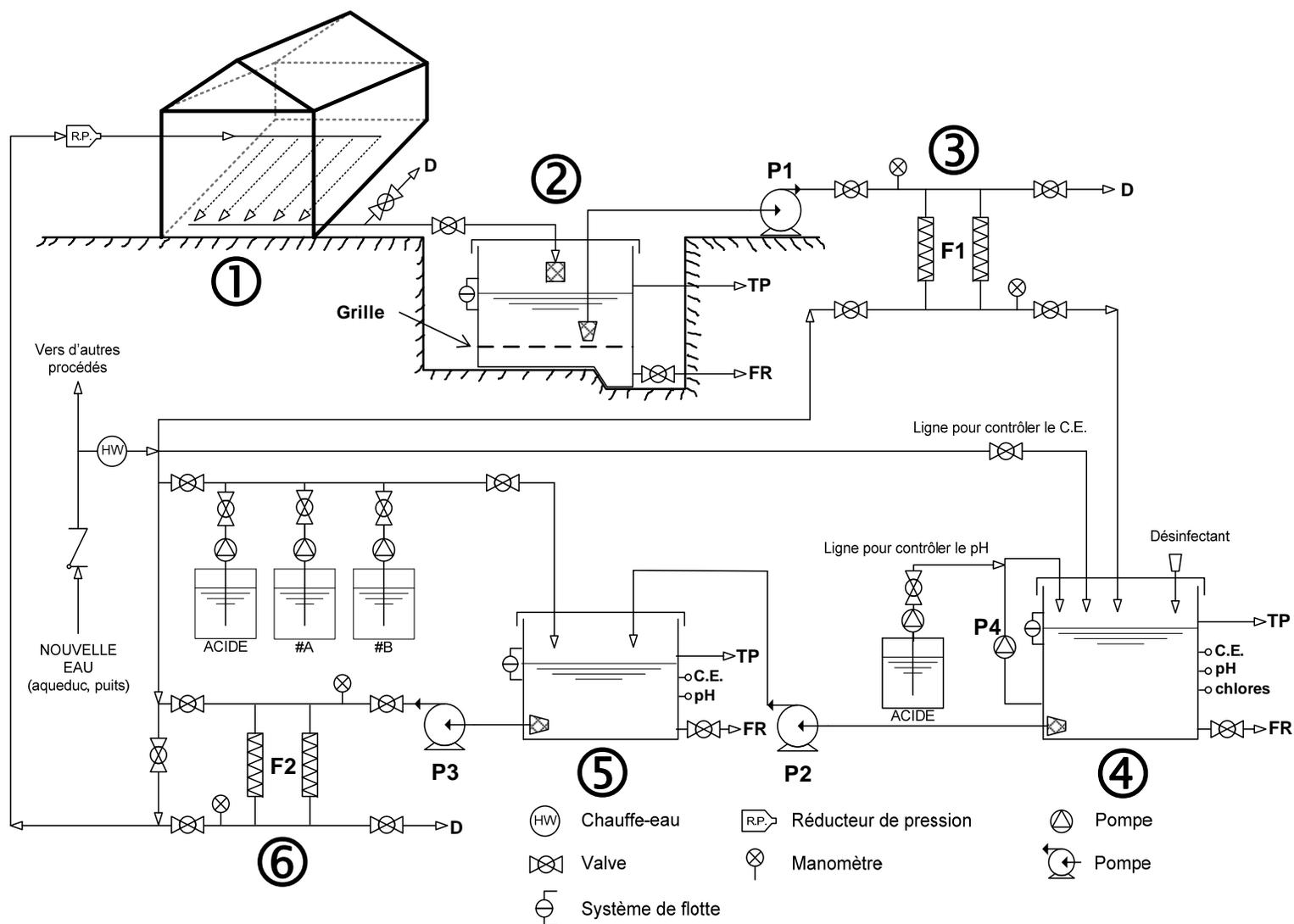
Source : Gestion des effluents des cultures légumières sur substrat, CTIFL2002

### Éléments à retenir

- Le système de recyclage des eaux de lessivage doit respecter les lois et règles en vigueur ou à venir.
- L'eau désinfectée et mélangée à l'eau neuve eau doit être analysée pour éviter tous problèmes de phytotoxicité.
- La participation de professionnels qualifiés et d'expérience dans votre démarche est fortement recommandée (exemples : agronomes, ingénieurs, techniciens dans le traitement des eaux).

# Système de base pour le recyclage des eaux de lessivage

Schéma 1 – Modèle proposé (processus)



Dessin non à l'échelle et à titre indicatif seulement

### Principales composantes du système (schéma 1)

- |  |                              |                                     |
|--|------------------------------|-------------------------------------|
| ① Collecte de l'eau                                | ② Réservoir pour la collecte | ③ Filtration au sable rapide « F1 » |
| ④ Réservoir d'eau pour la désinfection et le repos | ⑤ Réservoir de mélange       | ⑥ Filtration au sable rapide « F2 » |

### Conditions gagnantes (schéma 1)

Le système de recyclage des eaux de lessivage au niveau des points ②, ③, ④, ⑤ et ⑥ doit être réalisé dans un bâtiment de services à l'abri du soleil et au frais. Ceci aide à minimiser dans les réservoirs la prolifération des organismes pathogènes nuisibles à la production et à utiliser de façon optimale l'hypochlorite de sodium (eau de Javel) comme moyen de désinfection des eaux de lessivage (voir ④). Les matériaux utilisés composant les systèmes doivent être compatibles aux divers procédés pour : préserver la qualité de l'eau pour l'irrigation, assurer le bon fonctionnement des systèmes et leur durée de vie. L'installation des différentes composantes (exemples : pompes, filtres) doit être installée selon les recommandations du fabricant et les règles de l'art.

### Processus global du modèle de base proposé (schéma 1)

1. L'eau non retenue par le substrat et non absorbée par les plants est collectée et acheminée jusqu'au réservoir de collecte (voir ① et ②).
2. L'eau collectée est pompée (P1) du réservoir de collecte et filtrée (F1) pour être transférée dans le réservoir de désinfection et de repos (voir ②, ③ et ④).
3. La désinfection se déroule en cinq étapes (voir ④) :
  - a. Ajustement du pH pour optimiser l'utilisation de l'hypochlorite de sodium (eau de Javel). Sur le schéma, il y a un baril d'acide indépendant de celui utilisé pour de l'eau neuve. Cependant, rien n'empêche de prendre le même baril. Il y a une petite pompe (P4) pour brasser le contenu de ce réservoir lors de ce processus jusqu'au moment où cette eau est transférée au réservoir de mélange afin d'assurer de maintenir l'homogénéité de la solution.
  - b. Ajouter manuellement la solution d'hypochlorite de sodium (eau de Javel) en ajustant le niveau de chlore libre actif.
  - c. Reposer l'eau avant de la transférer dans le réservoir de mélange.
  - d. Ajustement du C.E. avec de l'eau neuve (exemple : aqueduc, puits, pluie) et le pH au fur et à mesure pour être conforme au C.E. recherchée lors de l'irrigation.
  - e. L'eau désinfectée et reposée est pompée (P2) dans le réservoir de mélange (voir ⑤). L'eau neuve fertilisée complète le remplissage du réservoir de mélange en fonction de vos besoins en eau pour la journée (voir ④ et ⑤).
4. L'eau du réservoir de mélange est pompée (P3) et filtrée (F2) pour être distribuée dans la serre (voir ⑤, ⑥ et ①).

### Autres points (schéma 1)

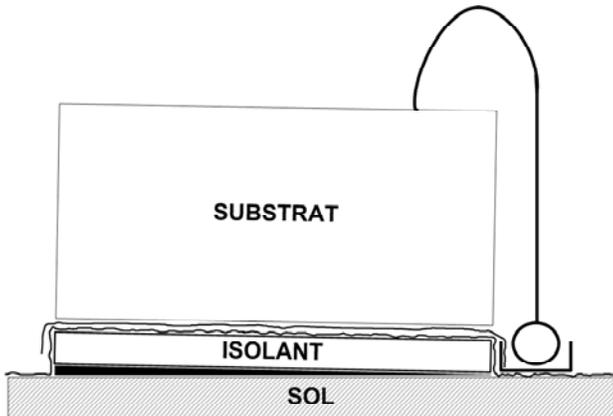
- Le lecteur trouvera dans les fiches d'information n° 5b et n° 5c les détails sur les aspects de contrôle, de gestion et de sécurité concernant la désinfection, l'utilisation de l'hypochlorite de sodium (eau de Javel) et les niveaux de chlore libre et total à atteindre ou encore à respecter (limites).
- L'entrée de l'eau neuve doit être protégée par un dispositif destiné à empêcher un retour d'eau provenant des serres dans le système d'aqueduc ou du puits, et ailleurs dans le réseau d'eau potable de l'entreprise en toute conformité avec les lois et règlements en vigueur.
- Le système de base est conçu pour favoriser sa maintenance, sa gestion et sa sécurité.
- La réussite d'un tel projet demande de la préparation, un suivi rigoureux (avant, pendant, après) et des échanges avec vos conseillers et professionnels.

## Collecte de l'eau – Point ① du schéma 1

Il existe de nombreuses façons pour collecter l'eau provenant du substrat déposé sur le sol. Indépendamment du système choisi, la pente du substrat ne doit pas dépasser les valeurs suivantes :

- Fibres de coco = 2.5 % axe transversal, 2.0 % axe longitudinal
- Laine de roche = 1.5 % axe transversal, 0.7 % axe longitudinal

## Schéma 2 - Exemple possible d'un système de collecte



Dans l'exemple ci-joint (schéma 2), voici les étapes proposées pour le réaliser :

1. Déposer directement sur le sol un isolant (exemple : 1" de styromousse) et une cale pour donner la pente transversale et/ou longitudinale au substrat. Dans certain cas, un bon nivellement, voir un profilage du sol sera nécessaire pour éviter toutes zones d'accumulation d'eau. L'isolant peut être facultatif si vous produisez après la mi-avril.
2. Couvrir le sol de la serre et l'isolant avec votre plastique.
3. Couvrir de nouveau l'isolant et la partie intérieure de la gouttière avec un deuxième plastique. Le plastique doit couvrir seulement le côté de la gouttière adjacent au substrat sans s'étendre sur le fond. Utiliser une gouttière rigide (matériel : HDPE ou PVC). La gouttière peut être un tuyau coupé en deux sur son axe longitudinal. Le tuyau d'eau servant à l'irrigation doit être déposé à l'intérieur.
4. Faire les fentes de drainage du côté du collecteur et s'assurer d'avoir au moins une fente à la partie la plus basse du substrat (pain).
5. Déposer le substrat par-dessus ce deuxième plastique.

L'eau recueillie par la gouttière se dirige vers un tuyau de « HDPE » (Carlou) ou de « PVC ». Le diamètre de ce tuyau doit être dimensionné en fonction du volume d'eau à recueillir. Ce tuyau amène l'eau jusqu'au réservoir de collecte (voir ②).

## Caractéristiques des réservoirs et des pompes – Points ②, ④ et ⑤ du schéma 1

**Tableau 2 – Capacité et caractéristiques des réservoirs**

Rôle	Capacité <sup>(1)</sup> litres / m <sup>2</sup>	Caractéristiques					Autres
		Sortie de trop-plein	Drain situé au fond du réservoir <sup>(2)</sup>	Grille installée à un pied du fond du réservoir <sup>(3)</sup>	Système de flottés pour contrôler les pompes	Points de contrôle	
② Collecte	4	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Prévoir avant le déversement de l'eau collectée un filtre mécanique (mesh 10) et une sortie de dérivation pour effectuer la maintenance du filtre mécanique et du réservoir de collecte.
④ Désinfection et repos	6	Oui	Oui	Non	Oui	C.E. pH Chlore (libre + total)	Pour la gestion du système de désinfection et l'utilisation de l'hypochlorite de sodium (eau de Javel), voir la fiche n° 5b.
⑤ Mélange <sup>(4)</sup>	Volume d'eau pour 24 h en période de pointe	Oui	Oui	Non	Oui	C.E. pH Chlore (libre + total)	Des mesures pour le chlore doivent se faire au niveau des goutteurs, voir la fiche n° 5b.  Pour la gestion et l'intégration des diverses eaux, voir la fiche n° 5c.

(1) La capacité du réservoir doit tenir compte du type et de sa forme. La valeur inscrite est un minimum. Une marge de sécurité de 10 % est souhaitée.

(2) Drain pour la vidange du réservoir et des boues.

(3) Pour faciliter la maintenance des réservoirs qui peuvent contenir des quantités importantes de débris dans le fond du réservoir.

(4) Eau désinfectée + Eau neuve avec fertilisants.

Les réservoirs doivent :

- être opaques;
- avoir un fini intérieur qui ne réagit pas avec l'eau;
- avoir un couvert de couleur pâle, mais opaque pour minimiser la contamination;
- avoir une facilité d'accès pour effectuer la maintenance.

Pour les réservoirs hors-sol, la base doit être isolée. Pour les réservoirs qui sont enfouis sous terre, il faut :

- tenir compte de la hauteur de votre nappe phréatique et de ces effets possibles;
- s'assurer de l'étanchéité du réservoir pour éviter toute contamination;
- isoler adéquatement le réservoir avec des matériaux adaptés à votre situation.

Toutes les eaux provenant des sorties de trop-plein (TP), du fond des réservoirs (FR), des rinçages à circulation inversée des filtres ou d'autres sorties (D) doivent être disposées en conformité avec les lois et règlements en vigueur.

**Tableau 3 – Caractéristiques des pompes P1, P2 et P3**

<b>Pompe</b>	<b>Débit d'opération</b>	<b>Pression d'opération</b>	<b>Autres</b>
P1	Être en mesure de transférer l'eau du réservoir de collecte vers le réservoir de désinfection et de repos en environ deux heures	Selon les systèmes en place et vos besoins	Le débit et la pression d'opération de ne doivent pas nuire à l'efficacité des filtres au sable rapide.
P2	60 % du débit d'eau servant à l'irrigation ou correspondant à la zone d'eau irriguée en période de pointe	Selon les systèmes en place et vos besoins	
P3	100 % du débit d'eau servant à l'irrigation ou correspondant à la zone d'eau irriguée en période de pointe	Selon les systèmes en place et vos besoins	Le débit et la pression d'opération de ne doivent pas nuire à l'efficacité des filtres au sable rapide.
P4	Peu d'importance, pourvu qu'elle joue son rôle pour homogénéiser la solution de façon optimale.		

Toutes les pompes P1, P2, P3 et P4 doivent utiliser un clapet de pied « foot valve » pour empêcher leur désamorçage, à moins d'utiliser des pompes auto-amorçantes. Également, le clapet de pied peut éviter les phénomènes de siphon. La position des tuyaux d'aspiration doit être installée de façon à ne pas nuire au bon fonctionnement des pompes ou encore aspirer des débris qui peuvent se retrouver dans le fond des réservoirs. Veuillez contacter votre fournisseur de pompes pour être en mesure d'installer adéquatement les pompes et leurs instruments de contrôle pour répondre à vos besoins.

### **Filtres au sable rapide – Points ③ et ⑥ du schéma 1**

- La vitesse de filtration peut varier de 5 000 à 70 000 litres / h. Sa capacité est fonction de la surface de filtration (diamètre du filtre). La capacité totale de filtration (litre / heure) doit être supérieure au débit de la pompe.
- La qualité de la filtration est déterminée par la hauteur de la charge filtrante : plus nombreuses ou encore importantes sont les couches de sable traversées par l'eau, plus la filtration sera efficace, car la quantité d'impuretés retenues s'en trouvera augmentée.
- Filtrer en fonction de la dimension du plus petit trou de vos goutteurs.
- Le circuit d'eau doit être conçu pour effectuer le rinçage à circulation inversée des filtres (« back flush » ou « back wash »).
- L'installation de manomètre est recommandée à l'entrée et à la sortie des filtres afin de vérifier le bon fonctionnement du système de filtration. Il est normal de voir une perte de pression même si les filtres sont propres. Les fabricants sont en mesure de vous fournir cette donnée. Le rinçage à circulation inversée des filtres peut se faire selon un temps prédéterminé ou pour une perte de pression donnée dû au colmatage des filtres (≈10 psi – voir et suivre les recommandations du fabricant).

## Pour obtenir de l'information complémentaire

Nom	Description
Agri-Réseau	Informations et publications sur divers sujets pour la production en serre. <a href="http://www.agrireseau.qc.ca">www.agrireseau.qc.ca</a>
CIDES	Consultations, publications diverses, informations complémentaires sur les fiches n° 5a, n° 5b et n° 5c. <a href="http://www.cides.qc.ca">www.cides.qc.ca</a>
Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (CCHST)	Informations, publications sur les produits chimiques, l'hygiène et la sécurité au travail. <a href="http://www.cchst.ca">www.cchst.ca</a>
Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST)	Informations, publications, vidéos sur l'hygiène et la sécurité au travail. <a href="http://www.csst.qc.ca">www.csst.qc.ca</a>
Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST) Service du répertoire toxicologique	Informations, publications sur les produits chimiques (identification du produit, hygiène et sécurité, prévention, propriétés toxicologiques, premiers secours, réglementation, références) et le Système d'Information sur les Matières Dangereuses Utilisées au Travail (SIMDUT). <a href="http://www.reptox.csst.qc.ca">www.reptox.csst.qc.ca</a>

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

# La boîte à outils des serriculteurs

## Système de recyclage des eaux de lessivage

### Aspect : la désinfection des solutions nutritives par chloration

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

#### Introduction

La réutilisation des eaux de lessivage permet une réduction des besoins en eau et en fertilisants de l'ordre de 30 % et 50 % respectivement. Cependant, l'eau recirculée peut devenir rapidement un milieu propice à la multiplication et à la dissémination de plusieurs agents pathogènes. Par conséquent, un système de désinfection de l'eau recirculée est une composante essentielle lors du recyclage des eaux de lessivage si on veut minimiser le risque d'incidence de maladie.

Il existe aussi des risques de contamination d'agents pathogènes par l'eau de puits ou lors de la récupération des eaux de pluie par les gouttières. La désinfection des sources d'eau peut donc également s'avérer nécessaire dans certains cas.

L'objectif de cette fiche est de familiariser l'exploitant agricole à la désinfection des eaux de lessivage par la chloration à l'hypochlorite de sodium (eau de Javel).

Il existe plusieurs autres technologies pour réaliser la désinfection ou traiter des eaux de lessivage. Les principales technologies sont :

- la thermo-désinfection
- le traitement aux rayons Ultra-violet
- l'ozonation
- la filtration lente
- la filtration membranaire
- les techniques de filtration biologique

#### Avis

Les informations contenues dans ce document sont à titre indicatif seulement. Son utilisation exige une adaptation aux conditions particulières de chaque serre.

L'utilisation de l'hypochlorite de sodium (eau de Javel) est suggérée dans notre modèle de base comme produit désinfectant pour les eaux de lessivage. Au moment de la rédaction de la fiche, il n'y avait pas à notre connaissance de réglementation au Québec pour son utilisation dans un contexte de production de légumes en serre. Son utilisation demande un suivi rigoureux avec un professionnel qualifié et d'expérience pour éviter tous problèmes de phytotoxicité.

Le producteur devra en tout temps être conforme aux lois et règlements en vigueur pour la conception du système et son utilisation.

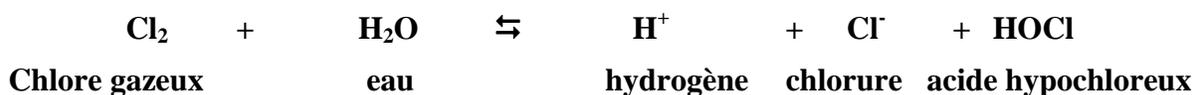


La chloration à l'eau de Javel constitue une des technologies les moins coûteuses et est relativement simple. La conception du système et l'utilisation de l'hypochlorite de sodium (eau de Javel) doivent tout de même se faire avec rigueur. Ses principaux avantages sont :

- efficace contre les agents pathogènes tels Pythium et Fusarium.
- risque réduit d'auto toxicité.
- facile d'exécution et de contrôle
- s'adapte bien à toutes les grandeurs d'entreprise.
- prévient le colmatage des goutteurs provenant des dépôts organiques ou de la multiplication bactérienne dans les lignes.

### Chimie du chlore

Le chlore est présent dans l'air sous forme gazeuse et moléculaire de  $\text{Cl}_2$ . Au contact de l'eau à pH entre 5 et 7, il réagit selon l'équation chimique suivante :



Entre pH 5 et 7, la forme prévalente du chlore est l'acide hypochloreux ( $\text{HOCl}$ ) et constitue la forme la plus puissante pour la désinfection. À un pH inférieur à 5, c'est le chlore gazeux ( $\text{Cl}_2$ ) qui domine et le chlore s'évapore en plus d'attaquer les joints en silicone alors qu'à pH supérieur à 7, la forme hypochlorite ( $\text{OCl}^-$ ) domine. Plus le pH est élevé, plus la solution concentrée sera stable. Ces trois formes constituent ce qu'on appelle le **chlore libre**.

### La réaction du chlore dans les solutions nutritives :

Lorsqu'on ajoute de l'eau de Javel dans la solution nutritive, une portion sera littéralement neutralisée par des ions ayant un potentiel d'oxydation élevé. Par la suite, le chlore va se lier aux différentes formes d'azote ammoniacal pour former des chloramines minérales (Chlore +  $\text{NH}_4^+$ ) ou organiques (Chlore + protéines, amines, etc.). À la fin de cette étape, les chloramines présentes formeront ce qu'on appelle le **chlore combiné ou lié**. Les chloramines ont une valeur désinfectante 500 fois moins élevée que l'acide hypochloreux. Il faut donc une dose de chlore qui permet de neutraliser l'ensemble des ions oxydables et des chloramines avant d'avoir l'effet désinfectant désiré.

Le chlore nécessaire à l'atteinte de cet objectif détermine la **demande en chlore**. La teneur en matière organique de la solution de lessivage sera donc le facteur numéro 1 de la détermination de la demande en chlore. C'est pourquoi il faut filtrer l'eau avant la chloration afin de réduire la charge en matière organique (Voir fiche 5a). **L'évaluation de la demande en chlore par le producteur constitue donc l'un des éléments clés de la réussite de la désinfection à l'eau de Javel.** Finalement, le chlore en sus de la demande en chlore forme ce qu'on appelle le **chlore libre actif** et est composé de l'acide hypochloreux et du chlore gazeux dissous sous les conditions normales de pH. C'est ce chlore libre actif qui constitue l'agent de désinfection.

Également, une dose de 10 à 20 ppm de chlore augmente la conductivité électrique d'environ 0.1mS/cm et le pH d'environ 0.6 unité. De plus, une portion du fer et du manganèse est oxydée; ceci ne nécessite généralement pas de correction.

## Concentrations et conditions d'entreposage de l'eau de Javel :

L'eau de Javel se vend à des concentrations de 4 % et 6 % pour l'usage domestique et à 12 % pour les usages industriels. La concentration du produit, son âge, la température d'entreposage et l'exposition à la lumière sont autant de facteurs qui peuvent mener à une perte d'efficacité du produit et/ou à la formation de chlorates qui sont des constituants pour certains herbicides.

Plus le produit est concentré, plus sa durée de vie est courte et plus il sera affecté par la température. À titre d'exemple, l'eau de javel 4 % perd environ 33 % de son efficacité après 12 semaines à 40°C. Cependant, elle n'en perd qu'environ 5 % après 52 semaines à 20°C. Quant à l'eau de Javel 12 %, elle perd environ 72 % de son efficacité après 4 semaines à 40°C et 30 % après 12 semaines à 20°C. Il est donc recommandé de :

- 1- Vérifier la date de fabrication du produit avant de l'acheter.
- 2- Entreposer le produit dans un endroit frais en tout temps, à l'abri de la lumière et loin des fertilisants (chlore + fertilisants = mélange explosif).
- 3- Dès la réception, diluer l'eau de Javel 12 % avec deux parties d'eau pour une partie d'eau de javel dans un contenant hermétique opaque si vous entrevoyez de conserver le produit plus de 3 semaines; ou acheter de l'eau de Javel à 4 % ou 6%.
- 4- Indiquer la date de péremption en fonction de vos conditions d'entreposage.
- 5- Éliminer en fonction des lois et règles en vigueur tout produit ayant subi des conditions d'entreposage à risques.

## DÉSINFECTION À L'EAU DE JAVEL

### a) Détermination de la dose nécessaire :

La dose nécessaire de chlore à ajouter est fortement liée à la **demande en chlore**. Elle peut varier de 6 à 8 ppm pour les substrats inorganiques à plus de 60 ppm pour les substrats organiques. Il sera nécessaire de débiter par de petites doses (4 ppm) et d'évaluer, après un temps de réaction de 14 à 16 heures, que la teneur en **chlore libre actif** soit inférieure à 0.5 ppm, mais détectable, et celle du **chlore combiné** de moins de 1 ppm (voir mesurage du chlore libre actif). Dans les cas où la dose excéderait 10 ppm, il faudra envisager sérieusement l'utilisation de l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) pour neutraliser l'excès de chlore libre actif. D'ailleurs, certains auteurs le recommandent systématiquement.

Le **tableau 1** (en page suivante) indique les volumes d'eau de Javel à ajouter par 1 000 litres de solution de lessivage en fonction de la dose désirée et de la concentration du produit.

### b) Mesurage du chlore libre actif

Il existe des sondes ORP qui mesurent directement l'effet oxydant du chlore dans l'eau par une mesure du potentiel d'oxydoréduction. Les connaissances requises et le coût de ces systèmes ont porté notre choix sur les méthodes colorimétriques.

Il existe des réactifs colorimétriques DPD qui permettent de mesurer le chlore total et le chlore libre actif, ce qui permet par différence, de déterminer le chlore combiné selon l'équation suivante.

$$\text{chlore total} - \text{chlore libre actif} = \text{chlore combiné}$$

**Tableau 1 : Volume d'eau de Javel à ajouter (ml/1 000 litres) en fonction de la concentration du produit et de la dose désirée de chlore actif<sup>a</sup>**

Dose désirée (ppm)	Concentration eau de Javel (%)		
	4	6	12
1	28	19	11
2	56	38	21
3	83	57	32
4	111	76	42
5	139	96	53
6	167	115	63
7	195	134	74
8	223	153	84
9	250	172	95
10	278	191	105
11	306	210	116
12	334	229	127
13	362	248	137
14	390	268	148
15	417	287	158
16	445	306	169
17	473	325	179
18	501	344	190
19	529	363	200
20	557	382	211

a. Les volumes calculés tiennent compte de la conversion du NaOCl en Cl<sub>2</sub> et de la densité réelle du produit à l'achat.

### c) Durée du traitement :

L'action désinfectante de l'eau de Javel nécessite de 14 à 16 heures de temps de réaction à une température de près de 20°C et un pH entre 6 et 7. Il s'agit donc d'un traitement de nuit.

### d) Rémanence du traitement :

La volatilité du chlore gazeux limite la rémanence de la désinfection à au plus 24 heures. Il sera donc nécessaire de traiter à nouveau l'eau non utilisée à la fin d'une journée d'irrigation avec une dose plus faible.

### e) Procédure d'opérations suggérée pour la désinfection à l'eau de Javel

À partir du système de base proposé pour la recirculation des solutions nutritives de la fiche d'information 5a, les étapes de réalisation de la désinfection à l'eau de Javel se déroulent comme suit :

- 1- À la fin de la journée d'irrigation (entre 16:00 et 18:00 généralement), l'eau de lessivage emmagasinée dans le réservoir pour la collecte ② est pompée (P1) vers le réservoir d'eau pour la désinfection et le repos (en passant à travers la filtration au sable rapide (F1).
- 2- Actionner la pompe (P4) qui alimente le senseur de pH et assure le brassage des eaux pour mélanger l'acide et l'eau de javel.
- 3- Ajuster et maintenir le pH à 6 en tenant compte de la hausse de pH qui va survenir suite à l'ajout de l'eau de Javel. Si le pH est ajusté en continu, optez plutôt pour le pH que vous utiliser normalement pour les irrigations.

- 4- Mesurer le volume d'eau à traiter à l'eau de javel.
- 5- Ajouter le volume d'eau de Javel en fonction de la dose déterminée précédemment à l'aide du tableau 1.
- 6- Laisser reposer toute la nuit (14 à 16 h).
- 7- Une heure avant d'irriguer, validez que la teneur en chlore libre actif est inférieur à 0.5ppm, mais détectable, et en chlore combiné de moins de 1ppm. Réajuster la dose si nécessaire pour le jour suivant.
- 8- Ajouter 3.6 ppm d'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) afin de neutraliser le chlore libre actif si nécessaire.
- 9- Vous pouvez maintenant préparer la solution pour sa réutilisation en fonction des ajustements qui seront décrits dans la fiche 5c.

### Autres formes de chlore :

- *Chlore gazeux (Cl<sub>2</sub>)*  
Ce type de chlore demande des installations plus complexes et des coûts de fonctionnement plus élevé que l'eau de Javel, mais est très stable chimiquement.
- *Chlore en pastille (dichloroisocyanure de sodium dihydraté)*  
Ce type de chlore est beaucoup plus stable chimiquement et comporte beaucoup moins de risque de phytotoxicité. Malheureusement, l'utilisation de ce type de chlore est peu documentée.
- *Dioxyde de chlore (ClO<sub>2</sub>)*  
Le dioxyde de chlore a l'avantage d'agir très rapidement et d'être moins affecté par le pH. Malheureusement, c'est un gaz instable et doit être fabriqué en entreprise, ce qui nécessite des investissements assez importants, mais peut s'adresser à la grande entreprise.

### Mise en garde :

Certains cas de phytotoxicité ont été rapportés dans la littérature. Ces cas font référence à des injections directes dans les lignes d'irrigation ou à des doses très élevées (plus de 25 ppm) en saison chaude pour lutter contre certains agents pathogènes très résistants. La procédure suggérée dans cette fiche est différente. Il importe cependant de demeurer vigilant sur le respect des procédures à suivre et de valider votre démarche auprès de professionnels si les doses à appliquer excèdent 10 ppm.

## Pour obtenir de l'information complémentaire

Nom	Description
Agri-Réseau	Informations et publications sur divers sujets pour la production en serre. <a href="http://www.agrireseau.qc.ca">www.agrireseau.qc.ca</a>
CIDES	Consultations, publications diverses, informations complémentaires sur les fiches n° 5a, n° 5b et n° 5c. <a href="http://ww.cides.qc.ca">ww.cides.qc.ca</a>
Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail (CCHST)	Informations, publications sur les produits chimiques, l'hygiène et la sécurité au travail. <a href="http://www.cchst.ca">www.cchst.ca</a>
Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST)	Informations, publications, vidéos sur l'hygiène et la sécurité au travail. <a href="http://www.csst.qc.ca">www.csst.qc.ca</a>
Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST) Service du répertoire toxicologique	Informations, publications sur les produits chimiques (identification du produit, hygiène et sécurité, prévention, propriétés toxicologiques, premiers secours, réglementation, références) et le Système d'Information sur les Matières Dangereuses Utilisées au Travail (SIMDUT). <a href="http://www.reptox.csst.qc.ca">www.reptox.csst.qc.ca</a>
ARMEFLHOR, 2007. Pôle de Protection des plantes, St-Pierre (réunion), février 2007, 138pp.	Lutte préventive contre le flétrissement bactérien en culture de tomate hors sol- état des connaissances et conseils

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

# 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	Quantité d'acide pour neutraliser			ppm /100 ml dans 1 000 L
	du produit (%)	100 ppm de CaCO <sub>3</sub> dans 1 000 litres		Apport ppm	
		grammes	ml		
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.