

RECYCLAGE DES SOLUTIONS DE DRAINAGE EN CULTURE HORS SOL A LA REUNION

Code essai : 12^E 1105 et 12^E 1106

Auteurs : Jean-Sébastien COTTINEAU - Aude BIGORNE - Jean-Philippe MIROUSE

Partenaires : Coopérative Vivéa, Pascal Barret (enseignant chercheur à l'université de la Réunion)
(étudiants IUT Saint-Pierre).

CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE

L'IRRIGATION FERTILISANTE EN CULTURE HORS SOL

La surface occupée par des productions légumières en culture hors sol sous serre est d'environ 50 ha. La tomate, est sans conteste le légume le plus cultivée sous serre avec une production d'environ 5 à 6 000 tonnes pour 75% des surfaces de serres maraîchères.

Le principe de production hors sol consiste à apporter au niveau de chaque plante par un système de goutte à goutte les éléments minéraux et les oligo-éléments dont la plante a besoin. Les racines des plantes colonisent un substrat inerte servant de support à la plante et disposant de propriétés physiques particulières (rétention en eau et en air importante).

Le maintien de l'eau et des éléments minéraux à des niveaux optima pour la rhizosphère des plantes est le principal facteur responsable des rendements élevés des cultures, des meilleures qualités des produits et de l'haute efficacité de l'utilisation de l'eau et des éléments minéraux. L'apport des engrais dans l'eau d'irrigation, appelé « ferti-irrigation » ou « irrigation fertilisante » est devenu, depuis longtemps, une pratique commune en maraîchage, permettant d'atteindre un équilibre ionique optimal au niveau de la rhizosphère.

Les systèmes de culture les plus employés à la Réunion sont des systèmes dits "ouvert" ou "en solution perdue" dans lesquels on utilise un substrat inerte recevant une solution nutritive en quantité un peu supérieure aux besoins. La solution en supplément, non utilisée par les plantes, est collectée pour être évacuée à l'extérieur.

Ce drainage est nécessaire d'une part pour éviter les risques d'accumulation d'éléments minéraux que la plante n'aurait pas assimilés et pour homogénéiser la solution au sein du substrat d'autre part, c'est-à-dire pour maintenir le système racinaire dans un milieu stable proche de la concentration de la solution nutritive d'apport.



Substrat en fibre de coco

Système d'irrigation en goutte à goutte (capillaires)

Fente de drainage au niveau bas du substrat

Canal de collecte du drainage



Photo 1 : conduite de l'irrigation fertilisante en culture Hors sol

LES EFFLUENTS DES SERRES : LE DRAINAGE

Une part importante de la production de légumes sous serres est obtenue actuellement à partir des cultures hors sol "en solution perdue". Ces méthodes de culture engendrent actuellement des effluents contenant encore des éléments nutritifs qui vont, soit s'infiltrer dans le sol, soit s'écouler dans le milieu environnant. La quantité de solution drainée et rejetée peut atteindre 20 à 30 % des apports, soit l'équivalent de 2 à 3 000 m³ par hectare par an. Sa concentration est voisine ou supérieure à celle de l'apport, soit aux environs de 1,5 à 2g/l ce qui représente de 3 à 4 tonnes d'éléments minéraux sous forme ionique par ha dont 1 tonnes à 1, 5 tonnes d'azote sous forme NO₃⁻.

Surface de serres maraîchères	Volumes d'effluents par ha	Concentration de la solution de drainage	quantité d'éléments minéraux sous formes ioniques	Quantité d'azote N-NO ₃ ⁻
50 ha	2 à 3000 m ³	1,5 à 2 g/l	3,5 à 5 tonnes/ha	300 à 400 U/ha

Tableau 1 : récapitulatif sur les quantités d'effluents de serre à la Réunion

LE CONTEXTE LEGISLATIF SUR LES REJETS EN MILIEU NATUREL

Le contexte législatif imposant de gérer l'eau de façon équilibrée et durable, interdit le déversement direct des effluents d'exploitations agricoles dans les eaux superficielles et souterraines.

PLUSIEURS METHODES DESTINEES A REDUIRE CES REJETS :

Les producteurs qui souhaitent, aujourd'hui diminuer leurs rejets d'effluents disposent de quatre solutions :

- L'optimisation des apports en solution fertilisante,
- l'épandage sur d'autres cultures,
- la réutilisation culture sur culture,
- le rejet aux normes.

Optimisation des apports en solution fertilisante

Réduire quantitativement les drainages en s'approchant des besoins des plantes.

Dans la pratique un drainage est nécessaire pour éviter le risque d'accumulation de certains éléments dans le substrat et pour limiter les effets d'une irrigation hétérogène provoquant des manques d'eau avec accumulation de sels sur certaines zones du substrat.

Il est possible de diminuer de façon conséquente le drainage en utilisant des outils permettant de mieux appréhender la consommation de la plante. Différents systèmes de pilotage de l'irrigation existent en culture hors sol. Le plus communément utilisé est le pilotage par solarimètre. Il existe en effet une bonne corrélation entre le rayonnement global (Ensoleillement) et la transpiration de la plante. L'utilisation du solarimètre permet donc d'adapter au mieux l'apport de solution avec la consommation de la plante et donc de limiter les rejets dans l'environnement.

Mieux adapter la composition en éléments nutritifs de la solution aux besoins des plantes.

Il est possible de limiter l'utilisation des nitrates dans la solution nutritive en substituant en partie les engrais apportant de l'azote (nitrate de potasse et nitrate de calcium) par d'autres engrais (sulfate de potasse, chlorure de potasse ou de calcium). La concentration de l'effluent en nitrate sera d'autant plus faible que l'on n'aura limité l'apport en nitrate dans la solution nutritive d'apport.

Collecter les drainages pour les utiliser sur d'autres cultures (en sol sous abris ou en plein champ)

La maîtrise des effluents liquides hors sol passe en premier lieu par une récupération performante des eaux de drainage. Le système de récupération doit être à l'abri de sources de contamination et éviter les fuites.

Les eaux de drainage ainsi récupérées doivent être stockées temporairement. Le dimensionnement du stockage doit être pensé en fonction de la réutilisation prévue.

Un système de pompage puis d'épandage (aspersion, goutte à goutte...) doit équiper la parcelle sur laquelle le drainage doit être épandu.

Il convient également de penser à la filtration afin d'éviter les bouchages du système d'irrigation.

Suivant la culture sur laquelle le drainage est destiné un système de désinfection est requis.

Collecter les drainages et les réutiliser sur la même culture dans un système dit « fermé » ou en « solution recyclée ».

Cette méthode consiste à récupérer le drainage, le traiter et le réinjecter dans la culture en place en mélange avec la solution nutritive « neuve ».

Le traitement est nécessaire pour éviter les risques de contamination par des champignons, des bactéries ou des virus de l'ensemble de l'exploitation. Différentes méthodes de désinfection existent :

- chlore gazeux,
- Ultra-Violet,
- Ozone,
- Traitement thermique,
- Ionisation.

Le rejet aux normes : envoyer le drainage dans un bassin filtrant à macrophyte.

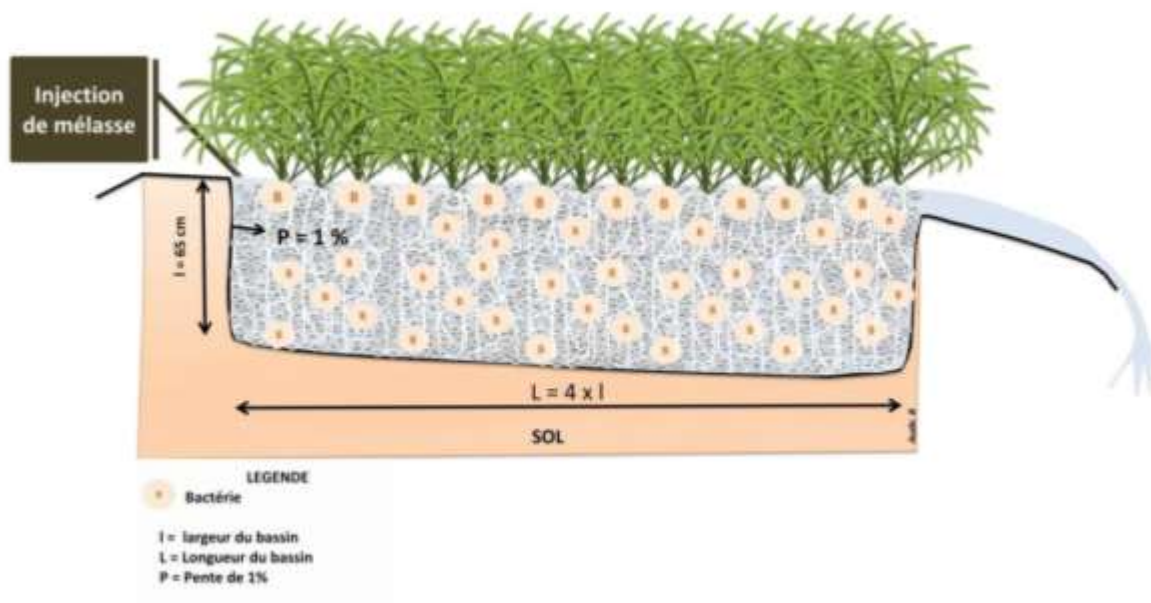
Le producteur choisit avec cette méthode de rejeter des effluents aux normes. La teneur limite tolérée dans une eau rejetée dans l'environnement est de 50mg/l d'azote sous forme nitrique.

Même si la vocation des bassins n'est pas l'élimination du phosphore, le bassin filtrant présente l'avantage de fixer les phosphates et donc d'apporter un avantage supplémentaire bien que ce soit uniquement les nitrates qui sont considérés comme source de pollution des milieux (nappe phréatique, étang...)

Le principe de la dénitrification de ces bassins est basé sur l'activité de bactéries dénitrifiantes dans un milieu en anaérobies qui utilisent l'oxygène des nitrates (NO₃⁻) pour « respirer » et libère de l'azote gazeux (N₂). Cette réaction nécessite de la matière organique soluble.

D'après les données bibliographiques, Le passage dans le bassin filtrant abaisse fortement la concentration en nitrate dès 7 jours. Au bout de 10 à 14 jours dans le bassin filtrant, la concentration en azote passe en dessous du seuil de 50mg/l.

Schéma 1 : Coupe transversale d'un bassin filtrant à macrophyte à flux horizontal



BASSIN FILTRANT A MACROPHYTE : METHODE DITE DU« LAGUNAGE »

OBJECTIFS DES ESSAIS

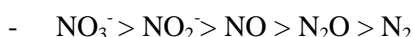
L'objectif du programme est d'apporter aux producteurs des solutions adaptées à la typologie des exploitations pour traiter leurs effluents et se mettre en conformité avec la réglementation.

MATERIEL ET METHODE

Principe de la dénitrification (CTIFL, Dominique Grasselly, Laurent Rosso, Ctifl)

La dénitrification est un phénomène naturel intervenant dans le cycle de l'azote. Au cours de cette réaction les nitrates (NO_3^-) sont réduits en azote atmosphérique (N_2). De nombreux genres de bactéries sont concernés parmi lesquels Pseudomonas, Bacillus, Enterobacter, Micrococcus, Spirillum...

Les nitrates servent d'accepteurs finaux des électrons issus de la source carbonée lorsque l'oxygène dissous fait défaut. C'est l'enzyme nitrate réductase qui permet en effet à certains genres de bactéries d'utiliser les atomes d'oxygène liés dans les molécules de nitrates comme accepteur final d'électrons. La suite de réactions de la dénitrification est un phénomène complexe qui comprend différentes étapes jusqu'à la formation de l'azote atmosphérique :

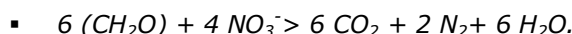


Cette respiration anaérobie est un processus de catabolisme alternatif qui survient uniquement lorsque l'oxygène libre fait défaut, celui-ci inhibant la synthèse des enzymes nécessaires à la dénitrification.

Les facteurs influençant la dénitrification sont les suivants :

- la concentration en oxygène dissous : une teneur en oxygène dissous supérieure à 0,5 ou 3 mg/l selon les auteurs est inhibitrice de l'activité bactérienne ;

- la température : l'optimum se situe dans la gamme 25 à 30 °C, mais les bactéries maintiennent le processus entre 5 et 50 °C ;
- le pH : l'efficacité de la dénitrification diminue fortement en dehors de la gamme 6 à 8, avec un optimum se situant aux alentours de 7-7,5 ;
- le substrat carboné : la concentration en carbone est un facteur limitant dans la mesure où un apport insuffisant entraîne une dénitrification incomplète. En effet, les électrons nécessaires à la réduction des nitrates sont apportés par les molécules carbonées disponibles. La réaction prenant en compte cet apport avec le carbone sous forme de carbohydrates (glucides), est la suivante :



L'apport carboné est évalué par la mesure de la DCO (Demande Chimique en Oxygène). Pour obtenir une dénitrification totale un rapport DCO/N (N-NO₃⁻)=4 est nécessaire.

Dimensionnement du bassin

La surface de bassin doit être adaptée au volume d'effluent à traiter. En système perdu (non recyclé), les volumes d'effluents de serre représentent environ 3000 m³ par hectare de serre et par an. Pour le calcul du dimensionnement du bassin, deux solutions peuvent être envisagées : soit le calcul est effectué sur le volume maximal (15 m³ par hectare et par jour), soit on prévoit un stockage pour traiter une partie des drainages lors de périodes où le volume d'effluents rejetés par la culture est plus faible et permettre ainsi des dimensions plus réduites des bassins filtrants. L'option du stockage de l'effluent n'a pas été retenue puisqu'elle nécessite de l'équipement supplémentaire qui alourdit le coût du traitement.

La formule de calcul ci-dessous ne prend pas en compte cette possibilité de stockage intermédiaire. Dans ce cas, la surface de bassin pour 1 ha de serre peut être calculée par la formule :

$$S = Vt/(hp)$$

S = surface du bassin

V = volume à traiter par jour (en m³/j)

t = temps de séjour du liquide

(13 jours donnent de bons résultats d'après les données bibliographique) ;

h = hauteur de liquide (en général environ 0,65 m) ;

p = porosité du gravier (pour la scorie de charbon environ 75 %) ;

$$S = (15m^3 \cdot 13 \text{ jours}) / (0.65m \cdot 0.75) = 400m^2$$

Le bassin doit être 4 fois plus long que large pour permettre un meilleur flux dans le bassin :

$$L = 4 \cdot l \text{ ou } L \text{ est la longueur et } l \text{ la largeur ;}$$

$$\text{Et } S = L \cdot l \text{ soit } S = 4l^2 \text{ donc } l = \sqrt{S/4}.$$

l = 10m et L=40m pour un hectare de serre
pour 1000 m² :

$$S = (1.5m^3 \cdot 13 \text{ jours}) / (0.65m \cdot 0.75) = 40m^2$$

$$l = 3,2m \text{ et } L = 12.6m \text{ pour } 1000m^2 \text{ de serre}$$

Choix du matériel végétal en plantation

Pour éviter les problèmes de colmatage du bassin, une plante doit coloniser le milieu sur toute la profondeur du bassin. De plus cette plante doit pouvoir supporter des conditions de saturation en eau du

substrat, comme des conditions plus sèches lorsque les volumes d'effluents sont faibles ou nuls (entre deux cycles de culture dans les serres).

Le choix du matériel végétal de couverture du bassin s'est donc porté sur le papyrus. En effet, cette plante a une grande souplesse d'utilisation puisqu'elle peut croître les pieds dans l'eau et résiste aux conditions sèches (ses feuilles sèchent mais dès que les conditions redeviennent propices à son développement des bourgeons repartent à sa base).

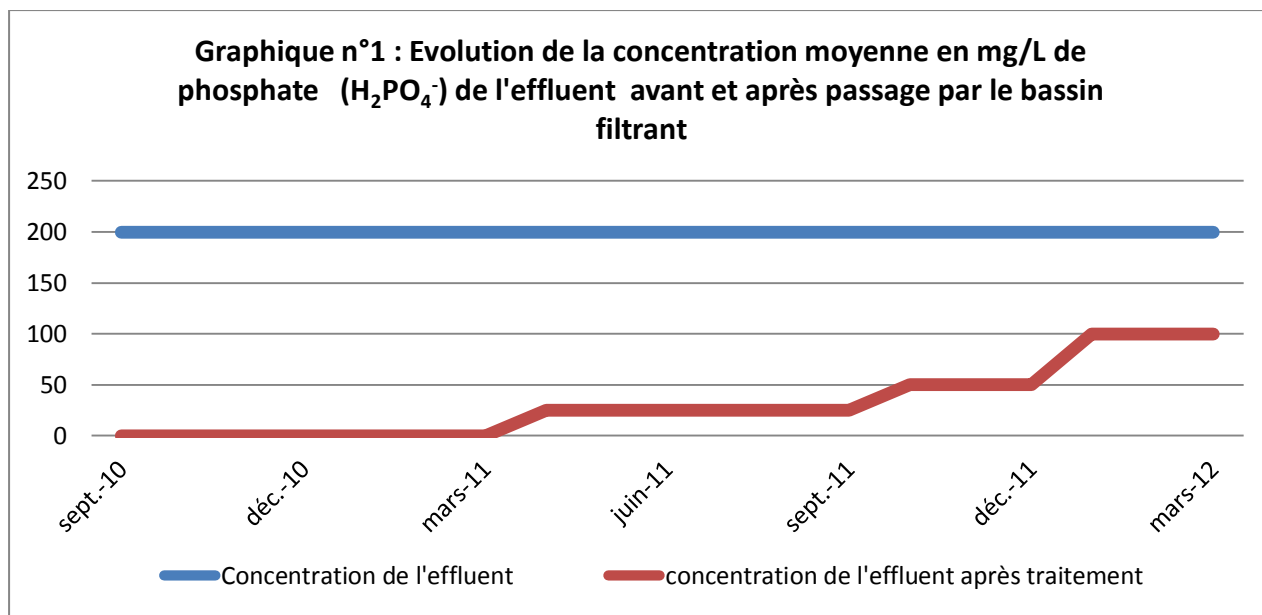
VARIABLES MESUREE

Les mesures portent sur :

- la concentration en ions nitrates et phosphates à différents points de prélèvement
- la concentration en matière organique à travers la mesure de la DCO (demande chimique en oxygène)
- la conductivité et le pH aux différents points de prélèvement.

RESULTATS OBTENUS

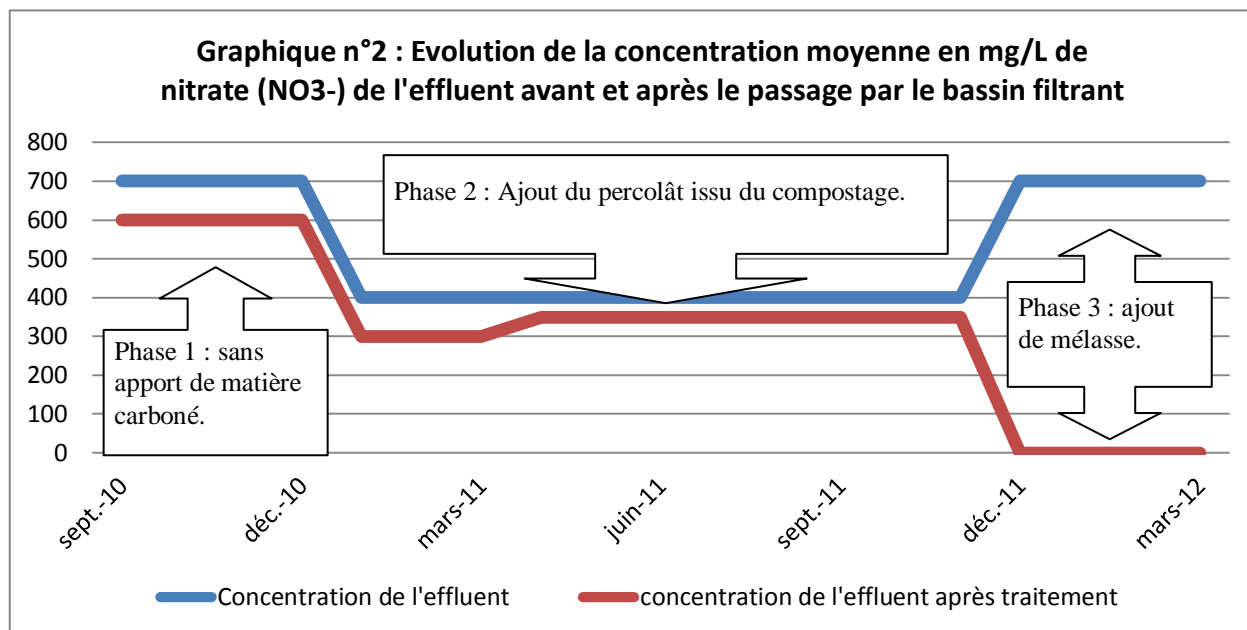
Les phosphates



Sur une année et demie de mesure, on constate que la fixation du phosphate évolue. Elle est totale sur les premiers mois et de moins en moins efficace au cours du temps.

D'après les spécialistes des bassins filtrants (Dominique Grassely (CTIFL) Laurent Rosso (Ctifl), Gérard Merlin¹ (Ocie-Esigec, université de Savoie, Le Bourget du Lac), Adrienne Trillaud (Université de Haute Alsace, Colmar)), la rétention du phosphore s'explique principalement par l'adsorption sur le substrat (scorie de charbon), par des réactions de complexations et de précipitation ainsi que par l'incorporation dans les bactéries. La présence d'oxyde de fer dans la solution ainsi que la réaction de dénitrification qui alcalinise le milieu peut favoriser les phénomènes de précipitation des phosphates.

Les Nitrates



Phase 1 : Sans apport de matière carbonée, on constate que la concentration en nitrate en sortie de bassin est très proche de celle en sortie. Cette légère diminution est très probablement liée à la consommation des papyrus, plus qu'à l'action de dénitrification des bactéries.

Phase 2 : En même temps que nous avons ajouté le percolât de la zone de compostage, nous avons réduit la concentration de nitrate de l'effluent afin d'augmenter le rendement de la dénitrification. La DCO du percolât alterne entre 7000 et 10000 mg d'O₂ par L. pour une quantité d'environ 10L.

A cette période, nous traitons environ 1m³ d'effluent par jour.

Le rapport DCO/N <1 est insuffisant pour assurer la dénitrification. De plus, les chaînes carbonées issues du compostage doivent rester relativement longues. Elles ont certainement un rendement moindre que des chaînes carbonées courtes (glucose...)



Photos de la zone de compostage

Phase 3 : lorsque l'on ajoute de la mélasse en entrée du bassin en respectant le rapport DCO/N = 4, on arrive à une dénitrification totale de l'effluent. La DCO de la mélasse est de 1 000 000 mg/L O₂.

Il est conseillé de ne pas dépasser un rapport DCO/N>5 pour éviter les pollutions organiques (DCO>120mg d'O₂/L). En ce qui concerne notre essais, nous sommes montés jusqu'à un rapport DCO/N>10 sans avoir observé de pollution organique. Cependant le rapport DCO/N = 4 est suffisant.

CONCLUSION & PERSPECTIVES

3 résultats sont particulièrement intéressants dans cet essai :

- Les nitrates sont intégralement transformés lorsque l'on ajoute de la mélasse à l'effluent en entrée de bassin en respectant le dosage DCO/N situé entre 4 et 5. Pour donner un ordre d'idée pour dénitrifier 1m³ d'effluent d'une solution concentrée à 1g/L en nitrate, il faut à peine 1 litre de mélasse.
- Le phosphate est correctement fixé par la scorie de charbon. La fixation est parfaite les 6 premiers mois de fonctionnement. Elle est cependant moins performante au cours du temps. A terme, il sera nécessaire de renouveler totalement ou partiellement la scorie si l'on souhaite limiter les rejets de phosphate.
La scorie peut par la suite être épandue en plein champ.
- La zone de compostage présente l'intérêt de traiter une grande quantité de déchets organiques (feuilles et fruits déclassés) sur une très faible surface.
La pratique est de stocker au sol ces déchets ce qui provoque à terme une pollution par dégradation et infiltration. Cette méthode permet donc de traiter de façon durable les déchets issus de l'exploitation.