

---

## **Problème de l'excès d'azote dans les eaux usées épurées recyclées en agriculture**

Dimitri XANTHOULIS <sup>1</sup>, Faycel CHENINI <sup>2</sup> & Brahim SOUDI <sup>3</sup>

### **1. INTRODUCTION**

La réutilisation des eaux usées en agriculture présente des avantages indéniables particulièrement en zones semi-arides et arides. Elle constitue en effet une ressource en eau additionnelle et apporte des éléments nutritifs aux cultures. Toutefois les quantités de ces éléments, notamment l'azote, peuvent dépasser, dans certaines situations, les besoins usuels de la plupart des cultures. Les excès d'azote nitrique générés peuvent atteindre et polluer les eaux souterraines. Pour ces raisons l'adoption de bonnes pratiques permet de valoriser au maximum le mètre cube d'eaux usées épurées et les quantités d'éléments nutritifs véhiculées. Les pratiques qui permettent d'atteindre cet objectif consistent en la maîtrise de l'irrigation (dose, fréquence, système), le choix des cultures les plus mobilisatrices d'éléments nutritifs et la considération de l'offre potentielle du sol.

### **2. PRÉALABLE À LA RÉUTILISATION DES EAUX USÉES ÉPURÉES**

La fertilisation au moyen d'eaux usées diffère fortement de celle recommandée pour l'eau conventionnelle. Pour cette raison, il est indispensable de se doter d'un programme de fertilisation et d'irrigation adapté afin de garantir une irrigation soutenable à long terme avec les eaux usées. Les analyses de sol et d'eau usée sont un préalable indispensable.

---

<sup>1</sup> Unité d'Hydrologie et Hydraulique Agricole, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, 2 Passage des Déportés, 5030 Gembloux Belgique  
E-mail: xanthoulis.d@fsagx.ac.be

<sup>2</sup> Institut National de Recherches en Génie Rural Eaux et Forêts, B.P. 10 2080 Ariana - Tunisie  
E-mail : chenini.faycel@iresa.agrinet.tn

<sup>3</sup> Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P. 6202 Madinate Al Irfane, 10101 Rabat, Maroc  
E-mail : b.soudi@iav.ac.ma

## **2.1. Rationalisation de l'utilisation des éléments nutritifs**

Appliquée de manière empirique, la fertilisation ne mène qu'à une faible valorisation des engrais par les cultures. L'approche scientifique intègre des paramètres comme la nutrition de la culture, la fertilité des sols, les teneurs en éléments nutritifs des eaux usées ainsi que les rendements attendus pour personnaliser le conseil de fumure. Le choix d'un programme raisonné de fertilisation est influencé par la connaissance des critères suivants : besoins nutritifs de la culture, aptitude du sol et des eaux usées à fournir les éléments nutritifs, efficacité du prélèvement de ces éléments sous différentes conditions d'irrigation, méthodes de fertilisation et rendement attendu. Quand le sol et les eaux usées ne fournissent pas la quantité adéquate d'éléments nécessaires à la croissance normale des plantes, il est essentiel que les quantités indispensables soient appliquées.

### **2.1.1. Absorption des éléments nutritifs par les cultures**

La quantité de nutriments exportés du sol par une culture est une bonne information pour optimiser le niveau de fertilisation du sol pour les différentes cultures. Une partie des éléments nutritifs prélevés à partir du sol par la culture est employée pour la croissance végétative (couvert végétal) et l'autre partie pour la production du fruit. La quantité d'éléments fertilisants exportés par la récolte doit être présente dans le sol indépendamment du fait qu'une partie peut rester (racines) ou retourner (déchets verts) au sol à la fin de la saison de croissance. Une règle importante est d'avoir assez de nutriments, en bonnes proportions, dans le sol pour suppléer aux besoins de la culture pendant toute la saison de croissance. Dans le cas de cultures où seuls les fruits sont recueillis, les quantités de fertilisants prélevées sont plus faibles que dans le cas où la totalité de la plante est récoltée.

### **2.1.2. Fourniture des éléments nutritifs par le sol**

L'analyse du sol estime l'offre du sol en éléments fertilisants P, K, Ca, Mg et autres nutriments. Le lessivage de l'azote qui se produit d'emblée pendant la saison pluvieuse ou avec les irrigations modifie le bilan : la nitrification conduit à l'accumulation des nitrates au cours de la saison. Pour cette raison, l'analyse de sol n'est pas utilisée comme outil pour la fertilité du sol en azote. Les analyses de sol permettent de doser une partie des éléments fertilisants présents dans le sol, supposés ou expérimentalement avérés pour être bien corrélés avec les nutriments disponibles, et permettent ainsi de raisonner les apports d'éléments fertilisants. Des méthodes chimiques et biologiques permettent d'évaluer la fraction d'azote facilement minéralisable, et donc l'offre du sol en azote minéral. Afin d'estimer les apports d'éléments fertilisants d'un sol, les paramètres suivants doivent être connus: la profondeur du système racinaire de la culture et le pourcentage de sol occupé par les racines sous

différentes conditions d'irrigation. Ces paramètres sont nécessaires afin de calculer le poids de sol dans la zone de développement actif des racines et d'estimer les réserves de fertilisants disponibles dans un sol pour la culture.

### 2.1.3. Apport des éléments nutritifs par les eaux usées épurées

L'apport en éléments nutritifs dépend de la quantité d'eaux usées appliquée par hectare et par an et de la concentration de l'élément nutritif de ces eaux usées comme indiqué au tableau 1.

**Tableau 1. Potentiel de fertilisation par les eaux usées (FAO/RNEA, 2000)**

	N	P	K
Concentration en nutriments (mg/l)	40	10	30
Nutriments apportés annuellement par application de 10 000 m <sup>3</sup> d'eau/ha (1000 mm)	400	100	300

Cet apport, ainsi que celui fourni par le sol est soustrait de la quantité totale d'éléments nutritifs exigés par la culture. Ainsi le besoin de la culture et la quantité d'éléments nutritifs à apporter ne sont pas équivalentes. Tous les éléments nutritifs appliqués par des engrais ou par les eaux usées ne sont pas utilisés par la culture. La quantité réelle apportée par des engrais est habituellement plus élevée que la quantité exigée par la culture. Le taux d'absorption des nutriments dépendra, entre autres, du système d'irrigation.

### 2.1.4. Système d'irrigation et efficacité d'absorption de N, P et K

L'efficacité d'absorption potentielle d'éléments nutritifs par une plante diffère avec le système d'irrigation. Pour cela le système d'irrigation doit être conçu de manière adaptée. Avec un bon programme d'irrigation, le potentiel d'absorption de N, P et K par une culture correspond aux valeurs données au tableau 2.

**Tableau 2. Absorption en NPK (%) selon le système d'irrigation (FAO/RNEA, 2000)**

Système d'irrigation*	Azote	Phosphore	Potassium
Raie	40-60	10-20	60-75
Sprinkler	60-70	15-25	70-80
Irrigation localisée	75-85	25-35	80-90

\*Les valeurs se rapportent à des systèmes d'irrigation conçus et exploités correctement

Avec les méthodes d'irrigation de surface, l'efficacité d'utilisation de l'engrais est la plus faible. En raison de l'action du lessivage, elle peut être particulièrement basse pour l'azote. Des essais menés en Tunisie ont montré que l'efficacité d'absorption est souvent bien inférieure aux valeurs de

référence du tableau 1 : en irrigation à la raie, elle est à peine de 30% (Xanthoulis *et al.*, 2002). Par conséquent, afin d'estimer la quantité totale d'éléments nutritifs du sol en réponse aux exigences des cultures, pour un rendement déterminé, il est nécessaire de connaître l'efficacité de prélèvement par la culture.

## 2.2. Besoins en azote, phosphore et potassium de différentes cultures

Tenant compte des besoins nutritionnels pour obtenir un rendement donné, de la capacité nutritive du sol et des eaux usées d'une part, et de l'efficacité du prélèvement des éléments nutritifs par les plantes sous différents systèmes d'irrigation d'autre part, la formule suivante peut être employée pour estimer la quantité de N, P et K qui doit être disponible dans le sol.

$$\text{Besoins nutritifs (kg/ha)} = [Q_r - (Q_s + Q_e)] \times 100 / E_a$$

$Q_r$  = Quantité requise pour un rendement donné (kg/ha)

$Q_s$  = Quantité disponible dans le sol en kg/ha

$Q_e$  = Quantité d'éléments nutritifs apportés par l'eau usée épurée en kg/ha

$E_a$  = Efficacité d'absorption des éléments nutritifs selon le système d'irrigation en %

## 3. PRATIQUES POUR MINIMISER LA LIXIVIATION DES NITRATES

Les teneurs en azote et ses formes dans les eaux usées épurées varient en fonction de l'origine des eaux usées brutes et en fonction du système d'épuration. Ainsi par exemple, dans les effluents de lagunage, l'azote se trouve essentiellement sous forme organique et ammoniacale. Par contre, dans les effluents du système Infiltration - Percolation, l'azote est essentiellement sous forme nitrique. Notons toutefois que l'ammonium se nitrifie rapidement une fois que les eaux, issues du lagunage, sont appliquées au sol. Ainsi, dans certaines situations, le risque de pollution des eaux souterraines peut être élevé. Pour minimiser ce risque, il est important d'adopter certaines recommandations pratiques, énumérées ci-dessous :

- Établir avec précision le bilan de l'eau dans le système sol - plante en quantifiant les entrées (pluies et hauteur d'eau d'irrigation) et les sorties (utilisation par la culture et l'évaporation).
- Analyser les teneurs en nutriments et particulièrement en azote dans les eaux épurées utilisées pour l'irrigation. Ceci permettra de quantifier l'azote apporté par les doses d'irrigation appliquées.
- Tenir compte du niveau de rendement escompté afin d'évaluer les exportations.
- À partir de l'analyse du sol, tenir compte du reliquat d'azote minéral disponible dans le sol.
- La dose d'irrigation est un facteur important qui conditionne la lixiviation des nitrates. Ainsi, dans les sols de texture sableuse, il est bon de

minimiser les doses et d'augmenter la fréquence. À ce niveau, il convient de considérer l'importance d'optimiser la dose d'azote et la hauteur d'eau d'irrigation sur la base des besoins en eau et en azote de la culture pour les différents stades phénologiques (Encadré 1).

- Dans le cas où les eaux sont chargées, choisir les cultures les plus consommatrices d'azote et/ou assurer une couverture maximale des sols par les cultures. Mélanger des eaux riches en azote et des eaux moins concentrées ou alterner les irrigations avec ces deux catégories d'eau.
- En cas d'utilisation d'amendements organiques, éviter l'utilisation du fumier frais. Il est plutôt recommandé d'utiliser un compost stabilisé et de comptabiliser la fourniture d'éléments nutritifs par le compost.

La connaissance et la détermination de la forme de l'azote minéral véhiculé par les eaux usées épurées sont d'importance capitale. En effet, selon la filière de traitement adoptée, les eaux peuvent contenir l'ammonium (cas de lagunage) ou les nitrates (cas de l'infiltration - percolation). Dans le premier cas, il est recommandé d'utiliser des inhibiteurs de la nitrification, ceci étant envisageable pour des cultures à haute valeur ajoutée étant donné le prix de ces produits. Dans le second cas, deux possibilités sont offertes: mettre en place un système de dénitrification au niveau de la station d'épuration ou mélanger les eaux usées épurées avec une proportion d'eau de nappe ou de surface pour diminuer la teneur en nitrates. Il est ainsi fortement recommandé d'établir un bilan de masse d'azote dans le but de protéger la nappe de la contamination par les nitrates. L'objectif consiste à garder la concentration nitrique des eaux à un niveau inférieur à 50 mg/l ou de garantir un taux d'accroissement annuel nul quand la concentration nitrique actuelle dépasse 50 mg/l.

## RÉFÉRENCES CITÉES

- FAO (2000) L'irrigation avec des eaux usées traitées. Manuel d'utilisation. *Office Régional pour le Proche Orient. Le Caire, Égypte*, 78 p.
- Xanthoulis D, Rejeb S, Chenini F, Khelil MN, Chaabouni Z, Frankinet M & Destain J-P (2002) Optimisation de la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation. *Institut National de Recherche en Génie Rural Eaux et Forêt, Tunis*, 74 p.
- Soudi B. & Choukr Allah R. (2000) Réutilisation des eaux usées en Agriculture au niveau des petites et moyennes communes: directives générales et expérience pilote de la commune de Drarga. in *Bulletin de Transfert de Technologie en Agriculture, No 69*.
- Soudi B, El Hafiane F & Badraoui M (1991) Water quality and crop production. Communication in *Seminar on «Water, Agriculture and Health». July 1 2-1 3, El Jadida, Morocco*.
- Soudi B (2004) Guide méthodologique d'élaboration d'un projet pilote de traitement et de réutilisation des eaux usées domestiques. *Pour le projet WPM /USAID/ Secrétariat d'Etat chargé de l'Environnement*.
- Xanthoulis D, Soudi B & Khallaayoune K (2001) Traitement et réutilisation des eaux usées au Maroc. *Projet UTF/MOR/023/MOR - ONEP « Assistance Technique au programme de développement de l'alimentation de l'eau potable rurale et de l'assainissement*.

### Encadré 1. Exemple de fiche culturale : le maïs (*Zea mays* L.)

• **Sol.** Le maïs convient à tous les types de sol. Toutefois il préfère les sols profonds riches en matière organique à pH à tendance acide (pH = 6).

• **Semis.** Le semis est effectué après le labour et les façons superficielles normales, avec un écartement entre rangs de 70 et de 90 cm. Le poids de semence à utiliser peut varier fortement de 15 à 30 kg à l'ha, le nombre de plantes recherchées à l'hectare variant entre 50000 et 80000 plantes. Souvent en irrigation, on souhaite obtenir 70000 plantes.

• **Saison de croissance.** La récolte intervient généralement en août. Pour le maïs fourrager il est important de ne pas dépasser le stade pâteux du grain. Généralement, ce stade est atteint en 100 jours.

• **Besoins en eau.** Le maïs a des besoins en eau élevés : 880 mm en moyenne se répartissant de la manière suivante :

Mai	Juin	Juillet	Août	Total
125	300	340	115	880

• **Besoins en éléments nutritifs.**

N .....	130 kg/ha
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	120 kg/ha
K <sub>2</sub> O .....	80 kg/ha

• **Apport d'éléments nutritifs par les eaux usées.** Exemple de concentration dans l'eau usée 38,3 mg/l N, 7,8 mg/l P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et 64,7 mg/l K<sub>2</sub>O.

Irrigation gravitaire ; efficience d'irrigation 70%.

	Mai	Juin	Juillet	Août	Total
kg. ha <sup>-1</sup> N	34	81	91	31	236
kg. ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	7	16	19	6	48
kg. ha <sup>-1</sup> K <sub>2</sub> O	57	136	154	52	399

Les besoins sont évidemment dépassés en N et K<sub>2</sub>O. Il est donc proposé d'appliquer une fumure starter en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de ± 100 kg au semis et d'arrêter l'irrigation avec eaux usées dès la première décade de juillet. On aura donc les apports minima suivants :

	Fumure de fond	.....Apport eau usée.....			Total
		Mai	Juin	Juillet	
kg. ha <sup>-1</sup> N	100	34	81	20	135
kg. ha <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	100	5	11	4	120
kg. ha <sup>-1</sup> K <sub>2</sub> O	100	38	92	25	155

Les irrigations suivantes interviennent avec de l'eau de nappe dont les teneurs en N et en K<sub>2</sub>O sont faibles (une analyse des teneurs est souhaitable).