

## **Evaluation de l'azote nitrique lixiviable : expérimentation lysimétrique, bilan de masse**

DAKAK, H <sup>(1)</sup> ; B. SOUDI <sup>(2)</sup> ; M. BENZAKOUR <sup>(3)</sup> et C.N. CHIANG <sup>(4)</sup>.

(1). Unité de Recherche sur l'Environnement et la Conservation des Ressources Naturelles, INRA, Rabat.

(2). Département des Sciences du sol, I.A.V. Hassan II, Rabat.

(3). Département des Sciences de la Terre. Faculté des Sciences de Rabat

(4). Unité MBLA, Faculté des Sciences Agronomiques de Louvain, Belgique.

## **I. INTRODUCTION**

L'azote nitrique est l'élément qui pose le plus de problèmes en agriculture. Les nitrates très solubles et mobiles dans la solution du sol sont facilement lixiviés vers les eaux souterraines et constituent ainsi une source potentielle de pollution de la nappe phréatique par les nitrates (Zoller, 1994, Souli, 1995).

La présente étude a pour objectif l'étude de la migration des nitrates dans le sol, par l'utilisation des dispositifs lysimétriques, afin d'évaluer les quantités de nitrates lixiviées au delà de la zone racinaire et d'estimer les quantités d'azote nitrique dans les eaux infiltrées qui sont susceptibles d'atteindre les eaux souterraines. La détermination des quantités de nitrate lixiviable a été également approchée par la méthode de bilan de masse dans le système sol-plante et la quantité de nitrate réellement lixiviées a été déterminée par les dosages de nitrate dans les percolats lysimétriques. En outre, il est important de souligner que ce dispositif a permis également d'examiner la migration des nitrates en relation avec le calendrier d'irrigation (dose et fréquence) et le plan de fumure adopté.

## **II. MATERIEL ET METHODES**

### **II.1. Dispositif expérimental :**

**\*le site d'expérimentation et dispositif lysimétrique :** L'expérimentation a été conduite dans la station d'Ouled Gnow localisée dans le CDA 524 situé dans le périmètre des Béni Moussa Est. La parcelle comporte deux lysimètres constitués de bacs en polyester, présentant une surface de 4 m<sup>2</sup> et une profondeur de 1,5m. Au fond de chaque case, un drain a été installé dans une couche d'environ 60 cm. A la base du profil du sol, une couche filtrante de sable a été placée de telle manière qu'elle permette un drainage optimum. La base est plane avec une faible pente qui converge pour faciliter l'écoulement de l'eau et du drainage vers la fosse de récupération éloignée de 6 m de la cuve. Le système de drainage est constitué par un tuyau galvanisé qui relie la cuve à la fosse de visite.

**\* Le sol étudié :** Le sol du lysimètre est de type isohumique appartenant au groupe brun subtropical et au sous groupe des sols bruns modaux. Ce sol est développé sur une roche mère argileuse. Il s'agit d'un sol profond à tâches calcaires.

**\*L'eau :** Les eaux utilisées pour l'irrigation de la zone de garde, comprennent deux types d'eau :

- les eaux pompées directement du puit localisé dans la station expérimentale d'Ouled Gnow ;
- et les eaux percolées sous lysimètre qui ont à leur retour subi un recyclage tout le long de l'expérimentation.

**\*Le matériel végétal :** L'essai est pratiqué sur deux cultures ; le blé tendre et la betterave sucrière. Ces cultures représentent une proportion importante de l'occupation du sol du périmètre.

### **II.2. Conduite de l'essai**

**\*Paramètres de suivi:** Un certain nombre de paramètres physico-chimiques concernant le sol, l'eau de percolation et l'eau d'irrigation (eau de puits) ont été régulièrement analysées :

**Eaux d'irrigation et de percolation :** Les échantillons des eaux percolées sont recueillis et analysés à chaque irrigation avant le recyclage pour les deux cultures de blé et de betterave à sucre.

Les paramètres analysés sont: nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ); température, pH, conductivité électrique et potentiel rédox. Les mêmes analyses sont réalisées pour l'eau d'irrigation (eau de puits).

**Caractérisation physico-chimique du sol :** La caractérisation du sol a été réalisée au semis et à la récolte, dans le but de connaître l'état actuel du sol lysimétrique. Une attention particulière a été consacrée à l'azote minéral du sol et à sa capacité minéralisatrice. Les paramètres analysés sont : pH, conductivité électrique; les composés azotés ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{NO}_3^-$ ); bilan ionique ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , et  $\text{Mg}^{2+}$ ) et les orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Ces essais ont permis particulièrement d'évaluer le flux de l'azote et de calculer les quantités lessivées (au-delà d'une profondeur de 1,5 mètres) qui atteindront potentiellement la nappe.

**\*Irrigation :** 20 arrosages ont été réalisés au cours d'une durée de cycle cultural d'environ 5 mois s'étalant de Mars à Juillet, avec l'application de deux types d'eau : l'eau de puits et l'eau percolée recyclée. Une dose de 25 l/j, soit 175 l/semaine a été appliquée pour la culture du blé et une dose de 30 l/j, soit 210 l/semaine pour la betterave sucrière. Cet essai a duré 20 semaines avec une fréquence d'irrigation de l'ordre d'une fois par semaine. Le choix des doses d'irrigation a été imposé par les conditions expérimentales relatives aux essais conduits sur les besoins en eau des cultures. Rappelons, que notre expérimentation s'est greffée sur ces essais.

**\*Fumure azotée :** Rappelons que deux cultures ont été expérimentées en cases lysimétriques. Il s'agit de la betterave sucrière et du blé tendre. La fumure appliquée au sol pour le cas de la betterave sucrière est l'engrais de fond sous forme de sulfate d'ammonium (21 %), et l'engrais de couverture sous forme d'ammonitrate (33 %). Pour le cas du blé tendre, la nature d'engrais appliquée est l'engrais de fond sous forme de sulfate d'ammonium (21%), et l'engrais de couverture sous forme d'urée (46 %). Les quantités totales d'unités d'azote appliquées sont de 196 Kg/ha et 117 Kg/ha respectivement pour la betterave sucrière et le blé tendre.

**\*Bilan de masse d'azote:** L'établissement du bilan de masse d'azote s'écrit comme suit :

$$\text{NI} + \text{NEG} + \text{NM} + \text{NIR} = \text{Nexp} + \text{Nvol} + \text{Nr} + \text{NLix}$$

La détermination des différents termes du bilan a été faite sur la base du calcul e ci-après :

**NI :** l'azote minéral dans le sol calculé à une profondeur de 0-20 cm est de l'ordre de 45 kgN/ha.

**NM :** l'azote minéralisable à partir de l'azote organique natif dans le sol ; il est déterminé à partir des dosages effectués dans la couche 0-20 cm, il est de l'ordre de 90 Kg N/ha.

**NIR :** l'azote apporté par les eaux d'irrigation et du percolats lysimétrique qui sont recyclés .Le calcul est évalué en faisant le produit des concentrations des échantillons d'eau percolées par le volume écoulé intégré dans le temps durant le cycle des cultures de blé et de betterave (Dorioz et Ferhin 1994), la même démarche est effectuée pour l'eau d'irrigation (eau de puits). Pour la betterave, il est de l'ordre de 106,4 Kg N/ha ; et pour le blé, il est de l'ordre de 74,6 kg N/ha.

**NEG :** L'azote minéral apporté par les engrais utilisés est calculé à partir des quantités appliquées sur Lysimètre pour les deux cultures (Betterave = 196 Kg/ha et Blé = 117kg N/ha).

**Nexp :** L'azote exporté par les cultures est obtenu en se basant sur la valeur moyenne calculée à partir des données trouvées dans le Tadla ; SID, 1986 (Blé:168,5 kg N/ha. Betterave : 233 kg N/ha)

**Nvol :** L'azote volatisé est estimé à 20 % des formes suivantes : azote ammoniacal apporté sous forme d'engrais (NEG) ; azote organique minéralisé (ammonifié) ; et azote ammoniacal faisant partie de l'azote minéral initial ou résiduel. Ainsi les quantités volatilissables ont été estimées à 61,3 kg N/ha et 44,2 Kg N/ha respectivement pour la betterave et le blé.

**Nr** : L'azote résiduel dans le sol à la fin de l'expérimentation à une profondeur (0-20 cm). Il est calculé à partir des mesures effectuées dans la zone de garde de lysimètre. Il est de l'ordre de 42,5 Kg N/ha. Dans le calcul du bilan, on suppose que la totalité des termes NM, N ammoniacal de NI ; NEG est convertie en nitrate au cours du cycle végétatif. Cette supposition se justifie par les conditions hydriques et thermiques favorables à la nitrification.

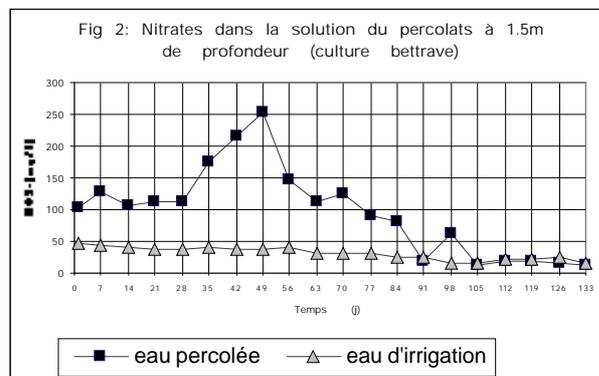
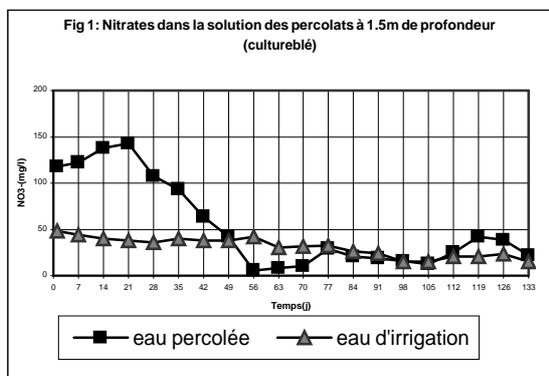
### III. RESULTATS ET DISCUSSION

**\*Lysimétrie** : Les figures 1 et 2 montrent que les eaux percolées du lysimètre sont très chargées en nitrates par rapport aux eaux de puits. Le pool d'azote nitrique est alimenté en partie par l'azote nitrique apporté par les eaux d'irrigation, les fertilisants azotés utilisés au cours de l'essai, la minéralisation de l'azote organique dans le sol, la nitrification de l'azote ammoniacal, et le reliquat du sol. Pour comprendre l'évolution de l'azote nitrique, nous allons essayer de rapprocher celle-ci aux variations de ces facteurs (Fig. 1 et 2):

Au début du cycle végétatif de la culture de betterave et du blé, la quantité de nitrate contenue dans l'eau des percolats est supérieure à celle des eaux d'irrigation en enregistrant une augmentation progressive durant les treize et les huit premières semaines (Mars-Avril); elle atteint un maximum de 250 mg/l au 49 ième jour (Avril) de 148 mg/l au 21 ième jour (Mars) respectivement pour la betterave et le blé. Cette lixiviation excédentaire est attribuée à la faible absorption d'azote par la plante, à l'incidence des précipitations (25 à 30mm), à la basse température (5° à 10°c), limitant ainsi l'activité microbienne, et aux irrigations excessives qui jouent le rôle de piston en déplaçant vers le bas la solution du sol. On peut également ajouter, l'effet des reliquats non consommés des cultures pratiquées précédemment et les fertilisants utilisés aux mois de Décembre- Février qui ne se sont manifestés que durant la période Mars-Avril ;

Ensuite, on assiste à une régression rapide de  $\text{NO}_3^-$  pour atteindre une teneur de 12 mg/l au 105 ième jour (juin) et 5 mg/l au 56 ième jour (fin Avril début Mai) respectivement pour la betterave et le blé. Cette baisse des teneurs d'azote nitrique en fonction du temps, peut être classiquement interprétée comme étant due aux conditions d'anaérobiose partielle causées momentanément par des humidités dépassant la capacité de rétention en raison des volumes d'irrigation apportés. Ces conditions réduisent le flux d'oxygène et favorisent une éventuelle dénitrification. (Billaut 1989). Ainsi, cette diminution peut être aussi attribué au développement du système racinaire. Celui-ci va jouer le rôle d'inhibiteur du lessivage de cet élément vers la nappe, par le phénomène d'absorption.

D'après les déterminations et les mesures effectuées durant les cycles végétatifs de la betterave et du blé, concernant le volume d'eau percolée et sa concentration nitrique, on peut déduire que la quantité des nitrates lixiviée sous betterave est de l'ordre 90,6 g du  $\text{NO}_3^-$  soit 51,2 kg N/ha, alors que celle lixiviée sous blé est de l'ordre 61,3 g du  $\text{NO}_3^-$  soit 34,6 kg N/ha



**\*Bilan de masse :** Les résultats relatifs au bilan de masse (tableau 1), montrent que la lixiviation d'azote sous la culture de betterave est plus importante, constituant presque le double de celle obtenue sous le blé, laissant des excès susceptibles d'être lixiviés avec les eaux d'infiltration vers la nappe. Cela est attribué aux excédents de la fumure azotée et à la fourniture d'azote par le sol non utilisée par la plante. Toutefois, il convient de rappeler que le volume d'eau d'irrigation appliquée favorise la lixiviation. Ajoutons que ces résultats deviennent importants dans la mesure où ils montrent les différences de quantités d'azote nitrique lixiviées sous les deux cultures et simulent la situation d'excès d'eau d'irrigation.

Tableau 1 : Récapitulation des différents termes du bilan azoté en Kg N/ha dans l'essai lysimétrique.

| Termes du bilan          | Valeurs en kg N/ha<br>(culture blé) | Valeurs en kg N/ha<br>(culture betterave) |
|--------------------------|-------------------------------------|---|
| <b>(1) Entrées :</b> NI  | 45                                  | 45  |
| NEG                      | 117                                 | 196                                       |
| NM                       | 59                                  | 59  |
| NIR                      | 74,6                                | 106,4                                     |
| <b>Total</b>             | 295,6                               | 406,4                                     |
| <b>(2) Sorties:</b> Nexp | 168,5                               | 233                                       |
| Nvol                     | 44,2                                | 60  |
| Nx                       | 42,5                                | 42,5                                      |
| <b>Total</b>             | 255,2                               | 335,5                                     |
| <b>Bilan : (1) - (2)</b> | 40,4                                | 70,9                                      |

**\*Comparaison des valeurs d'azote nitrique lixiviés calculé par les deux méthodes(bilan /lysimètre) :** On en déduit, que la quantité d'azote lixiviée sous le blé pour les deux méthodes est moins importante que celle enregistrée sous la betterave sucrière.

Tab.2: Récapitulation des valeurs d'azote lixiviées calculées par les différentes méthodes (en Kg/ha.)

| Méthode                         | Betterave | Blé  |
|---------------------------------|-----------|------|
| N calculé par le bilan de masse | 76,1      | 40,3 |
| N mesuré in situ (lysimètre)    | 51,2      | 34,6 |

La méthode lysimétrique a permis de quantifier les quantités d'azote nitrique réellement lixiviées au delà de la zone racinaire. Les valeurs obtenues par cette méthode se sont avérées inférieures à celles obtenues par la méthode du bilan. Toutefois, lorsqu'on comptabilise les avantages de celle-ci, tout en comparant les deux méthodes, on peut dire que les dispositifs lysimétriques ne permettent que des déterminations ponctuelles dans l'espace dont l'installation demeure fastidieuse et coûteuse. Par contre la méthode du bilan peut, moyennant des quantifications de certains maillons du cycle de l'azote à l'échelle régionale, couvrir toutes les situations agro-pédologiques dans une zone donnée. Ajoutons également que le bilan de masse peut être établi par culture ou par zone pour plusieurs cultures. Ceci permet d'établir des directives de rectification et de rationalisation de fumure dans le contexte pédoclimatique étudié.

## VI. CONCLUSION

Les résultats ont montré que au-delà d'une profondeur de 1,5 m pour une dose de 30 l et 25 l/jour correspondent respectivement à 51,2 Kg/ha et 34,6 Kg/ha durant le cycle des cultures de la betterave et du blé. L'évolution des nitrates dans les effluents lysimétriques montre que la période de lessivage élevée se situe au printemps. Cette période coïncide avec une phase de minéralisation intense. Les résultats obtenus par le bilan de masse ont montré une lixiviation intense. En effet, la quantité lixiviée durant la période d'essai est équivalente à 76,1 kg N/ha pour la betterave et 40,3 kg N/ha pour le blé. La différence entre les deux cultures est attribuée à la faible efficacité d'utilisation de l'azote par la betterave et aux doses élevées d'azote appliquées.

## REFERENCES

**Billaut,C.1989** :Le rôle épurateur du sol.Tome II: L'évolution des polluants dans le sol. AFEE.

**Dorioz, J.M., et Ferhin J.M, 1994** : Pollution diffuse et gestion du milieu agricole : transferts comparés de phosphore et d'azote dans un petit bassin versant agricole. *Wat. Res.*, 2(28)p: 395-410.

**Soudi, B. Et al. 1995** : Mise en place des réseaux de suivi de la nappe phréatique et de la qualité des sols et des eaux du périmètre de Tadla Rapport M.R.T N° 608-0213-3-20014.

**Zoller, I. 1994** : Non-ionic surfactants in reused water : are activated sludge/soil aquifer treatments sufficient *Wat. Res.* 28 (7), pp : 1625-1629.