"Le Sélectionneur Français" 2001 (52), **31-37**

VALORISATION DE L'AZOTE ORGANIQUE PAR LE MAÏS DANS LES SYSTEMES A BASE D'ELEVAGE

Christine BISSUEL, Thierry MORVAN[1] et Yannick FAUVEL

UMR INRA-ENSAR Sol, Agronomie, Spatialisation,
65 rue de Saint Brieuc, 35042 RENNES et 4, allée Stang Vihan 29 000 QUIMPER, France

INTRODUCTION

L'intensification de l'élevage dans certaines régions s'est traduite par un accroissement très important des quantités d'effluents d'élevage épandues sur les terres agricoles ; il est cependant bien établi aujourd'hui que les apports d'effluents d'élevage en quantités excessives par rapport aux besoins des cultures débouche sur des problèmes environnementaux, relatifs à la qualité de l'eau (NO3) (Spallacci, 1981, Carey *et al*., 1997) et de l'air (NH3 et N2O). Il appartient donc de rechercher les voies de valorisation agronomique permettant de maximiser l'utilisation des éléments fertilisants contenus dans les effluents par les plantes tout en limitant les risques de pollution.

En tant que culture d'été à cycle court, le maïs offre des possibilités intéressantes mais limitées de valorisation agronomique des effluents d'élevage, notamment des lisiers :
intéressantes, car il est en effet possible d'apporter l'effluent soit immédiatement avant le semis, dans des conditions de portance généralement bonnes, soit en début de végétation, avec une rampe équipée d'un enfouisseur. On peut espérer dans ces conditions obtenir une efficience élevée de l'azote apporté par le lisier (Desvignes, 1995).
Limitées, car les besoins en azote d'un maïs non irrigué plafonnent rapidement autour de 200 à 220 kg N ha-1, et sont en grande partie pourvus par la minéralisation du sol ; de ce fait, les quantités de lisier agronomiquement valorisables excèdent rarement 30 à 40 m3 /ha /an.

Le cycle cultural du maïs entraine aussi de longues périodes de sol nu, avant et après la culture, sans offrir de réelles possibilités d'implantation de couverts d'interculture, ce qui accroit le risque de lessivage.

Enfin, le maïs présente l'inconvénient d'être insensible à la verse, ce qui conduit fréquemment l'agriculteur à négliger le raisonnement de la fertilisation azotée, et à pratiquer la surfertilisation, notamment en apportant des effluents d'élevage sur une prairie récemment détruite.

Un dispositif lysimétrique a été installé en 1991 dans l'Ouest de la France (Rennes), avec pour objectifs d'étudier la robustesse de différents modes de raisonnement et d'utilisation de la fertilisation azotée du maïs avec du lisier de porc, au regard de la production, et de caractériser le risque de pollution nitrique associé à ces différentes pratiques. Nous avons pour cela comparé 4 modalités de fertilisation organique avec la fertilisation minérale « optimale » calculée par la méthode du bilan prévisionnel.

[1] Contact : Morvan T. INRA 4, allée Stang Vihan, 29 000 QUIMPER (morvan@lerheu.rennes.inra.fr).

MATERIEL ET METHODES

Description du sol et des lysimètres :
L'étude présente les résultats acquis entre 1993 et 1997. Le dispositif est constitué de 15 lysimètres clos et enterrés, construits en béton (1,5 m x 1,34 m x 1,10 m de profondeur) et installés en 1991. Ils sont remplis : i) d'une couche de gravier à la base afin de faciliter le drainage, ii) de couches successives de sol de 10 cm chacune, reconstituant le sol de la parcelle en terme de densité et de composition granulométrique. Chaque lysimètre est implanté dans une parcelle expérimentale de 150 m², et soumis au même itinéraire technique que celle-ci.
Les caractéristiques de l'horizon de surface sont les suivantes : C organique : 1,04% ; N total : 0,123% ; C/N : 8,5 ; pH : 6,1 ; argile : 15% ; limons : 71% ; sable : 14%.

Conditions climatiques :
La pluviométrie journalière a été mesurée sur le site même et les autres données climatiques (température de l'air, ETref, …) ont été fournies par la station météorologique la plus proche. La pluviométrie moyenne sur les 5 années de l'essai a été de 701 mm/an. 50 à 60 % de ces précipitations ont été régulières et se sont produites pendant l'automne et l'hiver. Les pluies d'été ont été variables et essentiellement sous forme d'orage (en juillet et août). Cette variabilité a provoqué des situations contrastées (i) quelques épisodes de drainage en 1993, (ii) une sécheresse en 1996 qui a entrainé un faible rendement en matière sèche sur maïs, ou au contraire (iii) a retardé le déficit hydrique et donné un fort rendement en matière sèche en 1997.

Dispositif expérimental et systèmes de culture étudiés :
Deux systèmes de culture à base de maïs recevant des effluents d'élevage ont été étudiés (i) une monoculture de maïs et (ii) une rotation maïs-blé avec ou sans interculture de phacélie implantée en août après le blé.
Plusieurs modes de gestion des effluents (lisier, fumier ou compost) sont comparés à une fertilisation minérale raisonnée à l'aide de la méthode du bilan prévisionnel de l'azote. Les résultats présentés dans cet article concernent uniquement des fertilisations organiques sous forme de lisier de porc.

Traitements :
Suivant le système de culture étudié, différents traitements ont été appliqués depuis 1993 sur les lysimètres et sur les 150m² de parcelle correspondante, cultivés en maïs (vaiété DEA) ou en blé (variété Soisson).

• Le traitement de référence est une fertilisation minérale dont la dose (Xmin) est calculée selon la méthode du bilan prévisionnel (Rémy et Hébert, 1997 ; Machet et al., 1990)

$$\mathbf{Rf - Re = Mn + Xmin - bR - L}$$

et en prenant en compte comme hypothèses suivantes :

- un objectif de rendement moyen (R) obtenu sur la parcelle et en accord avec les références locales (16t/ha de matière sèche (MS) pour le maïs ensilage et 80q/ha pour le blé),
- une teneur en N (b) de la plante (13kgN/t de MS pour le maïs ensilage et 3kgN/q de blé),

- des reliquats d'azote à l'entrée du bilan (Re, mesuré en avril pour le maïs et mi-février pour le blé) ou à la sortie du bilan (Rf, estimé à 30kgN/ha),
- une minéralisation nette de la matière organique (incluant l'humus du sol, les résidus de culture) estimée à partir des références locale,
- un lessivage (L) supposé nul.

Les doses d'azote apportées varient avec les années de 60 à 124 kgN/ha, en fonction des reliquats Re mesurés.

• Un premier traitement lisier de porc (Xlisier) dont la dose, équivalente à Xmin, a été calculée avec les hypothèses et précautions suivantes :

- en supposant que 70 % de l'azote total du lisier était disponible sous forme d'azote minéral pour la culture (Desvignes, 1995),
- en estimant la teneur en azote de l'effluent à partir de la détermination de l'azote ammoniacal contenu dans le lisier à l'aide d'une méthode opérationnelle et rapide d'analyse (Agros ou quantofix) utilisée par les agriculteurs juste avant l'épandage. Cette méthode a été validée pour le lisier de porc et prend comme ratio Ntotal/N-NH4 égal à 1,43 (Bertrand, 1985).

Le lisier a été apporté sur maïs en une fois au stade 6 feuilles (correspondant au meilleur coefficient d'utilisation de l'azote par la culture) et enfoui à l'aide d'un cultivateur, d'une bineuse ou d'un enfouisseur pour limiter les pertes d'ammoniac par volatilisation. Sur blé, le lisier a été apporté en une fois au stade début montaison manuellement dans nos conditions expérimentales où la taille et la position des placettes ne permettait pas de manœuvrer avec une tonne à lisier.

• Un deuxième traitement lisier de porc (Xlisier + inhibiteur de nitrification) a été fait à l'automne (pendant les 10 jours précédent le 15 novembre) sur sol nu à la dose de 3 L/m² correspondant à une dose de 180 – 200 kg N/ha (pratique courante des agriculteurs à l'époque et aujourd'hui prohibée). Un inhibiteur de nitrification (DCD) était ajouté au lisier à la dose de 25 L/ha pour prévenir un risque de lessivage de nitrate durant l'hiver. Les résultats de Morvan *et al.* (1996) ont montré que l'inhibiteur retarde la nitrification de l'ammonium du lisier, sous nos conditions climatiques, pendant environ 4 mois.

• Deux traitements lisiers "surfertilisés" ont été envisagés à l'époque : Xlisier + 75 kg N/ha et Xlisier + 150 kg N/ha, apportés au printemps dans les mêmes conditions que celles décrites pur le traitement Xlisier.

Mesures effectuées :

Des mesures ont été effectuées sur des prélèvements de sol des placettes et des eaux de drainage des lysimètres collectées à intervalles variables suivant la pluviométrie. Ces mesures concernent le dosage de l'azote minéral du sol et des eaux, pour déterminer les reliquats Re et Rf, ainsi que les pertes en N-NO3.

Des mesures de rendements et des mesures de teneur en azote total (méthode Kjeldahl) des échantillons de végétaux ont été effectuées à la récolte pour déterminer le quantité d'azote prélevée par la culture.

RESULTATS

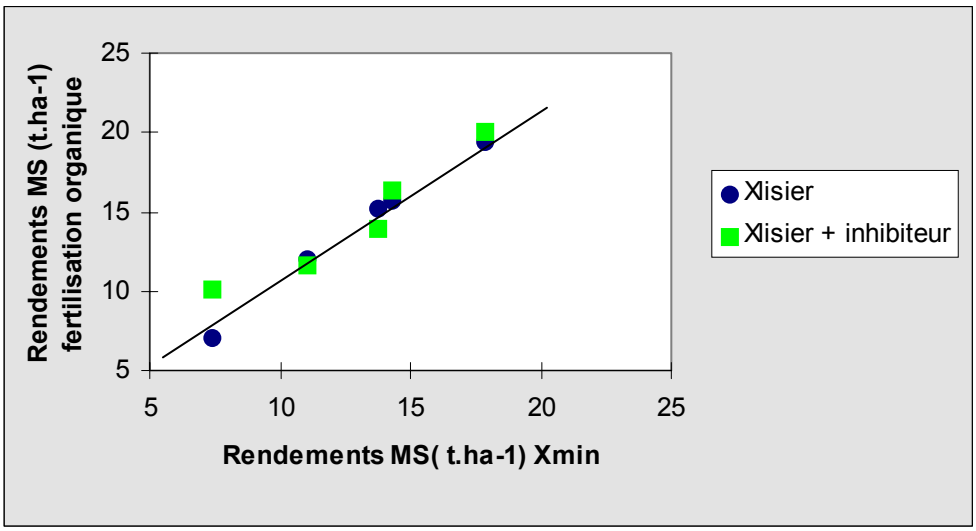

Figure 1. *Comparaison des rendements en matière sèche (en t/ha) obtenus 5 années consécutives (1993-1997) en monoculture de maïs entre une fertilisation minérale (Xmin) et des fertilisations organiques de printemps (Xlisier) ou d'automne (Xlisier+inhibiteur de nitrification).*

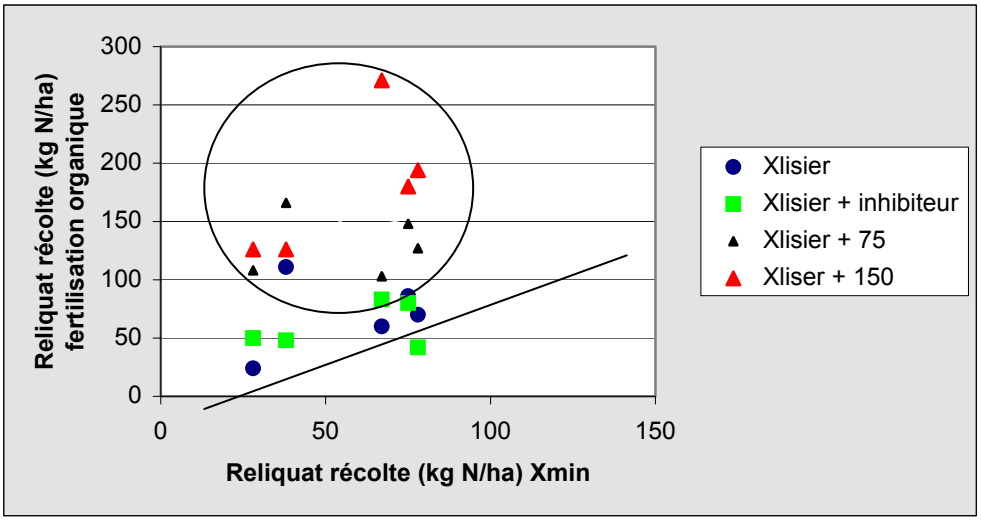

Figure 2. *Reliquats d'azote minéral du sol obtenus après récolte en monoculture de maïs soumise à différentes fertilisations azotées raisonnées : minérale (Xmin), organique de printemps (Xlisier) et d'automne (Xlisier + inhibiteur).*

Comment le maïs valorise-t-il l'azote des effluents d'élevage ?

La moyenne des rendements maximums, obtenus sur cette parcelle avec le traitement Xmin en 1997, a été proche de la valeur des 16 t/ha de matière sèche utilisée comme objectif de rendement dans le calcul du bilan prévisionnel de l'azote ; la variabilité interannuelle des rendements appraraît très élevée (7 à 17 t/ha). Malgré cette forte variabilité, nous constatons queles rendements obtenus entre le traitement basé sur une fertilisation minérale (Xmin) et les traitements équivalents basés sur une fertilisation organique de printemps (Xlisier) ou

d'automne (Xlisier+inhibiteur de nitrification) sont identiques (Fig.1). Les quantités d'azote absorbées sont identiques voire supérieures (-19 à + 58 kg N/ha) pour ces traitements organiques par rapport au traitement Xmin.

Ce résultat est important, car il montre que la culture peut valoriser l'azote de l'effluent d'élevage avec des rendements et une efficience d'utilisation de l'azote identiques à ceux obtenus avec une fertilisation minérale dès lors que les doses et dates d'apport sont raisonnées, et ce quelle que soit l'année.

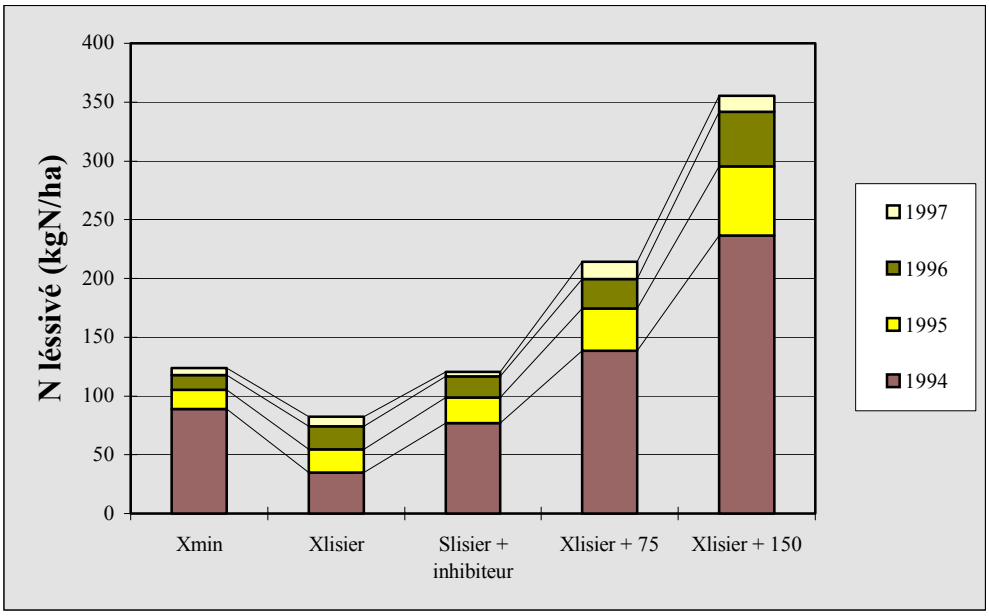

Figure 3. *Cumul des quantités d'azote nitrique perdues par drainage durant la période 1994-1997 par une monoculture de maïs soumise à différentes modalités de fertilisation azoté*

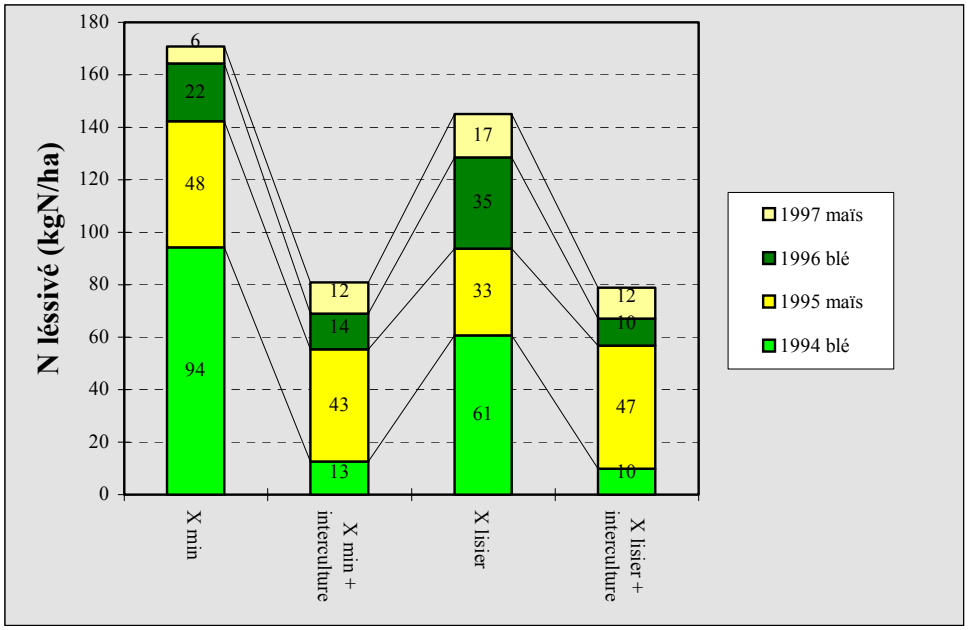

Figure 4. *Cumul des quantités d'azote nitrique perdues par drainage durant la période 1994-1997, par une rotation maïs-blé avec ou sans interculture (phacelie). Les cultures de maïs et de blé recevaient une fertilisation raisonnée minérale (Xmin) ou organique (Xlisier).*

La fertilisation organique aggrave-t-elle le risque de pollution ?
La figure 2 montre que les reliquats d'azote après récolte obtenus après fertilisation organique raisonnée (traitements Xlisier et Xlisier+inhibiteur) en monoculture de maïs sont équivalents à ceux obtenus avec le témoin Xmin. Dans ces cas, les reliquats n'excèdent pas 85 Kg N/ha (sauf pour le traitement Xlisier en 1994, où le reliquat est de 111 Kg N/ha.
Par contre, dès lors que les doses d'azote apportées sont surestimées (Xlisier+75 ou Xlisier+150) par rapport au calcul du bilan prévisionnel, les reliquats obtenus après récolte sont compris entre +100 et plus de +270 Kg N/ha.

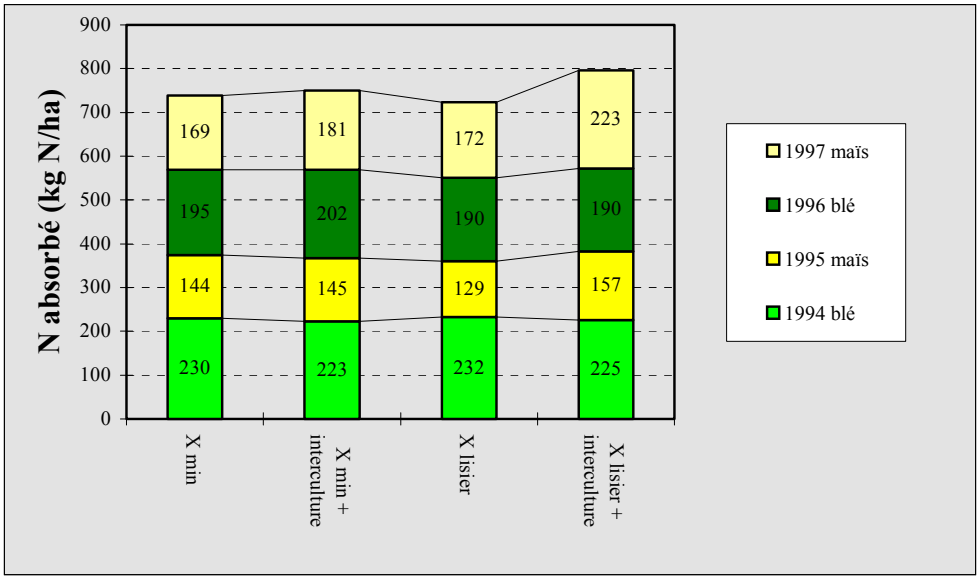

Figure 5. *Cumul des quantités d'azote absorbé par les cultures d'une rotation maïs-blé conduite avec ou sans interculture. Les cultures de maïs et de blé recevaient une fertilisation raisonnée minérale (Xmin) ou organique (Xlisier).*

Les quantités d'azote lessivé mesurées dans les eaux de drainage sont reportées dans la figure 3. Elles varient beaucoup entre années en fonction du drainage et du rendement de la culture. Le cumul de ces quantités lessivées sur une période de 4 ans (1994-1997) montre qu'il existe peu de différence entre les traitements Xmin, Xlisier et Xlisier+inhibiteur pour lesquels les doses et les dates d'apport ont été raisonnées. Par contre, les quantités d'azote lessivées sont d'autant plus importantes (sur 4 ans +100 kg N/ha pour Xlisiser+75 à +250kg N/ha pour Xlisier+150) que les traitements sont surfertilisés.

Cette expérimentation permet de montrer qu'il est possible de fertiliser des cultures en valorisant l'azote de l'effluent d'élevage sans aggraver les risques de pollution nitrique par lessivage et cela à l'aide de méthodes simples (bilan prévisionnel, dosage rapide du lisier).

Qu'apporte l'implantation d'une interculture sur le risque de pollution ?
La figure 4 montre que quantités d'azote léssivé pendant une période de 4 ans (1994-1997) sont de l'ordre de 40 kg N/ha/an que ce soit en fertilisation minérale (Xmin) ou organique (Xlisier). Ces pertes moyennes sont diminuées de moitié environ (20 kg N/ha/an) par l'introduction d'une interculture de phacélie après culture de blé dans la rotation maïs-blé et cela sans effet négatif sur le rendement ou la quantité d'azote absorbée par les peuplements de maïs ou de blé (Fig. 5).

L'introduction d'une culture piège à nitrate dans la rotation blé-maïs permet de réduire les quantités de nitrate lessivées à l'échelle de la rotation et est une voie d'amélioration pour la gestion des effluents dans les systèmes de culture à base de maïs.

CONCLUSION

Les résultats présentés sur une chronoséquence de 5 ans ont permis de montrer que l'on peut substituer intégralement du lisier à l'engrais minéral, sur maïs, en obtenant chaque année avec les modalités « lisier raisonné » des rendements identiques, voire légèrement supérieurs aux rendements obtenus avec l'engrais minéral. Ce résultat établit la « robustesse » d'une pratique fondée sur un calcul de la dose « agronomique » de lisier à apporter, et l'enfouissement du produit immédiatement après l'apport, permettant d'obtenir une efficience azotée relativement constante entre années. Nous avons également constaté, sur la durée de la chronoséquence, que le remplacement de l'engrais minéral par le lisier ne s'accompagne pas d'un accroissement de la pollution nitrique, tandis que l'on observe une augmentation très importante du lessivage du nitrate, lorsque les quantités de lisier apportées excèdent les besoins de la culture. Ceci dit, la durée de 5 ans est insuffisante pour caractériser tous les effets à long terme de l'apport de lisier, et l'expérience se poursuit actuellement en comparant d'autres modes de gestion avec d'effluents tels que le compost et le fumier.

La valorisation de l'azote des effluents dans un système de culture associé à système d'élevage est un enjeu important. Dans ce contexte, la sélection de maïs fourrage valorisant mieux l'azote pourrait permettre de diminuer l'achat de compléments azotés et de valoriser les productions végétales de l'exploitation. De même la sélection de maïs acceptant mieux la compétition pourrait permettre de réussir l'implantation d'une culture piège à nitrate sous couvert.

BIBLIOGRAPHIE

BERTRAND M. 1985. Méthode d'estimation de la valeur fertilisante des lisiers de porcs. *Cemagref-Informations techniques, Cahier* 60:2.

CAREY P.L., RATE A.W., CAMERON K.C. 1997. Fate of nitrogen in pig slurry applied to a New Zealand pasture soil. *Aus. J. Res*. 35-4:941-959.

DESVIGNES P. 1995. Enfouir pour mieux valoriser. *Perspectives Agricoles*. 207:49-50.

MACHET J.M., MARY B. 1989. Impact of agricultural practices on the residual nitrogen in soil and nitrate losses. In : *Management systems to reduce impact of nitrates*. Germon, P., ed.126-146.

MORVAN T, LETERME P., MARY B. 1996. Quantification des flux d'azote consécutifs à un épandage de lisier de porc sur triticale en automne par marquage isotopique 15N. *Agronomie*. 16:541-552.

REMY J.C., HEBERT J. 1977. Le devenir des engrais azotés dans le sol. *C. R. Académie Agriculture*, 700-709.

SPALLACCI P. 1981. Nitrogen losses by leaching on different soils manured with pig slurry. *In*: *Nitrogen losses and surface run-off*, (Brogan, J.C., ed) Brussels – Luxembourg. p 284-288.

SPALLACCI P. 1981. Nitrogen uptake by crops manured with pig slurry. *In*: *Nitrogen losses and surface run-off*, (Brogan, J.C., ed) Brussels – Luxembourg. p 178-180.