

I.N.R.A.
Laboratoire d'Agronomie
28, rue de Herrlisheim
68021 COLMAR



n° 15509

CHAPOT J-Y.

Avec la collaboration de SCHWAB G., HUCK C., CORREGE G.

**ETUDE SUR LYSIMETRES DE L'INCIDENCE DE L'INTRODUCTION
D'UN ENGRAIS VERT DANS UNE ROTATION BLE-MAIS
SUR LES FLUX D'AZOTE ET D'EAU**

Second cycle cultural : 1988-89

Rapport intermédiaire d'une recherche financée

**par L'AGENCE DE L'EAU RHIN-MEUSE
et le Ministère de l'Environnement**

MAI 1991

SOMMAIRE

Introduction

Estimation sur lysimètres, pour 2 sols, de l'incidence de l'introduction d'un engrais vert dans une rotation blé-mais, sur les flux d'eau et d'azote

- Matériel et méthodes
- Résultats et discussion
 - A - drainage
 - Effet engrais vert
 - Effet sol
 - B - lixiviation d'azote
 - Effet engrais vert
 - Effet sol
- Conclusions

INTRODUCTION

Les teneurs en nitrates des nappes phréatiques augmentent dans de nombreux pays en relation notamment avec l'intensification de l'agriculture (HENIN, 1980).

La gestion de l'azote devrait tenir compte (CHAPOT, DELPHIN, SCHENCK, 1990) **du milieu** (cartographie des risques d'entraînement des nitrates, ...), **de la culture** (-adaptation des objectifs de production (PLANTUREUX, GIRARDIN, FOUQUET, CHAPOT, 1991) selon les risques, - méthode du bilan prévisionnel de la fumure azotée, ...) (DELPHIN, CHAPOT, SCHOELLEN, 1991), **de l'interculture** (engrais verts, gestion des pailles, limitation du travail du sol,...) (CHAPOT, 1990).

L'installation d'un engrais vert (EV) pendant la période d'interculture peut représenter une technique de correction (REMY, 1981). L'engrais vert immobilise temporairement une partie de l'azote restant dans le sol, il consomme de l'eau, ce qui réduit le drainage et la lixiviation d'azote. Après enfouissement une partie de l'azote de l'engrais vert sera disponible pour la culture suivante (CHAPOT, 1990).

L'incidence de l'introduction d'un engrais vert (moutarde blanche) dans une succession blé-maïs sur les bilans d'eau et d'azote est étudiée à la Station I.N.R.A. de COLMAR sur lysimètres, pour deux types de sol.

On présente ici :

- l'effet d'un engrais vert introduit en 1988 après blé, sur les quantités d'eau drainées et d'azote lessivées au cours de la période de drainage 1988 - 89. Les résultats obtenus au cours du cycle précédent, 1986 - 87, ont été présentés au Colloque " Nitrates, Agriculture, Eau " (CHAPOT, 1990) et dans un précédent rapport à l' Agence de bassin Rhin Meuse (CHAPOT, 1990).

MATERIEL ET METHODES

Deux séries de 6 lysimètres (2 m x 2 m x 0,90 m de profondeur, plus 10 cm de couche drainante) sont remplies respectivement avec deux sols de type brun calcaire mais de texture différente. Il s'agit d'un limon loessique à texture limono-argileuse (LA) (horizon 0-30 cm : argiles 23 %, limons 68 %, MO 2,1 %, calcaire total 15 %). L'autre est un sol plus filtrant ; il s'agit d'un sol alluvial de la Basse Plaine du Rhin à texture sablo-argilo-limoneuse (SAL) (horizon 0-30 cm : argiles 16 %, limons 36 %, MO 1,9 %, calcaire total 20 %). Trois horizons de 30 cm ont été reconstitués. Le remplissage a été effectué après séchage, tamisage à 1 cm, en reconstituant la densité apparente sèche du sol en place. La mise en eau a été faite par ascension capillaire. Le dispositif a été homogénéisé par des cultures sans azote en 1984 (blé suivi d'une moutarde) et en 1985 (maïs). Des traitements différenciés sont conduits depuis 1986, blé suivi ou non d'une moutarde engrais vert en 1986, maïs 1987. Une deuxième succession, blé , suivi ou non d'une moutarde engrais vert, maïs a été conduite en 1988 et 1989.

En 1988, un blé ayant reçu 130 kg / ha d'azote a été récolté le 18 / 7 /1988. Les productions de grains secs du blé ont été respectivement de 63,6 qx / ha (cv=2,8%) sur le LA et de 72,2 qx / ha (cv= 2,0 %) sur le SAL. Les pailles ont été exportées.

Sur chaque série de lysimètres, 4 ont été semés avec une moutarde blanche (*Sinapis alba*) variété Carine, et 2 ont été laissés en sol nu. La moutarde a levé le 30 / 8 / 88. Pour simuler un reliquat d'azote, 55 kg / ha d'azote sous forme de KNO₃ ont été épandus sur les traitements engrais verts et sol nu, au semis de la moutarde. L'engrais vert a été enfoui le 12 / 12 / 88. Un maïs semé sur tous les lysimètres a levé le 17 / 05 / 89 ; il a reçu un apport de 180 kg / ha d'azote apporté pour moitié les 6 et 12 / 6 / 89 sous forme d'ammonitrate.

Le stock d'eau du sol a été déterminé à la sonde à neutrons, à la levée et à l'enfouissement de la moutarde. La biomasse et les prélèvements d'azote des parties aériennes de l'engrais vert ont été mesurés. Les quantités d'eau drainées et d'azote lessivées ont été suivies pendant la période de drainage, entre décembre 1988 et mai 1989. La pluviométrie est indiquée dans le tableau I.

Tableau I - Pluviométrie (en mm) à COLMAR entre Août 1988 et mai 1989

1988							1989			
A	S	O	N	D	D	J	F	M	A	M
30-31				1-12	13-31					1-11
0	73,2	87,2	12,5	53,0	11,6	5,8	55,4	15,5	121,4	3,5
levée				enfouissement						fin du drainage
30/08				12/12						11/05----

L'évapotranspiration réelle de la moutarde et l'évaporation du sol nu ont été calculées à partir de l'équation du bilan hydrique: $S = P + I - ETR + R - D$

RESULTATS ET DISCUSSION

A - DRAINAGE

1/ EFFET ENGRAIS VERT

Période levée-enfouissement

L'effet eau de la moutarde est égal à : ETR moutarde - Evaporation sol nu, soit 44 mm sur LA et 37 mm sur SAL. IL correspond à la différence de stock d'eau du sol entre moutarde et sol nu avant le début du drainage. Par rapport au traitement sol nu, la moutarde a réduit le stock d'eau du sol respectivement de 44 et 37 mm d'eau supplémentaire sur le LA et sur le SAL (tab. II).

Tableau II - Comparaison de l'ETR de la moutarde et de l'évaporation du sol nu sur les 2 types de sol.

	ETR moutarde mm	Evaporation sol nu mm	Effet eau de la moutarde mm
lysimètres LA	131	87	44
lysimètres SAL	121	84	37

La production de MS de la moutarde (parties aériennes + litière) est de 3,9 tonnes / ha de MS (cv = 2,5 %) sur le LA et de 3,8 tonnes / ha de MS (cv = 4,2 %) sur le SAL.

L'efficacité de l'eau pour produire une tonne de moutarde est de 33,6 mm / tonne de MS sur le LA et de 31,8 mm / tonne de MS sur le SAL. Par rapport à un traitement sol nu, chaque tonne de MS produite a réduit le stock d'eau du sol de 11,3 mm (44 mm / 3,9 t) sur le LA et de 9,7 mm (37 mm / 3,8 t) sur le SAL. L'efficacité de l'eau étant variable selon les conditions climatiques (PUECH *et al.*, 1976) ces chiffres ont une valeur dans le contexte de l'essai.

Période enfouissement - fin du drainage

Le drainage débute en décembre 1988 sur les traitements sol nu, et en mars sur les traitements EV, soit avec un retard de 56 mm sur le LA et de 50 mm sur le SAL, qui correspond assez bien à l'effet eau de l'EV à la date de l'enfouissement (tab.3).

Les quantités d'eau drainées sur l'ensemble de la saison sont :

- sur le LA, de 137 mm après sol nu et de 86 mm après EV, soit une différence de 51mm-
- sur le SAL, de 148 mm après sol nu et de 103 mm après EV, soit une différence de 45mm.

Pour chaque type de sol, les écarts correspondent assez bien à l'effet eau de l'EV lors de l'enfouissement. Les résultats sont cohérents. L'EV retarde le début du drainage, d'une quantité voisine de la différence de stock d'eau entre EV et sol nu avant le début du drainage. Ultérieurement, lorsque le drainage commence sur les traitements EV, les quantités qui percolent mensuellement sont comparables sur les traitements EV et SOL NU. Chaque tonne de MS produite a réduit le drainage de 13,0 mm sur le LA et de 11,7 mm sur le SAL.

2/ EFFET SOL

Après remplissage de la réserve en eau, lorsque le drainage est nettement établi, soit à partir de février 1989, les quantités d'eau qui percolent mensuellement sont voisines sur les deux sols. A l'échelle du mois, le fonctionnement hydrique des deux sols est très proche.

Les différences de quantités totales d'eau drainées entre les deux types de sols s'expliquent en partie par la plus faible capacité au champ du SAL. Les quantités maximales d'eau retenues après ressuyage (capacité au champ) sont de 300 mm sur le LA et de 250 mm sur le SAL (détermination à partir d'une série de profils hydriques à la sonde à neutrons). L'ETR des EV ayant été proche sur les deux sols, les différences de drainage observées, sont liées pour une part également aux écarts d'ETR du blé en 1988.

B- LIXIVIATION D'AZOTE

1/ EFFET ENGRAIS VERT

Les prélèvements d'azote des parties aériennes des EV sont de 65 kg / ha sur le LA et de 73 kg / ha sur le SAL soit 16,7 et 19,4 kg d'azote / tonne de MS.

Les quantités de N-NO3 lessivées pendant la période de percolation sont :

sur LA de 53 kg/ha après sol nu et de 2 kg/ha après EV

sur SAL de 91 kg/ha après sol nu et de 7 kg/ha après EV.

Dans les conditions de cette expérience, dans laquelle on a simulé un reliquat d'azote relativement important, l'engrais vert a permis de réduire le lessivage d'azote exprimé en N-NO₃ de 51 kg / ha sur LA et de 84 kg / ha sur SAL. SIMON et Le CORRE, 1988, ont montré en Bretagne l'efficacité d'une culture de Ray grass d'Italie intercalée entre deux cultures de maïs. La lixiviation d'azote est en moyenne de 96 kg / ha d'azote, dans une monoculture de maïs recevant une fumure de 120 kg / ha. d'azote. Elle est en moyenne de 45 kg / ha d'azote dans une succession Maïs-Ray grass d'Italie (en dérobé) - Maïs recevant 180 kg / ha. d'azote. BONIFACE, 1981, TRIBOI et GACHON, 1985, respectivement sur les lysimètres de Versailles et de Theix, ont montré que l'occupation maximale du sol conduit aux pertes les moins élevées.

La lixiviation d'azote est très faible après engrais verts.. Seuls les horizons inférieurs du profil ont été drainés. Les faibles teneurs en N-NO₃ des eaux drainées en mars, avril, mai, sur les traitements engrais verts indiquent qu'il restait peu d'azote lessivable dans les horizons inférieurs des lysimètres.

Ces faibles teneurs permettent d'indiquer que s'il y a eu libération d'azote par minéralisation de l'EV au printemps 1989, cet azote n'a pas été lessivé.

La lixiviation d'azote est élevée sur les traitements sol nu. Elle correspond pour partie au reliquat d'azote éventuel après blé, à un apport de 55 kg / ha d'azote au semis de l'EV et à la minéralisation d'azote endogène après blé. Nous avons pu montrer en plein champ, sur le sol correspondant au LA que la minéralisation estivale d'azote endogène après récolte d'un blé, était de l'ordre de 60 kg / ha (CHAPOT, 1987).

L'EV réduit la concentration en azote de la solution drainée. Cette dernière passe en moyenne de 35 à 3 mg / l de N-NO₃ sur le LA et de 61 à 7 mg / l de N-NO₃ sur le SAL. On ne peut comme pour le drainage relier "effet précédent" (immobilisation d'azote par l'EV) et "effet suivant" car d'une part on ne mesure que partiellement "l'effet précédent" azote de l'EV (on mesure l'immobilisation d'azote par les parties aériennes, on ne mesure pas l'immobilisation d'azote au niveau du système sol racines) et d'autre part, les profils d'azote minéral sont lixiviés de façon partielle et différente sur les traitements EV et SOL NU.

Drainage exprimé en % de la réserve utile

	LA	SAL
EV	86 / 190 = 45 %	103 / 144 = 72 %
SOL NU	137 / 190 = 72 %	148 / 144 = 103 %

L'examen de *l'évolution des concentrations en nitrates* sur les traitements sol nu montre sur le SAL que la teneur de l'eau drainée croît jusqu'en avril et diminue en mai. On peut émettre l'hypothèse que la lame d'eau la plus concentrée, correspondant à l'horizon de surface en début de drainage (décembre 1988), a été lessivée en avril 1989. On peut remarquer que la concentration passe par un maximum lorsque l'équivalent d'une RU a été drainée. Sur le LA par contre, la teneur en azote de l'eau ne passe pas par un maximum. On peut supposer qu'en fond de lysimètre, une lame d'eau à forte concentration en azote, n'a pas été lessivée.

2/ EFFET SOL

La *lixiviation d'azote est plus élevée sur le SAL*, notamment parce que la capacité au champ (CC) et la réserve utile (RU) sont plus faibles, d'où un drainage proportionnellement plus élevé de la réserve en eau et une plus forte proportion de l'azote contenu dans le profil qui est lessivé.

Ce lessivage d'azote plus élevé sur le SAL peut s'expliquer pour une part également par une minéralisation d'azote endogène supérieure sur ce sol. Les prélèvements d'azote cumulés des cultures conduites sans azote en 1984 et 1985 sont de 442 kg / ha d'azote sur le LA et de 589 kg / ha d'azote sur le SAL. Les prélèvements d'azote des cultures ont toujours été supérieurs sur ce sol. La minéralisation d'azote endogène est supérieure sur le SAL, alors que la teneur en matière organique est moins élevée que sur le LA. La plus faible teneur en argile de ce sol peut expliquer en partie ce résultat (DELPHIN, 1986).

On peut également attribuer une partie des différences observées entre les deux sols, aux phénomènes de dispersion hydrodynamique, variables selon la porosité. (MORISOT, 1980).

CONCLUSIONS

L'incidence d'un EV sur la réduction de la lixiviation d'azote dépend:

- d'un effet propre de l'EV ("effet précédent") pendant sa période de croissance - azote immobilisé; ETR (fonction de la biomasse produite et des conditions climatiques de l'année)- qui va réduire le drainage et la concentration en azote de la solution drainée.
- des conditions du milieu après enfouissement ("l'effet suivant " correspond à l'expression de " l'effet précédent " selon les conditions du milieu) qui vont déterminer la proportion de la réserve en eau drainée (fonction du bilan climatique : Pluie - ETR, et de la capacité de rétention en eau du sol). Les caractéristiques de la porosité du sol ont également une influence importante sur les transferts d'azote.

Drainage. La mesure de l'effet précédent eau de l'engrais vert (différence de stock d'eau du sol entre EV et SOL NU avant le début du drainage) permet d'estimer l'effet suivant (réduction du drainage liée à l'EV).

Lixiviation d'azote. On ne peut comme pour le drainage relier "effet précédent " et "effet suivant " car d'une part on ne mesure que partiellement l' "effet précédent" azote de l'EV et d'autre part les profils d'azote minéral sont lixiviés de façon partielle et différente sur les traitements EV et SOL NU.

Les différences de rétention en eau des sols expliquent les écarts de drainage et pour une grande part les variations de lixiviation d'azote.

L'étude montre l'efficacité de l'introduction d'un EV pendant les périodes d'intercultures longues.

Pour établir des cartes de risques de lixiviation d'azote, les différences de capacité de rétention en eau des sols, sont l'un des principaux critères à prendre en compte.

BIBLIOGRAPHIE

- BONIFACE R., 1981. Le lessivage des nitrates en zone agricole. *In* : L'eau, la recherche, l'environnement. 4èmes Journées scientifiques et techniques. Ministère de l'Environnement. Paris 13-15 Octobre 1981, 89-114.
- CHAPOT J-Y, 1987. Prélèvements d'azote de différentes espèces d'engrais verts. Estimation sur lysimètres de l'incidence d'un engrais vert sur la réduction du lessivage des nitrates. Journée d'étude : Nitrates et Engrais verts. CORPEN, COMIFER. Paris 15 décembre 1987, 13 p.
- CHAPOT J-Y, 1988. Incidence de l'introduction d'engrais verts dans une rotation blé- maïs sur les flux d'azote et d'eau. Résultats obtenus sur cases lysimétriques et au champ. Rapport de fin de contrat: Agence de l'eau Rhin Meuse; Ministère de l'environnement. 36 p.
- CHAPOT J-Y, 1990 .Estimation sur lysimètres de l'incidence de l'introduction d'un engrais vert, dans une rotation blé maïs sur la lixiviation des nitrates. Colloque Nitrates, Agriculture, Eau. Paris 7-8 novembre 1990, 411-416.
- CHAPOT J-Y, 1990. The fate of nitrogen (15N) derived from white mustard green manure in a lysimeter study. Congress of European Society of Agronomy. Paris 5-7 December 1990, 2 p.
- CHAPOT J-Y, 1990. Azote, la juste dose. Prendre en compte le milieu, la culture, l'interculture. Cultivar Août 1990, 35-36.
- CHAPOT J-Y., DELPHIN J-E., SCHENCK C., 1990. Pollution des eaux par les nitrates et pratiques culturales..Colloque A.P.C.A., Paris 8 novembre 1990, 5p.
- DELPHIN J-E., 1986. Evaluation du pouvoir minéralisateur des sols agricoles en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques. *Agronomie*, 6 (5), 453-458.
- DELPHIN J-E , CHAPOT J-Y., SCHOELLEN A., 1991. Relation entre le pouvoir minéralisateur des sols et la minéralisation nette de l'azote au champ. *Agronomie* 11 (6) (à paraître).
- HENIN S., 1980. Rapport du groupe de travail "Activités agricoles et qualité des eaux". Ministère de l'Agriculture et de l'environnement, 60p.
- MORISOT A., 1980. Déplacement avec mélange des nitrates dans un matériau de porosité bimodale. *Ann. Agro.* 31(1), 1-17.
- PLANTUREUX S., GIRARDIN P., FOUQUET D., CHAPOT J-Y., 1991. Evaluation et analyse de sensibilité du modèle CERES-Maize en conditions alsaciennes. *Agronomie* 11, 1-8.
- PUECH J., MARTY J-R., MAERTENS C., 1976. Efficience de l'eau consommée par divers végétaux et application à la valorisation de l'irrigation. *B.T.I.*, n° 306, Ministère de l'Agriculture, 41-53.
- REMY J-C., 1981. Moyens à mettre en oeuvre au niveau de la production végétale. *In* : L'eau, la recherche, l'environnement. 4èmes Journées scientifiques et techniques. Ministère de l'Environnement. Paris 13-15, Oct. 1981, 123-133.
- SIMON J-C., Le CORRE L., 1988. Lessivage d'azote en monoculture de maïs, en sol granitique du Finistère. *Fourrages* (114), 193-207.
- TRIBOI E., GACHON L., 1985. Transfert des nitrates dans le sol en relation avec le système de culture. Devenir de l'azote minéral apporté comme engrais. *In* : Nitrates dans les eaux. Paris, 22-24 Oct. 1985, 15 p.

Tableau III - LYSIMETRES - Période de drainage suivant engrais vert et sol nu, sur 2 types de sols. Décembre 1988 - Mai 1989. Quantités d'eau drainée (mm) et d'azote lessivé (N-NO₃ kg/ha), teneurs en N-NO₃ (mg/l).

	LIMON ARGILEUX						SABLE ARGILO-LIMONEUX					
	Engrais vert			Sol nu			Engrais vert			Sol nu		
	Eau mm	N-NO ₃ kg/ha	N-NO ₃ mg/l	Eau mm	N-NO ₃ kg/ha	N-NO ₃ mg/l	Eau mm	N-NO ₃ kg/ha	N-NO ₃ mg/l	Eau mm	N-NO ₃ kg/ha	N-NO ₃ mg/l
DECEMBRE				24.8	1.1	4.4				31.9	9.3	29.1
FEVRIER				27.9	3.3	11.7	7.4	0.5	6.3	25.7	14.7	57.1
MARS	9.4	0.2	2.0	12.8	4.5	35.6	15.4	0.5	3.3	15.6	11.2	71.6
AVRIL	68.9	1.9	2.7	64.9	40.2	61.9	70.9	5.0	7.1	65.8	51.0	77.5
MAI	7.7	0.4	4.8	6.4	3.9	61.2	9.3	1.2	12.8	8.6	5.2	60.8
TOTAL	86	2		137	53		103	7		148	91	
C.V.	5			6	2		8			3	4	
Moyenne			2.8			35.0			7.0			61.1

C.V. Coefficient de variation % - Coefficient of variation %