

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
LABORATOIRE D'AGRONOMIE
28 rue de Herrlisheim - 68021 COLMAR



n°

17717

**INCIDENCE DE L'INTRODUCTION D'UNE CULTURE INTERCALAIRE
ENTRE BLE ET MAIS SUR LES FLUX D'AZOTE ET D'EAU
ETUDE SUR LYSIMETRES, POUR DEUX TYPES DE SOLS**

J-Y.CHAPOT

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

Compte rendu d'une recherche financée par :

- Le Ministère de l'Environnement
- L'Agence de l'Eau Rhin-Meuse

Avril 1993

	SOMMAIRE	page
INTRODUCI'ION		1
MATERIEL ET METHODES		2
RESULTATS ET DISCUSSION		4
1 - INCIDENCE D'UNE CPN (CULTURE PIEGES A NITRATES) SUR LE BILAN HYDRIQUE		
A - EFFET D'UNE CPN PAR RAPPORT A UN SOL NU		
1. "Effet précédent" eau de la CPN par rapport à un SOL NU		
2. Relation entre "l'effet précédent" eau de la CPN et l'effet sur la période de drainage suivante		
3. Comparaison avec les résultats expérimentaux		
4. Comparaison des cinétiques de drainage entre CPN et SOL NU		5
5. Bilan pour les 3 cycles de la réduction du drainage entre CPN et SOL NU		
6. Relation entre ETR et biomasse produite		6
B - INFLUENCE DE LA RESERVE HYDRIQUE DES SOLS SUR LE DRAINAGE		7
C - RELATION MOYENNE ENTRE (PLUVZOMETZUE + IRRIGATION) ET DRAINAGE		
II - INCIDENCE D'UNE CPN SUR LE BILAN D'AZOTE		
A - ZNCZDENCE DE LA CPN SUR LA LZXZVZATZON D'AZOTE		8
1. Effet propre de la CPN sur la lixiviation d'azote		
2. Comparaison de la lixiviation d'azote suivant CPN et SOL NU		
3. Relation entre l'effet précédent azote de la CPN et l'effet sur la période de lixiviation d'azote suivante		9
B - ZNCZDENCE DE LA CPN SUR LES PRELEVEMENTS D'AWTE DE LA CULTURE SUZVANTE		10
1. Effet azote de la CPN sur le maïs suivant		
2. Comparaison de la récupération d'azote par le maïs suivant CPN et SOL NU		11
CONCLUSIONS		12
BIBLIOGRAPHIE		20

Les teneurs en nitrates des nappes phréatiques augmentent notamment dans les Pays de la CEE. Cette pollution est pour partie liée à l'intensification de l'agriculture, et en particulier à la lixiviation des nitrates d'origine diffuse (HENIN, 1980).

Une gestion intégrée de l'azote (CHAPOT, 1990) devrait tenir compte :

- du milieu (**cartographie** des risques de lixiviation d'azote compte tenu des **caractéristiques** du sol et de l'excédent climatique, fourniture d'azote par la matière organique stable, . . .);
- de la culture (adaptation des objectifs de production selon les risques, estimation des postes du bilan de l'azote... (REMY, VIAUX, 1983) ;
- de l'interculture (installation de cultures intermédiaires jouant le rôle de culture pièges à nitrates (CPN), gestion des pailles (MARY, 1987).

L'installation d'une culture pièges à nitrates (CPN) pendant la période d'interculture correspond à une technique curative (REMY, 1981). Son efficacité sera variable selon les risques de lixiviation, les successions de cultures (durée et époque de la période d'interculture) et les conditions de croissance hivernale (CHAPOT, 1987), (CHAPOT, 1989)

La CPN immobilise temporairement sous forme organique, l'azote minéral restant dans le sol, elle consomme de l'eau, le drainage et la lixiviation d'azote sont réduits. Après enfouissement une partie de l'azote de la CPN sera disponible pour la culture suivante (CHAPOT, 1990), (CHAPOT, 1992).

Afin d'étudier l'influence de l'introduction d'une culture pièges à nitrates dans une succession blé - maïs, sur les bilans d'eau et d'azote, un dispositif de 12 lysimètres, comprenant 2 types de sols, a été mis en place au Laboratoire d'Agronomie à 1' INRA COLMAR, avec la participation financière de l'Agence de l'Eau Rhin Meuse et du Ministère de l'Environnement.

Ce dispositif a été construit en 1983, homogénéisé par des cultures sans azote en 1984 et 1985. Trois successions blé - maïs et blé - moutarde blanche - maïs s'y sont succédées entre 1986 et 1992 (CPN en 1986, 1988, 1990). Les résultats des deux premiers cycles ont donné lieu à des rapports en décembre 1988 et janvier 1991. On présente ici les résultats des 3 cycles étudiés. Les résultats et les réflexions issues notamment de ce dispositif ont donné lieu à diverses publications mentionnant la participation de l'Agence de l'Eau Rhin Meuse et du Ministère de l'Environnement (cf. bibliographie).

MATERIEL ET METHODES

Les deux séries de six lysimètres (2 m x 2 m x 0,90 m de profondeur) sont remplis respectivement avec deux sols de type brun calcaire, de texture différente. L'un est 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 alluvial de la Basse Plaine du Rhin, à texture plus grossière. Il s'agit d'un sable argilo limoneux (**SAL**) (horizon 0-30 cm : argiles 16 %, limons 36 %, MO 1,9 %, calcaire total 20 %). Trois horizons de 30 cm ont été reconstitués après séchage, tamisage à un centimètre, en reconstituant la densité apparente sèche du sol en place. La mise en eau a été réalisée 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 blanche- maïs. Trois successions de cultures se sont succédées entre 1986 et août 1992.

- Répartition des traitements CPN et SOL NU sur les lysimètres

Afin de limiter les biais liés à des effets cumulatifs éventuels, les traitements CPN et SOL NU comparés respectivement au cycle 2 et 3 (*) avaient au cycle 1 et 2 le même précédent.

- Répartition des traitements CPN et SOL NU sur lysimètres (B=blé, M=maïs)

		1986		87	88	89	90	91	92	
C1	c4	B	CPN	M	B*SOL NU	M	B	M	CPN	B
c2 c5		CPN		*CPN		*SOL NU		*SOL NU		
C3 C6		SOL NU		CPN		*CPN		*CPN		

- Variétés Blé: Fidel Maïs : Dea Moutarde blanche: Carine

- Apport d'azote N = azote en kg/ha

Blé	1986	130N	1988	130	N	1990	130	N
Maïs	1987	70N	1989	180	N	1991	140	N
Moutarde et Sol Nu	1986	70N	1988	55	N	1990	45	N

Les prélèvements et les pertes d'azote sont en relation avec le niveau des apports.

Un apport d'azote a été effectué après blé pour simuler un reliquat significatif. L'effet sur le bilan d'eau et d'azote de la CPN a été comparé à celui d'un sol nu, dans des conditions de reliquat azoté relativement élevé.

- Levée de la moutarde 25/08/86 ; 30/08/88 ; 27/08/90
- Enfouissement de la moutarde 22/12/86 ; 12/12/88 ; 17/01/91

Les pailles de blé ont été exportées afin d'étudier l'effet propre de la CPN sur l'immobilisation d'azote. Les cannes de maïs ont été enfouies.

Une irrigation a été apportée pour la mise en place de la CPN, et pour la culture du maïs.

Irrigation (mm)						
CPN	1986	Omm,	1988	10 mm,	1990	27 mm
Maïs	1987	80 mm,	1989	127 mm,	1991	137 mm

La pluviométrie et l'irrigation annuelle au cours des 7 années d'essais sont indiquées dans le tableau suivant :

Pluviométrie et irrigation (mm)							
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
P	649	662	643	570	560	358	451
I	0	80	10	127	71	137	5
TOTAL	649	742	653	697	631	495	456

A signaler, un orage de grêle sur blé le 19/06/90 au stade laiteux pâteux. Nous avons déterminé les prélèvements d'azote des parties aériennes restant sur pieds et des grains et **glumes** tombes au sol (prélèvement à l'aspirateur, suivi d'un tri). Les prélèvements d'azote du blé ayant été interrompus, ils sont relativement faibles, d'où probablement un reliquat d'azote après blé relativement important Ceci semble confirme par les prélèvements d'azote élevés de la culture de moutarde suivante, équivalents à ceux de 1986 alors que l'apport d'azote après blé a été plus faible (70 N en 1986, 45 N en 1990).

- Irrigation du maïs en juin 1991 (100 mm)

En absence de drainage sur les traitements suivant la moutarde en juin 1991, la comparaison des prélèvements d'azote du maïs suivant les traitements SOL NU et CPN allait être la résultante d'un effet eau plus un effet azote.

Une irrigation de 100 mm, en début de culture du maïs a permis de supprimer l'effet eau pour n'étudier que l'effet azote des 2 traitements (humidité à la capacité au champ après irrigation).

Mesures effectuées: drainage et concentration en NO₃ de l'eau de drainage, production de MS, production de grains, prélèvements d'azote.

RESULTATS ET DISCUSSION

I - INCIDENCE D'UNE CPN SUR LE BILAN HYDRIQUE

(CHAPOT, 1990 - CHAPOT 1992)

A - EFFET D'UNE CPN PAR RAPPORT A UN SOL NU

L'incidence d'une CPN sur le bilan d'eau est exprimé relativement au traitement SOL NU qu'elle remplace. La CPN consomme une quantité d'eau supplémentaire par rapport au SOL NU. L'effet d'une CPN sur le bilan hydrique est analysé en deux étapes, l'effet précédent eau et l'effet eau sur la période de drainage suivante.

a. "Effet précédent" eau de la CPN par rapport à un SOL NU.

Il correspond à la différence de "consommation" d'eau entre CPN et SOL NU pendant la période de croissance de la CPN. Dans les conditions de l'Est de la France la croissance de la CPN s'arrête en moyenne début novembre:

$$\text{ETR CPN} - \text{EVAP SOL NU} = S_{CPN} - S_{SOL NU}$$

ETR Evapotranspiration réelle

EVAP Evaporation du SOL NU

S Stock d'eau du sol à la fin de la croissance de la CPN

b. Relation entre "l'effet précédent" eau de la CPN et l'effet eau sur la période de drainage suivante.

D'après l'équation du bilan hydrique:

$$\text{ETR CPN} - \text{EVAP SOL NU} = S_{CPN} - S_{SOL NU} = D_{CPN} - D_{SOL NU} \text{ si } D_{CPN} > 0$$

La réduction du drainage est estimée et peut être prévue à partir de la mesure de l'effet précédent eau de la CPN, notamment par la mesure des différences de stock d'eau du sol entre CPN et SOL NU en fin de croissance de la CPN.

c. Comparaison avec les résultats expérimentaux.

Pour illustrer ces relations nous prendrons l'exemple des deux premiers cycles.

Relation entre ETR CPN - EVAP SOL NU et D CPN - D SOL NU

au cours des 2 premiers cycles

	ETR CPN	EVAP SOL NU	Ecart	D SOL NU	D CPN	Ecart
1986-87	LA 160	69	91	144	56	88
	SAL 166	68	98	163	71	92
1988-89	LA 131	87	44	137	86	51
	SAL 121	84	37	148	103	45

Pour chaque type de sol les résultats expérimentaux sont cohérents. Il existe une bonne correspondance entre effet précédent eau et réduction du drainage. La réduction du drainage provoquée par la CPN peut être prévue à partir de la mesure de la différence de stock d'eau du sol entre CPN et SOL NU en fin de croissance de la CPN.

d. Comparaison des cinétiques de drainage entre CPN et SOL NU

Si l'on compare les cinétiques de drainage entre CPN et SOL NU on observe que la CPN retarde le début du drainage par rapport au SOL NU d'une quantité proche de l'écart de stock d'eau du sol entre CPN et SOL NU en fin de croissance de la CPN.

Lors du premier cycle, le drainage commence en janvier 1987 sur les traitements SOL NU et en mai sur les traitements CPN, soit avec un retard équivalent à 86 mm de drainage sur le LA et à 88 mm sur le SAL.

Lors du second cycle, le drainage débute en décembre 1988 sur les traitements SOL NU et en mars sur les traitements CPN, soit avec un retard équivalent à 56 mm de drainage sur le LA et à 50 mm sur le SAL.

Ultérieurement lorsque le drainage est nettement établi sur les traitements CPN, les quantités d'eau qui percolent mensuellement sont comparables sur les traitements CPN et SOL NU.

e. Bilan pour les 3 cycles de la réduction du drainage entre CPN et SOL NU.

Pour l'ensemble des 3 cycles, soit pour les 6 périodes de drainage correspondantes, la réduction du drainage entre CPN et SOL NU est de 190 mm sur le LA et de 247 mm sur le SAL.

$$I A \quad D_{CPN} - D_{SOL\ NU} = 637 - 447 = 190 \text{ mm}$$

$$S A L \quad D_{CPN} - D_{SOL\ NU} = 772 - 525 = 247 \text{ mm}$$

Si on considère les 3 périodes de drainage suivant les traitements CPN et SOL NU, la réduction du drainage entre CPN et SOL NU correspond respectivement sur le LA à 202 mm et sur le SAL à 210 mm.

		1986-87	1988-89	1990-91.	
LA	D SOL NU	144	137	63	
	D CPN	56	86	0,2	
SAL		88	51	63	Total 202 mm
	D SOL NU	163	148	74	
	D CPN	71	103	1	
		92	45	73	Total 210 mm

Les écarts de drainage entre CPN et SOL NU mesurés respectivement sur 3 et 6 cycles sont du même ordre de grandeur. La réduction du drainage entre CPN et SOL NU au cours des 6 années d'expérimentation correspond pour l'essentiel à la consommation d'eau supplémentaire des 3 CPN.

Par rapport au traitement SOL NU, la réduction du drainage liée à la CPN est de l'ordre de 30 % sur chaque sol.

$$\text{LA} \quad (D_{\text{SOL NU}} - D_{\text{CPN}}) / D_{\text{SOL NU}} = 190 / 637 = 29,8 \%$$

$$\text{SAL} \quad = 247 / 772 = 32,0 \%$$

f. Relation entre ETR et biomasse produite.

La réduction du drainage est liée à la consommation d'eau de la CPN. Parmi les facteurs influençant la consommation d'eau des cultures, la biomasse produite est le principal d'entre eux. On a dans un certain nombre de situation sur l'ensemble du cycle végétatif, une relation linéaire entre MS produite et ETR (PUECH, 1976).

Le coefficient transpiratoire correspond à la consommation d'eau d'une culture par unité de biomasse produite (mm d'eau / tonne de MS). La CPN remplaçant un SOL NU on exprime la quantité d'eau supplémentaire consommée par la CPN par rapport à un SOL NU, par unité de biomasse produite : $\text{ETR}_{\text{CPN}} - \text{EVAP}_{\text{SOL NU}}$

Biomasse

Le terme ETR **CPN** - EVAP **SOL NU** peut être estimé à partir de la différence de drainage.

Variabilité du rapport

$\text{ETR}_{\text{CPN}} - \text{EVAP}_{\text{SOL NU}}$

Biomasse

au cours des 3 années et sur les 2 sols.

		1986	1988	1990
LA	$D_{\text{SNU}} - D_{\text{CPN}}$	144-56	137 - 86	63 - 0,2
	MS tonnes/ha	6,5	3,9	5,2
	mm / tonne MSa	13,5	13,1	12,2
SAL	$D_{\text{SNU}} - D_{\text{CPN}}$	163 - 71	148 - 103	74 - 1
	MS tonnes/ha	6,8	3,8	5,3
	mm / tonne MS	13,5	11,9	13,9

La production d'une tonne de MS correspond à une consommation d'eau supplémentaire de 13 mm par rapport à un sol nu. Les 6 valeurs mesurées (3 années, 2 sols) présentent une faible variabilité (CV = 6,2 %), sans effet de l'année ni du sol.

On peut donc considérer, dans les conditions climatiques du Nord-Est de la France, pour une période de croissance des CPN comprise entre la fin août et le début novembre, et pour des niveaux de production variant entre 3,8 et 6,8 tonnes de MS/ha, que la consommation d'eau supplémentaire d'une CPN par rapport à un SOL NU est relativement constante et de l'ordre de 13 mm / tonne de MS.

B - INFLUENCE DE LA RESERVE HYDRIQUE DES SOLS SUR LE DRAINAGE

Les quantités **cummulées** d'eau drainées au cours des six périodes de drainage sur les traitements SOL NU des 2 types de sols différent de 135 mm (SAL : 772 mm, LA = 637 mm). La production de MS **cummulée** sur 6 années, des traitements SOL NU est proche sur les 2 types de sol. Les ETR sont donc comparables sur les 2 sols. Aussi les écarts de drainage entre les 2 sols s'expliquent principalement par des différences de capacité de retention en eau. La capacité au champ, déterminée à partir d'une série de profils hydriques à la sonde à neutrons est de 300 mm sur la LA et de 250 mm sur le SAL soit un écart de 20 % ($300 / 250 = 1,2$). Globalement le drainage, inférieure de 17 % sur le LA ($637 / 772 = 83\%$) s'explique par une capacité au champ supérieure de 20 % sur ce sol.

C - RELATION MOYENNE ENTRE (PLUVIOMETRIE + IRRIGATION) ET DRAINAGE

Les apports hydriques (pluviométrie + irrigation) annuels moyens sur 6 ans sont de 645 mm (CV = 13 %). L'irrigation annuelle moyenne représente 71 mm (CV = 81 %). Le drainage annuel moyen est respectivement de 106 mm (CV = 62 %) sur le LA et de 129 mm (CV = 46 %) sur le SAL. Il correspond en moyenne à 16,4 % des apports sur le LA et à 20 % des apports sur le SAL.

II - INCIDENCE D'UNE CPN SUR LE BILAN D'AZOTE (CHAPOT 1990), (CHAPOT 1992)

Une CPN va immobiliser tout ou partie de l'azote minéral disponible selon la quantité d'azote concernée et les conditions de croissance (durée, pluviométrie, température...). Les 3 CPN installées en 1986, 1988 et 1990 ont reçu un apport d'azote après blé pour simuler un reliquat significatif soit respectivement 70, 55 et 45 kg/ha d'azote. Les prélèvements d'azote des parties aériennes des CPN ont été respectivement de 72, 65 et 73 kg/ha sur le LA et de 80, 73, 80 kg/ha sur le SAL. Pour les 3 cycles, l'azote immobilisé par les parties aériennes des CPN a été sur le LA de 210 kg/ha et sur le SAL de 233 kg/ha. L'azote immobilisé comprend en plus l'azote prélevé par les racines et l'azote immobilisé dans la rhizosphère sous forme microbienne.

L'azote immobilisé par la CPN aura 2 effets sur le bilan d'azote ultérieur :

1. une réduction de la lixiviation d'azote au cours de la période de drainage suivante ;
2. une récupération partielle par la culture suivante de l'azote de la CPN.

A - INCIDENCE DE LA CPN SUR LA LIXIVIATION D'AZOTE

On distinguera l'effet propre de la CPN sur la lixiviation d'azote au cours de la période de drainage suivante et la comparaison de l'effet de la CPN sur la lixiviation d'azote par rapport à un SOL NU.

1. Effet propre de la CPN sur la lixiviation d'azote

Sur le LA la lixiviation d'azote au cours des **périodes** de drainage suivant les 3 CPN est respectivement de **1, 2 et 0,01 kg/ha** soit **3 kg/ha** pour les 3 cycles. Le drainage au cours des 3 cycles correspondant est de 142 mm et la concentration moyenne en NO₃ de **9,3 mg/l**.

Sur le SAL, la lixiviation d'azote au cours des périodes de drainage suivant les 3 CPN est respectivement de **10, 7 et 0,2 kg/ha** soit **17,2 kg/ha** pour les 3 cycles. Le drainage au cours des 3 cycles correspondant est de 175 mm et la concentration moyenne en NO₃ de **43,5 mg/l**.

La lixiviation d'azote, au cours de la deuxième période de drainage suivant la CPN (après maïs) est indépendante de la CPN puisqu'elle est du même ordre sur SOL NU et CPN dans 5 cas sur 6.

Ces résultats montrent clairement au' une CPN est efficace dans des conditions où le reliquat azoté est relativement élevé.

2. Comparaison de la lixiviation d'azote suivant CPN et SOL NU.

Les différences de lixiviation d'azote entre CPN et SOL NU au cours des 3 périodes de drainage suivant les CPN sont sur le LA : $120 - 3 = 117 \text{ kg/ha}$ et sur le SAL : $238 - 17 = 221 \text{ kg/ha}$.

Comparaison de la lixiviation d'azote après CPN et SOL NU

		1986-87	1988-89	1990-91	6 périodes de drainage
LA	CPN	1	2	0	9
	SOL NU	60	53	7	128
SAL		59	51	7	119
	CPN	10	7	0,2	56
	SOL NU	118	91	29	307
		108	84	29	251

Nous distinguerons deux notions, d'une part l'efficacité de la CPN et d'autre part l'utilité de la CPN. Une CPN suffisamment développée par rapport à l'azote disponible est efficace. La différence d'effet entre CPN et SOL NU dépend principalement du SOL NU. Plus le profil d'azote du SOL NU est lixivié, plus l'utilité de la CPN est grande (cas où la pluviométrie est élevée et la réserve en eau du sol faible).

Variabilité du rapport **Drainage/Capacité** au champ entre les traitements CPN et SOL NU et entre les 2 sols (en %)

		1986-87	1988-89	1990-91	6 périodes de drainage
LA	CPN	18,7	28,7	0,0	149
	SOL NU	48,0	45,7	21,0	212
SAL	CPN	28,4	41,2	0,0	210
	SOL NU	65,2	59,2	29,6	309

La teneur en eau à la capacité au champ est sur le LA de 300 mm et sur le SAL de 250 mm. Le SAL est proportionnellement plus drainé (SAL D/CC = 309 %) que le LA (LA D/CC = 212 %) ce qui explique pour une grande part une lixiviation d'azote plus élevée sur le SAL d'où une utilité plus grande de la CPN sur ce sol. La lixiviation d'azote plus élevée sur le SAL s'explique également, mais pour une plus faible part, par la minéralisation d'azote endogène qui est un peu plus élevée sur ce sol. La somme des prélevements d'azote des parties aériennes et des pertes d'azote par lixiviation est un peu supérieure sur le SAL (SAL: 1369 kg/ha, LA: 1206 kg/ha). La minéralisation d'azote endogène est supérieure sur le SAL alors que la teneur en matière organique est moins élevée. La plus faible teneur en argile de ce sol peut expliquer en partie ce résultat (DELPHIN et al., 1991).

3. Relation entre l'effet précédent azote de la CPN et l'effet sur la période de lixiviation d'azote suivante

- Effet précédent azote de la CPN par rapport à un SOL NU :

$$Nm_{SOL\ NU} - Nm_{CPN}$$

(Nm = quantité Nminéral en fin de période de prélevement des CPN)

- Relation entre l'effet précédent azote et l'effet sur la période de lixiviation d'azote suivante :

Si les profils d'azote minéral de la CPN et du SOL NU sont entièrement lixivierés on a :

$$Nm_{SOL\ NU} - Nm_{CPN} = N_{lixivié\ SOL\ NU} - N_{lixivié\ CPN}$$

Mais dans la plupart des cas, les profils sont lixivierés partiellement et dans des proportions différentes sur les 2 traitements. Aussi ne peut-on comme pour l'eau relier directement effet précédent et effet suivant, il faut dans le cas de l'azote estimer le pourcentage de lixiviation de chaque profil.

B - INCIDENCE DE LA CPN SUR LES PRELEVEMENTS D'AZOTE DE LA CULTURE SUIVANTE

La minéralisation de la CPN fournit de l'azote au maïs suivant. Il n'y a pas d'effet azote significatif sur la culture (n + 2) (blé). Les prélevements d'azote du blé sont quasiment identiques sur les traitements CPN et SOL NU.

Comparaison des prélevements d'azote du blé suivant CPN et SOL NU, sur les 2 sols (kg/ha)

		Blé 88	Blé 90	Blé 92	
LA	CPN	119	100	136	355
	SOL NU	123	101	145	369
SAL	CPN	134	125	153	412
	SOL NU	139	119	155	413

On analysera l'effet azote de la CPN sur le maïs en distinguant d'une part l'effet propre de la CPN, correspondant à l'azote de la CPN récupérée pour le maïs et d'autre part en comparant la récupération d'azote par le maïs suivant CPN et SOL NU.

L'effet propre de la CPN est abordé à partir d'une moutarde marquée avec 15 N. La comparaison de la récupération d'azote par le maïs suivant CPN et SOL NU est la résultante de l'effet azote propre de la CPN et de l'effet du **millieu**.

1. Effet azote de la CPN sur le maïs suivant

Une moutarde marquée avec 15 N a été enfouie sur 2 lysimètres en 1986, sur le LA. Cette moutarde a été cultivée sur le même sol, à proximité des lysimètres. Elle a reçu 70 kg/ha d'azote ayant un excès isotopique de 25,68 %. La moutarde a récupéré 47,4 % de cet apport d'azote.

Lors de l'enfouissement le 18/12/1986, la moutarde 14 N produite sur lysimètres, dans les mêmes conditions, a été remplacée par la moutarde 15 N (tiges + feuilles + racines 0-25 cm). La dénitritification a été estimée sous maïs 1987 (BISCHOPINCK *et al.*, 1990) à partir de mesures mensuelles de janvier à août par la technique d'inhibition à l'acétylène (RYDEN *et al.*, 1978). Il ressort que (CHAPOT, 1990) :

- 28,7 % de l'azote de la moutarde a été prélevé par le maïs 1987
- 2,8 % " " " par le blé 1988
- 1% " " " dénitritifié sous maïs 1987
- 0% " " " lixivié

Les résultats obtenus sur les 2 lysimètres sont homogènes :

- Maïs : lysimètre 1 : 28,2 % , lysimètre 4 : 29,3 %
- Blé : lysimètre 1 : 2,75 % , lysimètre 4 : 2,98 %

La récupération de 15 N par le maïs a été déterminée sur les parties aériennes et les racines (0-25 cm). Afin de mesurer sur blé la quantité de 15 N provenant de la moutarde, les carmes de maïs et le bol racinaire 0-25 cm marqués avec 15 N ont été remplacées par une quantité équivalente de maïs 14 N cultivé à l'extérieur des lysimètres sur le même sol et dans les mêmes conditions.

Il n'y a pas eu de lixiviation d'azote provenant de la moutarde marquée avec 15 N puisque la lixiviation d'azote a été de 1 kg après moutarde 86, 1 kg après maïs 87. Rappelons qu'il n'y a pas eu de lixiviation d'azote après moutarde lors des 2 cycles suivants.

On peut d'après ces résultats considérer qu'environ 30 % de l'azote de la moutarde est récupéré par le maïs suivant. Le blé suivant ne récupère quasiment pas d'azote provenant de la moutarde, ce qui confirme la similitude des prélèvements d'azote de blé suivant CPN et SOL NU (cf. tableau précédent).

2. Comparaison de la récupération d'azote par le maïs suivant CPN et SOL NU

La différence de prélèvements d'azote du maïs suivant CPN et SOL NU résulte de la récupération par le maïs d'une partie de l'azote libéré par la minéralisation de la CPN et de la différence des profils d'azote minéral entre CPN et SOL NU lorsque débutent les prélèvements d'azote du maïs.

Prélèvements d'azote du maïs suivant CPN et SOL NU,
sur les 2 sols (kg/ha)

		Maïs 87	Maïs 89	Maïs 91	Total
LA	CPN	160	257	193	610
	SOL NU	204	256	249	709
SAL	CPN	207	260	202	669
	SOL NU	194	234	221	649

Maïs 1987. L'apport d'azote au maïs est faible (70 kg/ha).

LA Le traitement SOL NU est moyennement lixivié, il reste de l'azote sur SOL NU d'où un prélèvement du maïs supérieur de 44 kg après SOL NU.

SAL Le SOL NU est fortement lixivié et le prélèvement d'azote est supérieur de 13 kg après CPN.

Maïs 1989. L'apport d'azote au maïs est élevé.

LA Le SOL NU est moyennement lixivié. Les prélèvements d'azote sont identiques sur les deux traitements, ce qui suppose que les profils d'azote minéral étaient proches au semis du maïs

SAL Le SOL NU est fortement lixivié et l'on a une production supérieure sur le traitement CPN.

Maïs 1991. L'apport d'azote au maïs est de 140 kg/ha.

La lixiviation d'azote est faible sur les 2 sols et les prélevements d'azote du maïs sont supérieurs sur les traitements SOL NU.

La fourniture d'azote par la CPN au maïs, de l'ordre de 30 % de l'azote immobilisé par la CPN, correspond à une vingtaine de kilogrammes d'azote/ha. Lorsque le SOL NU est fortement lixivié, on a sur maïs un prélevement d'azote supérieur après CPN (2 cas sur 6). Lorsque le SOL NU est moyennement ou peu lixivié, le prélevement d'azote sur maïs est supérieur après SOL NU (3 cas sur 6).

CONCLUSIONS

L'étude de l'introduction d'une culture pièges à nitrates (CPN, moutarde) entre blé et maïs, pendant 3 cycles de culture (1986, 1988, 1990), sur lysimètres, sur 2 types des sols ayant une réserve en eau (capacité au champ) différente, et pour des niveaux de reliquat azoté après blé relativement élevés (apport d'azote après blé respectivement de 70, 55, 45 kg/ha en 1986, 88, 90) a permis de chiffrer et d'interpréter l'effet de la CPN sur le bilan d'azote et d'eau.

Globalement pour les 6 périodes de drainage, la CPN a réduit la quantité d'eau drainée de 30 % sur les 2 sols. La production d'une tonne de MS, dans les conditions climatiques de l'expérience, correspond à une consommation d'eau supplémentaire de 13 mm par rapport à un SOL NU. Les six valeurs mesurées présentent une faible variabilité.

L'azote immobilisé par la CPN réduit la lixiviation d'azote au cours de la période de drainage suivante. Une partie de cet azote est récupérée après minéralisation par la culture suivante. L'analyse de l'incidence de la CPN sur la lixiviation d'azote conduit à distinguer l'effet propre de la CPN et à comparer l'effet de la CPN par rapport à un SOL NU.

Dans l'expérience la lixiviation d'azote cumulée au cours des 3 périodes de drainage suivant les 3 CPN est de 3 kg/ha sur le LA et de 17 kg/ha sur le SAL. Les concentrations moyennes en nitrates sont de 9 mg/l sur le LA et de 44 mg/l sur le SAL. On peut donc considérer, dans des conditions où les reliquats d'azote sont relativement élevés que la CPN est efficace.

La lixiviation d'azote au cours des 3 périodes de drainage suivant les 3 SOL NU (correspondant aux 3 CPN) est de 120 kg/ha sur le LA et de 238 kg/ha sur le SAL. La concentration moyenne en nitrates est de 155 mg/l sur le LA et de 274 mg/l sur le SAL.

La différence de lixiviation d'azote entre CPN et SOL NU au cours des 3 périodes de drainage suivant les 3 CPN est de 117 kg/ha sur le LA et de 221 kg/ha sur le SAL. Les différences entre sols conduisent à distinguer l'efficacité de la CPN et l'utilité de la CPN. Une CPN suffisamment développée est efficace. La différence d'effet entre CPN et SOL NU dépend principalement du SOL NU. Plus le profil d'azote du SOL NU est lixivié (cas du SAL à plus faible capacité au champ) plus l'utilité de la CPN est grande (situation où la pluviométrie est élevée, la réserve en eau du sol faible).

L'analyse de l'effet azote de la CPN sur la culture suivante conduit comme pour la lixiviation d'azote à distinguer l'effet propre de la CPN et l'effet de la CPN par rapport à un SOL NU.

Les premiers résultats obtenus avec une moutarde marquée avec 15 N ont montré que le maïs suivant récupérait environ 30 % de l'azote de la moutarde tandis que la culture de blé suivant maïs ne récupère quasiment plus d'azote de la moutarde.

La différence de prélèvements d'azote du maïs suivant CPN et SOL NU est la résultante de la fourniture d'azote par la moutarde au maïs et d'un effet du milieu. Lorsque le SOL NU est fortement lixivié, on a sur maïs un prélèvement d'azote supérieur après la CPN. Quand le SOL NU est moyennement ou peu lixivié, les prélèvements d'azote du maïs sont supérieurs après SOL NU.

Conclusion pratique pour l'environnement

L'introduction d'une CPN pendant les périodes d'interculture longue, type blé maïs, est particulièrement efficace, elle peut permettre de limiter la lixiviation d'azote à quelques **kilogrammes/ha**. L'introduction d'une CPN est plus utile dans les contextes pédo-climatiques les plus sensibles à la lixiviation d'azote.

Cependant la consommation d'eau des CPN peut empêcher la reconstitution de la réserve utile des sols et la recharge des nappes. Nous avons montré par ailleurs (CHAPOT, 1992) que l'immobilisation d'azote par une CPN d'un reliquat de 100 kg/ha, ce qui correspond à une large gamme de situations, était maximum pour une biomasse de 3 tonnes de **MS/ha**. Pour un tel niveau de disponibilité en azote, il n'y a pas lieu de produire une biomasse supérieure (levée début septembre dans le Nord Est de la France), afin de limiter la consommation d'eau et favoriser ainsi le drainage d'une eau à faible teneur en nitrates dans le but de bénéficier d'un effet de dilution de l'eau des nappes (CHAPOT, 1992). Une **cartographie** des zones pédo-climatiques où il est possible d'introduire des CPN est nécessaire.

Il faut cependant signaler que la production d'une biomasse de CPN plus faible, aura pour conséquence l'enfouissement d'un végétal plus riche en azote (cf. courbe de dilution) qui peut se minéraliser plus rapidement (VIGIL et al., 1991) avec peut être un risque de lixiviation dans certaines conditions pédo-climatiques. Dans le Nord-Est de la France, pour un enfouissement en décembre le risque est relativement limité, les températures étant faibles. Dans les régions à hivers plus doux, l'existence d'un tel risque est à vérifier.

Tableau 1 - LYSIMETRES - Période de drainage suivant engrais vert et sol nu, sur 2 types de sol
 Janvier-Juillet 1987 Quantités d'eau drainée (mm) et d'azote lessive (N-NO₃ kg/ha) teneurs en N-NO₃ (mg/l).

Table I - LYSIMETERS - Period of leaching after green manure and bare soil, on two soil texture types.
 January-July 1987. Water drained off (in mm) - Nitrogen leaching (N-NO₃ kg/ha) - N-NO₃ concentration of
 leachates (mg/l)

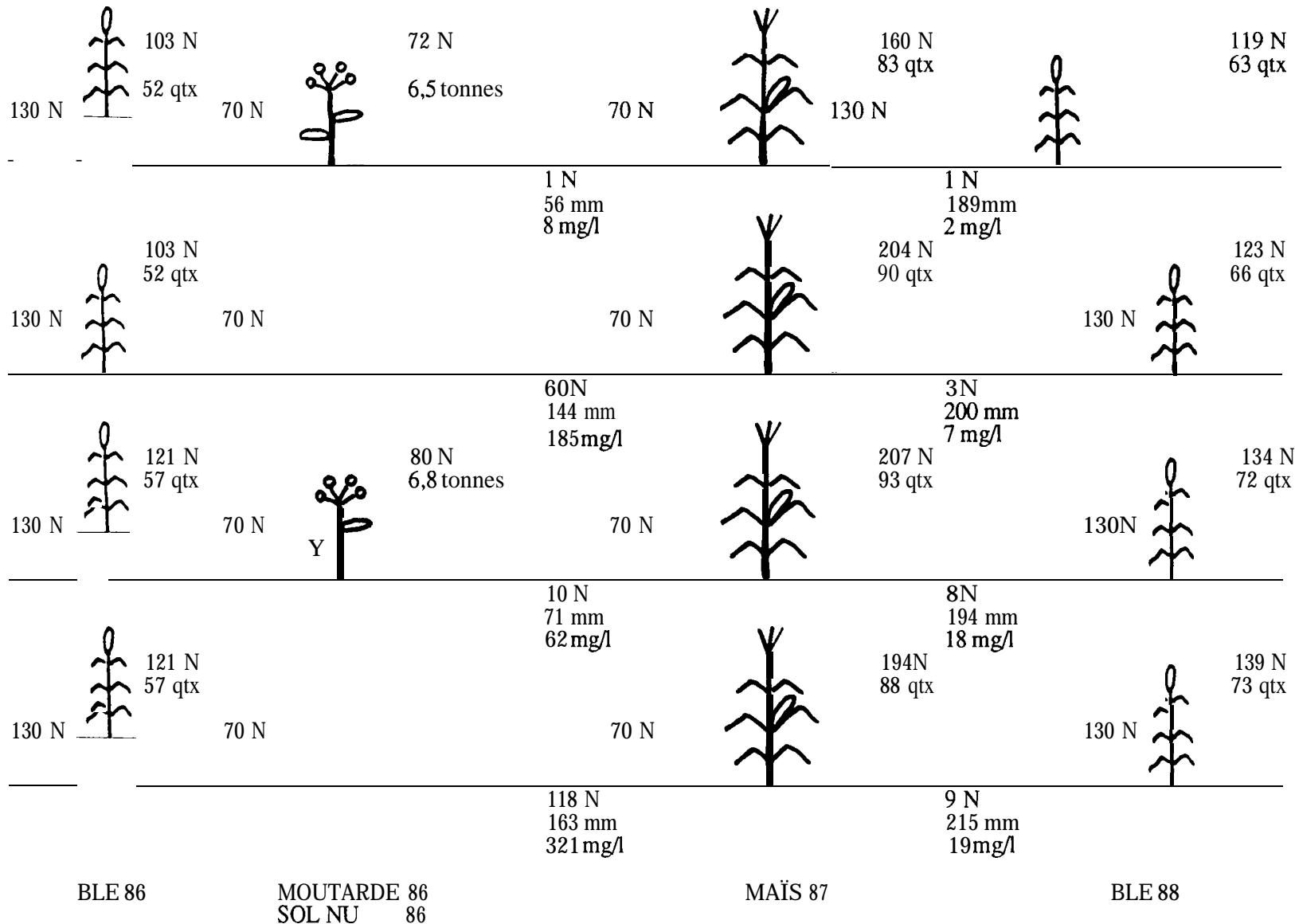
	LIMON ARGILEUX						SABLE ARGILO-LIMONEUX					
	Engrais vert			Sol nu			Engrais vert			Sol nu		
	Eau mm	N-NO ₃ kg/ha	N-NO ₃ mg/l	Eau mm	N-NO ₃ kg/ha	N-NO ₃ mg/l	Eau mm	N-NO ₃ kg/ha	N-NO ₃ mg/l	Eau mm	N-NO ₃ kg/ha	N-NO ₃ mg/l
JANVIER				12.1	0.5	3.8				20.7	3.4	16.4
FEVRIER				15.2	1.1	7.3				16.9	5.4	31.8
MARS				25.3	3.1	12.0				25.0	10.1	40.3
AVRIL				1.2	0.2	20.0				3.1	1.9	60.6
MAI	2.8	0.1	1.8	346	12.6	36.5	1.1	1.2	1.3	37.9	31.0	81.8
JUIN	36.5	0.7	1.8	38.2	28.4	74.2	38.2	5.4	14.0	42.1	51.6	122.6
JUILLET	16.5	0.6	3.9	17.0	13.9	81.5	17.8	3.3	18.8	17.3	14.1	81.7
TOTAL C.V. Moyenne	56 7	1	2.3	144 3	60 11	41.6	71 14	10 13	13.8	163 1	118 4	72.1

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

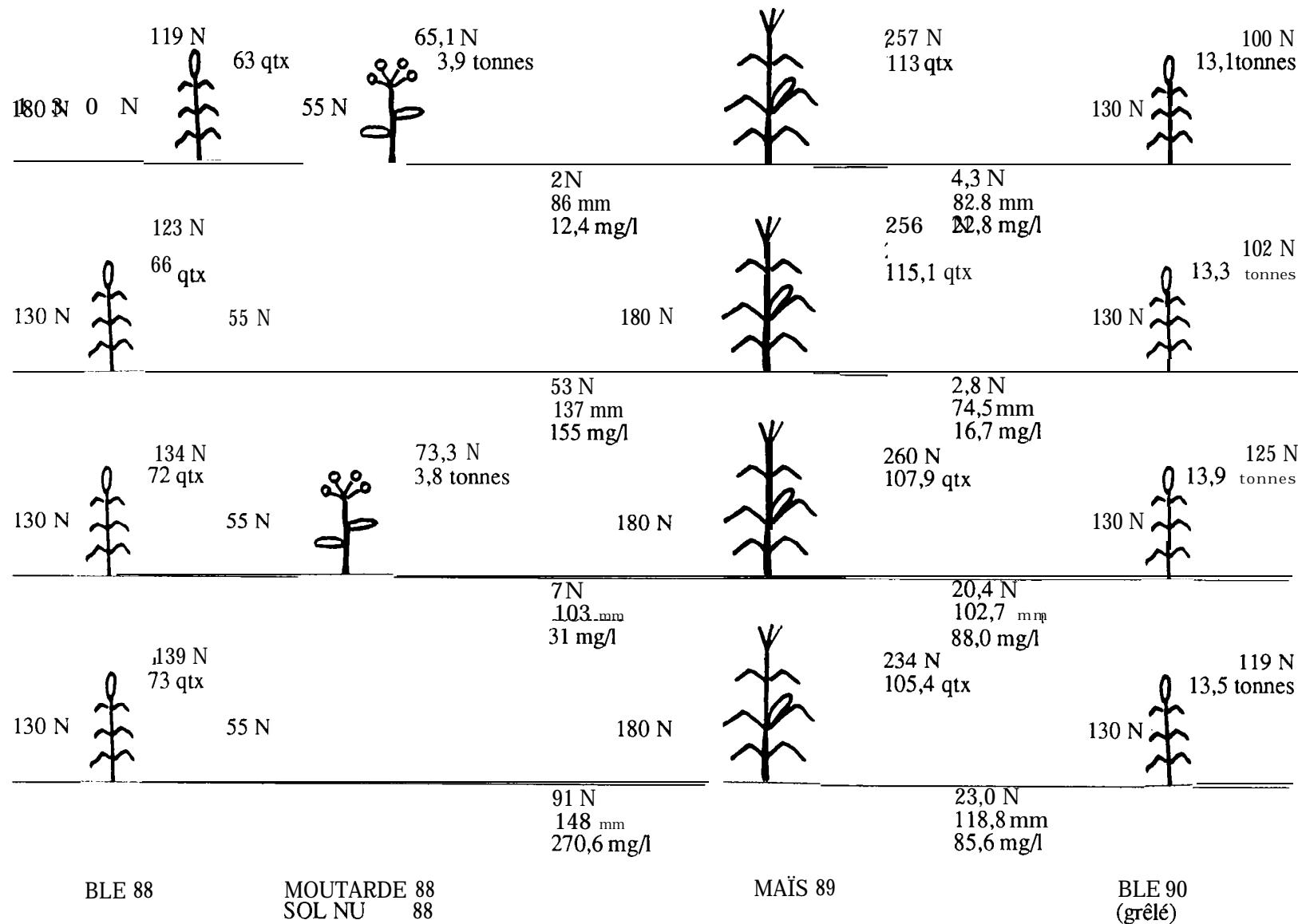
Tableau III - LYSIMETRES - Période de drainage suivant engrais verts et sol nu, sur 2 types de sols. Janvier- Juin 1991. Quantités d'eau drainée (mm) et d'azote lessivé (N-NO₃ kg/ha), teneurs en N-NO₃ (mg/l)

	LIMON ARGILEUX						SABLE ARGILO-LIMONEUX					
	Engrais verts			Sol nu			Engrais verts			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
JANVIER	0			10,1	0,29	2,9	0			12,3	1,50	12,2
FEVRIER	0			3,0	0,18	6,0	0			4,0	0,86	21,5
MARS	0			3,4	0,28	8,2	0			4,8	1,22	25,4
AVRIL	0			1,8	0,10	5,6	0			2,7	0,58	21,5
JUIN	0,2			44,4	6,28	14,1	1,4			50,5	24,50	48,5
TOTAL	0,2	0,0		62,8	7,14		1,4	0,1		74,3	28,66	
C.V. %				10	4					2	12	
Moyenne						11,4						38,6

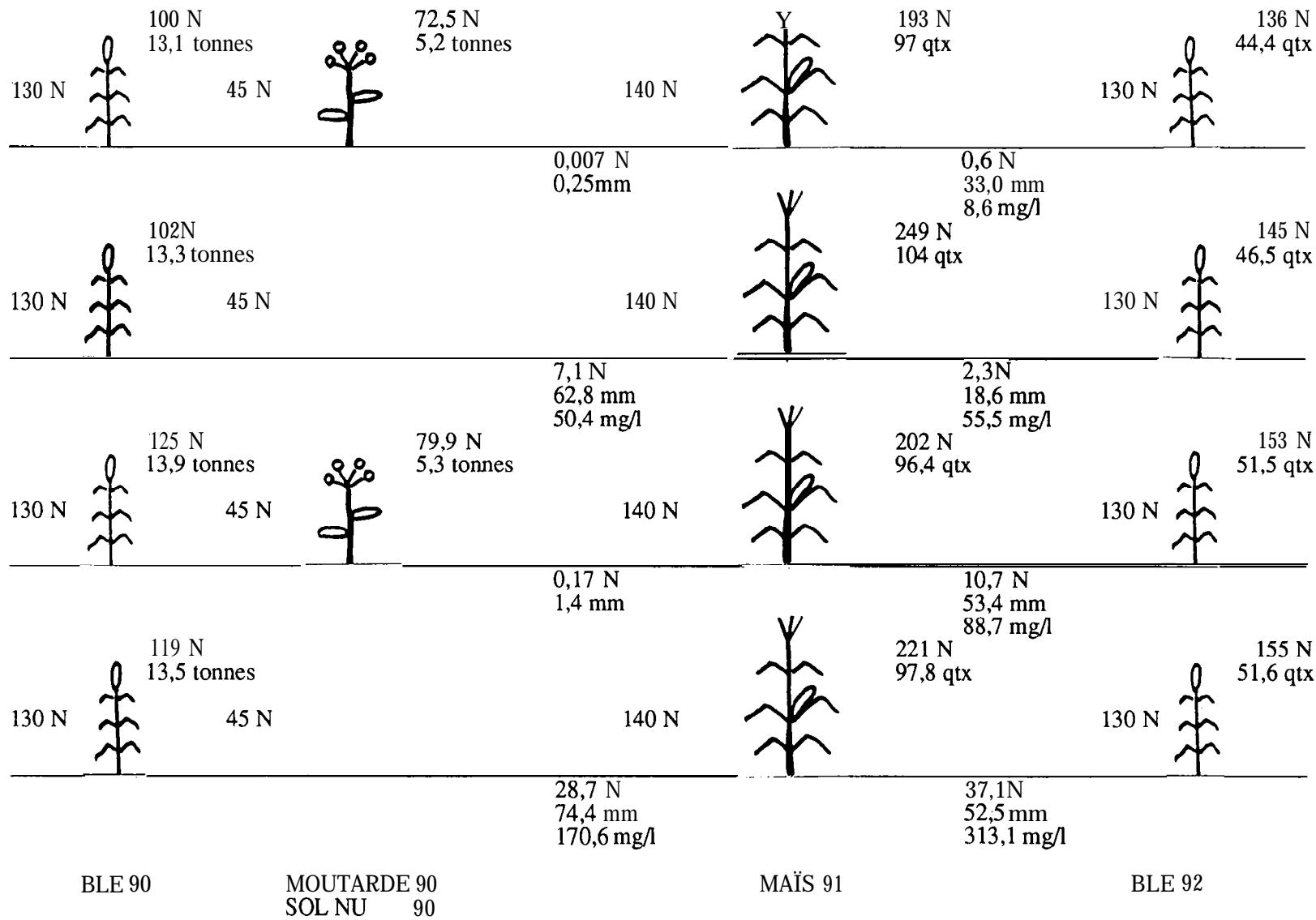
C.V. Coefficient de variation %



Comparaison des productions de grains (qtx/ha), de MS (tonnes/ha), des prélèvements d'azote (N=N kg/ha), du drainage (eau en mm) et de la lixiviation d'azote (N=N kg/ha ; NO₃ en mg/l) des successions Blé - Moutarde - Maïs et Blé - Sol nu - Maïs. 1986-1988.



Comparaison des productions de grains (qtx/ha), de MS (tonnes/ha), des prélèvements d'azote (N=N kg/ha), du drainage (eau en mm) et de la lixiviation d'azote (N=N kg/ha ; NO3 en mg/l) des successions Blé - Moutarde - Maïs et Blé - Sol nu - Maïs. 1988-1990.



Comparaison des productions de grains (qtx/ha), de MS (tonnes/ha), des prélèvements d'azote (N=N kg/ha), du drainage (eau en mm) et de la lixiviation d'azote (N=N kg/ha ; NO₃ en mg/l) des successions Blé - Moutarde - Maïs et Blé - Sol nu - Maïs. 1990-1992.

BIBLIOGRAPHIE

BAILLON J-M., CHAPOT J-Y., DELOUVEE R., MARY B., TAUREAU J-C., WERLEN J . , 1991. Interculture. Gérer l'interculture pour limiter les fuites de nitrates vers les eaux. CORPEN, Ministère de l'Agriculture et Ministère de l'Environnement, PARIS (FRA), 40 p .

BISCHOPINCK K.U., MUNCH J-C., CHAPOT J-Y., HEINEMEYER D., 1990. Differentiation of N-losses *in situ* from a soil amended with ^{15}N -labelled green manure. Proceedings of the international workshop on denitrification soil, GIESSEN (DEU); 17-19/03/1989, n° 60, 227-232.

CHAPOT J-Y., 1987. Prélèvements d'azote de différentes espèces d'engrais verts. Estimation sur cases lysimétriques de l'incidence d'un engrais vert sur la réduction du lessivage des nitrates. Journées d'Etude : "Nitrates et Engrais verts". CORPEN, COMIFER, PARIS, 15/12/1987. 13 p.

CHAPOT J-Y., 1989. Engrais verts, un moyen de lutte contre le lessivage des nitrates. Cultivar, n° 258, 1 p.

CHAPOT J-Y., DELPHIN J-E., SCHENCK C., 1990. Pollution des eaux par les nitrates et pratiques culturales. Colloque "Agriculture et Environnement". Assemblée permanente des Chambres d'Agriculture. PARIS, 08/11/1990, 5-9.

CHAPOT J-Y., 1990 . Azote, la juste dose. Prendre en compte le milieu, la culture, l'interculture. Cultivar, n° 279, Août 1990, 35-36.

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, 7-8/11/1990, 411-416.

CHAPOT J-Y., 1990 . The fate of nitrogen (^{15}N) derived from white mustard green manure in a lysimeter study. Congress of European Society of Agronomy. PARIS, 5-7/12/1990, 2 p.

CHAPOT J-Y., 1992. Lixiviation d'azote. Eléments d'analyse des différences entre sols. Incidence d'une culture piège à nitrates. Conduite optimale d'une CPN par rapport à la lixiviation d'azote. CORPEN, Journée d'études "Interculture et nitrates". Ministère de l'Agriculture - Ministère de l'Environnement, PARIS (FRA), 29/01/1992, 125-135.

CHAPOT J-Y., 1992 . Conduite raisonnée d'une culture piège à nitrates, entre blé et maïs, par rapport à la lixiviation d'azote. Eléments d'analyse des différences de lixiviation entre sol. Colloque "Tête de rotation, Azote, Environnement". LOUVAIN-LA-NEUVE, Belgique, 27/03/1992, 145-158.

CHAPOT J-Y., 1992 . Nitrogen uptake kinetics of six nonleguminous cover crops after wheat to recover 100 kg/ha of residual nitrogen. Congress of European Society of Agronomy, Warwick University, U.K., 23-28 August 1992, 344-345.

CHAPOT J-Y., 1992. Contribution à l'étude des effets eau et azote, de culture pièges à nitrates, entre blé et maïs. Conduite raisonnée d'une culture piège à nitrates par rapport à la lixiviation d'azote. Séminaire "Altération et restauration de la qualité des eaux continentales". INRA, PORT-LEUCATE (FRA), 01-02/10/1992, 6 p.

DELPHIN J-E., CHAPOT J-Y., SCHOELLEN A., 1991. Relations entre le pouvoir minéralisateur des sols et la minéralisation nette de l'azote au champ. *Agronomie (FRA)*, vol. 11, n° 6, 439-445.

HENIN S., 1980. Rapport du groupe de travail " Activités agricoles et qualité des eaux ". Ministère de l'Agriculture, Ministère de l'Environnement, 60 p.

LEHN-REISER M., MUNCH J-C., CHAPOT J-Y., OTTOW J.C.G., 1990. Field measured denitrification losses from a calcareous Inceptisol after green manuring. *Proceedings of the international workshop on denitrification soil*, GIESSEN (DEU), 17-19/03/1989, n° 60, 233-238.

MARY B., FRESNEAU C., 1987. Décomposition des résidus de récolte et devenir de l'azote minéral. *Journée d'étude "Nitrates et Engrais verts"*. CORPEN, COMIFER, PARIS, 15/12/1987, 8 p.

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, 13-15/10/1981, 123-133.

RYDEN J.C., LUND L.J., FOCHT D.D. 1978. Direct infield measurement of nitrous oxide flux from soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42, 731-737.

VIGIL M.F. *et al.*, 1991. *Soil Sci. Soc. of America Journal*, 55, 757-761.