

## Historique cultural et profils d'azote minéral dans la zone non saturée de la craie : conséquences sur le transfert et le bilan de l'azote. Résultats de dix années d'observation

Jean-Louis Ballif, Jean-Charles Muller

Un essai de moyenne durée, mis en place par « l'AREP », (Association régionale pour l'étude des rotations céréalières intensives en Champagne crayeuse) (photo 1), sous le contrôle de l'Institut technique des céréales et fourrages, fut installé de 1976 à 1989 au domaine des Fermes d'Aulnay-aux-Planches (Marne). Au terme de cet essai, la répartition de l'azote minéral a été étudiée sur les dix premiers mètres du sol et du sous-sol de craie, afin de préciser l'influence des pratiques culturales sur l'évolution des contenus en azote dans la partie superficielle de la zone non saturée de la craie [1]. Celle-ci, continue et homogène sur plusieurs dizaines de mètres de profondeur, offre une situation exceptionnelle pour suivre les transferts d'eau et d'azote de la surface du sol vers la nappe phréatique [2]. Cette démarche est possible en région crayeuse, où la zone non saturée de la craie, formée d'un matériau homogène dont la porosité totale est élevée (40 %), a une épaisseur de 5 à 40 mètres. La majeure partie (70 %) de l'espace poral de cette craie est constituée de pores compris entre 0,5 et 1  $\mu$  (photo 2).

Ces très faibles diamètres donnent à cette roche une très bonne réserve en eau et engendrent un temps de séjour très long pour les eaux qui la pénètrent. Elles permettent la remontée capillaire sur une hauteur maximale de

40 m environ et réalisent un milieu stérile, dans lequel les micro-organismes ne peuvent se développer. L'absence de substrat énergétique carboné conserve les nitrates engagés dans cette zone, la dénitrification, l'organi-



Photo 1. La Champagne, avant et après la mise en valeur (cliché J.L. Ballif).

Photo 1. Champagne, before and after farming.

La Champagne pouilleuse, considérée comme pauvre, a connu en moins d'un demi siècle un essor extraordinaire et est devenue une grande région agricole. En effet depuis 1950, le déboisement systématique des pins a été entrepris pour mettre en valeur ces terres avec l'utilisation des engrais minéraux. Parmi les causes de cette réussite, il ne faut pas oublier la grande disponibilité en eau des sols de craie, où la réserve hydrique est renouvelée grâce à la continuité capillaire dans la craie entre la nappe et la surface du sol. L'aire de la Champagne se trouve délimitée par l'affleurement de la craie. Les sols se sont formés à partir de cette roche ou des produits de son altération. Les sols sur craie en grande culture couvrent 7 000 km<sup>2</sup> ; 71 % de la production agricole régionale y sont obtenus.

J.L. Ballif, J.C. Muller : INRA, Station d'agronomie de Châlons-sur-Marne, 51510 Fagnières, France.



**Photo 2.** Nannofaciès de la craie champagnienne de Marson (cliché J.L. Ballif).

**Photo 2.** Nannoaspect of the senonian chalk at Marson (Marne).

Photographie prise au microscope électronique à balayage, grossissement  $\times 4\,000$  environ. Le trait dominant de la Champagne crayeuse est la présence de ce matériau particulier que constitue la craie, très tendre, poreuse, gélique. D'origine biologique, la craie est constituée par l'accumulation de tests calcaires d'algues unicellulaires, les coccolithophoridées, et de *Nannoconus*, protiste inconnu de nos jours. Observés au microscope électronique à balayage, les granules de calcite constitutifs, de taille inférieure à 5 millièmes de millimètre, réalisent un matériau poreux dont 40 % du volume est occupé par l'eau. La craie peut se dissoudre sous l'action du gaz carbonique provenant de la respiration des racines et de la minéralisation de la matière organique, sous l'influence des micro-organismes du sol. Dans le substrat crayeux, trois niveaux peuvent être distingués : la zone superficielle portant les sols et la craie cryoturbée, entre 0 et 1,5 ou 2 m de profondeur ; la zone non saturée, entre 2 et 35 m d'épaisseur, variable dans le temps et suivant les lieux ; la zone saturée, ou nappe de la craie, dont l'épaisseur est comprise entre 150 et 250 m.



sation et la minéralisation étant impossibles. Rares sont les situations qui permettent d'établir et de calculer ainsi un bilan et de quantifier l'influence des pratiques agricoles sur les pertes en azote. Une telle démarche pourra servir de base pour l'exploitation et la modélisation des expérimentations qui se mettent en place actuellement et qui sont destinées à mesurer, sur une longue période, l'effet des pratiques agricoles sur la lixiviation des nitrates, et à établir la relation entre le niveau des intrants azotés et la concentration en azote nitrique de la solution du sol filtrant sous la zone racinaire.

**Photo 3.** Rendzine brune sur craie à poches de cryoturbation (RN 77, à 14 km SO de Châlons-sur-Marne) (cliché J.L. Ballif).

**Photo 3.** Calcareous brown rendzina soil on chalk affected by congeliturbation.

Les sols de Champagne sont des rendzines dont les plus représentatives sont les rendzines brunes développées sur craie à poches de cryoturbation : elles recouvrent 60 à 75 % du territoire. L'horizon de surface, peu épais (0 à 25-30 cm), à structure grumeleuse, fortement calcaire, moyennement pourvu en matière organique, repose sur un horizon hétérogène (30 à 120 cm), qui comprend des poches à formes de vasques étroites et des cheminées d'ascension de cailloux de craie, émoussés, redressés verticalement, emballés dans une pâte calcaire blanche, poreuse. En dessous se trouvent un horizon de craie gélifRACTÉE, formé d'éléments débités en plaquettes et un horizon de craie fissurée correspondant à la roche mère en place. Ces sols peu colorés, par conséquent lents à se réchauffer au printemps, se dessèchent en surface, mais ils ont en profondeur une bonne réserve hydrique, dont bénéficient les cultures à enracinement profond. Ce renouvellement permet de maintenir le taux de saturation à plus de 50 % de la porosité totale pendant la période de sécheresse.





Années		1955-1956	1967	1971	1976	1990
Occupation du sol	Historique 1 zone ouest	Défriche	?	Dactyle	Betterave-blé	Essai rotations
	Historique 2 zone est	Défriche	?	Betterave-blé		
Apport annuel d'azote (moyenne 1976-1986)					- monoculture de betterave 169 kg/ha - monoculture de blé 208 kg/ha - succession betterave, céréales d'hiver, pois 132 kg/ha	

Figure 1. Historique cultural de la parcelle.

Figure 1. Cropping history of the site.

La parcelle fut défrichée au cours des années 1955-1956 pour constituer un lot de 46 ha. Exploitée depuis 1961 par la Société des fermes d'Aulnay, son historique n'est connue que depuis cette date. Divisée en deux perpendiculairement à l'essai, il en résulte deux historiques culturaux différents ; l'un ayant supporté entre 1967 et 1970 une culture de dactyle porte-graine (historique 1, zone ouest), l'autre ayant été maintenue de 1967 jusqu'à la mise en place de l'essai en 1976 dans la rotation betterave sucrière-blé. Les parcelles élémentaires sont de grande dimension (1 200 m<sup>2</sup>). Les allées enherbées avec de la fétuque des prés (largeur 12 m) permettent l'accès aux différents blocs.

## Milieu naturel et méthodes

### Le sol et le climat

Le sol du dispositif expérimental est du type couramment rencontré en Champagne crayeuse (*photo 3*) : rendzine brune (0-30 cm) sur craie à poches de

cryoturbation (30-150 cm) ou « *rendosol, hyper-calcaire, calcarique, issu de craie tendre* » [3]. Il offre une bonne réserve hydrique en profondeur. La réserve utile, de l'ordre de 260 mm sur le premier mètre, est réalimentée en permanence par la remontée d'eau des niveaux de craie sous-jacents [4]. Faiblement coloré, le sol se réchauffe très lentement au printemps et pré-

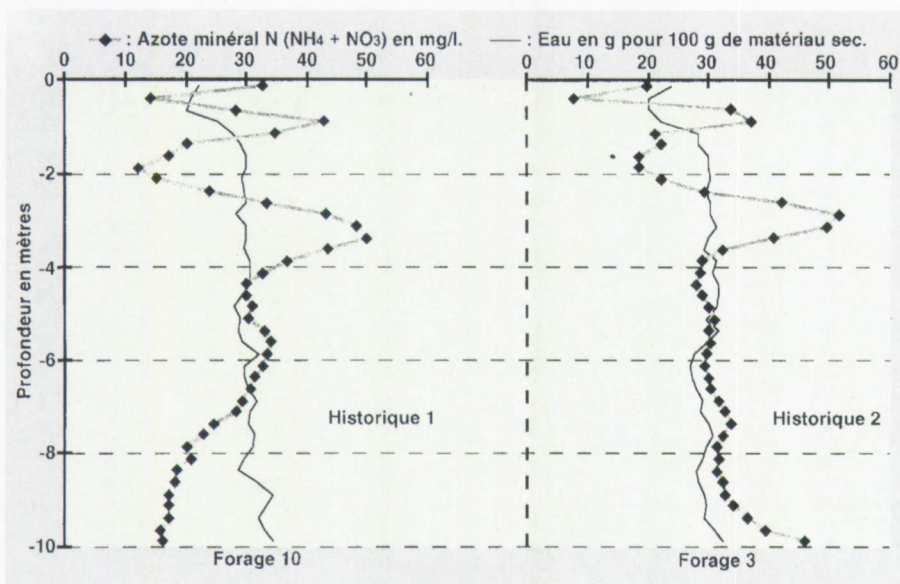


Figure 2. Monoculture de blé. Profils 10 (Historique 1) et 3 (Historique 2) d'azote minéral et de teneur en eau ; mars 1990.

Figure 2. Monoculture of wheat. Mineral nitrogen and water profiles 10 (cropping history 1) and 3 (cropping history 2) ; March 1990.

sente un potentiel agricole élevé, voisin du potentiel climatique [5].

Le climat de la région est semi-océanique à influences continentales. A Aulnay-aux-Planches, la hauteur totale annuelle moyenne des précipitations est légèrement supérieure (652 mm, 1976-1989) à la normale enregistrée à la Station d'Agronomie de Fagnières (630 mm).

### Conditions expérimentales

En vue d'obtenir des profils d'azote minéral, des forages ont été effectués en mars et avril 1990, dans quatre répétitions correspondant à trois traitements particuliers de l'essai « rotations » : monocultures de blé, de betteraves sucrières, succession (betterave, blé tendre d'hiver, pois et orge d'hiver), ainsi que dans les allées enherbées correspondant à des historiques particuliers se différenciant par la nature des successions culturales et le niveau des intrants azotés de synthèse (*figure 1*). Les forages sont réalisés à l'aide d'une tarière hélicoïdale motorisée de 100 mm de diamètre et de rallonges de 2 et 3 m permettant d'atteindre 10 m de profondeur. Ces forages sont effectués dans les parcelles, à 12 m des bords, et dans les allées, à 6 m des bords. Un échantillon est prélevé, tous les 25 cm, sur toute cette épaisseur. Sur chaque échantillon sont déterminées la densité apparente, la teneur en eau et la teneur en azote minéral (ammonium  $\text{NH}_4^+$  et azote nitrique  $\text{NO}_3^-$ ). Les nitrates et l'ammonium sont extraits par une solution de chlorure de potassium normale, dans un rapport sol/KCl = 1/2. Les dosages de l'azote minéral sont effectués en flux continu, suivant les normes AFNOR T 90-015 et T 90-012 pour l'ammonium et l'azote nitrique respectivement. Des résultats de sondages effectués dans les monocultures de blé (parcelles 3 et 10), de betteraves sucrières (parcelles 5 et 12) et de la succession culturale (parcelles 4 et 11), ainsi que dans les allées enherbées sont présentés sur les *figures 2 à 5*, à titre d'exemples.

## Résultats et discussion

Les forages explorent la partie superficielle de la zone non saturée de la



craie du Sénonien. Pendant l'expérimentation, l'apport azoté moyen annuel fut de 208 kg/ha de N dans la monoculture de blé, de 168 kg/ha dans la monoculture de betteraves sucrières et de 132 kg/ha dans la rotation. Il fut plus élevé dans la monoculture de blé avec une augmentation progressive au cours de cette décennie. Pour la betterave, l'apport azoté a suivi la consigne de 160 kg/ha/an avec une légère baisse au cours des dernières années par suite de la prise en compte de l'effet négatif des excès d'azote sur la qualité. L'apport se trouva plus faible dans la rotation, à cause de l'introduction du pois.

### Teneur en eau du sol et de la craie jusqu'à dix mètres de profondeur

Dans les deux premiers mètres, la teneur en eau du sol et du sous-sol présente de grandes variations résultant des conditions climatiques et de cultures. A partir de 2 m et jusqu'à 10 m de profondeur (figures 2 à 5) la teneur en eau devient relativement constante (28-31 g pour 100 g de matériau sec).

### Teneur en azote minéral dans le profil profond. Effet du mode d'occupation du sol

Avec les monocultures de blé d'hiver et de betteraves sucrières (figures 2 et 3), les concentrations en azote minéral dans les deux premiers mètres varient de 8 à 46 mg/l de N. Entre 4 et 6 m de profondeur, les concentrations sont de 15 à 34 mg/l de N, les plus élevées étant dans la monoculture de blé. A partir de 7-8 m de profondeur, elles se différencient selon l'historique cultural antérieur (1967-1971). La parcelle retenue fut en effet défrichée au cours des années 1955-1956, tandis que le passé cultural de l'essai n'est connu que depuis 1967. La parcelle fut initialement divisée en deux. Il en résulte deux historiques culturaux différents. D'un côté, à l'ouest, une culture de dactyle a occupé le sol de 1967 à 1970 (historique 1, forages 10, 11 et 12). De l'autre, à l'est, pendant les mêmes années, il y a eu une rotation de betteraves sucrières et de blé (historique

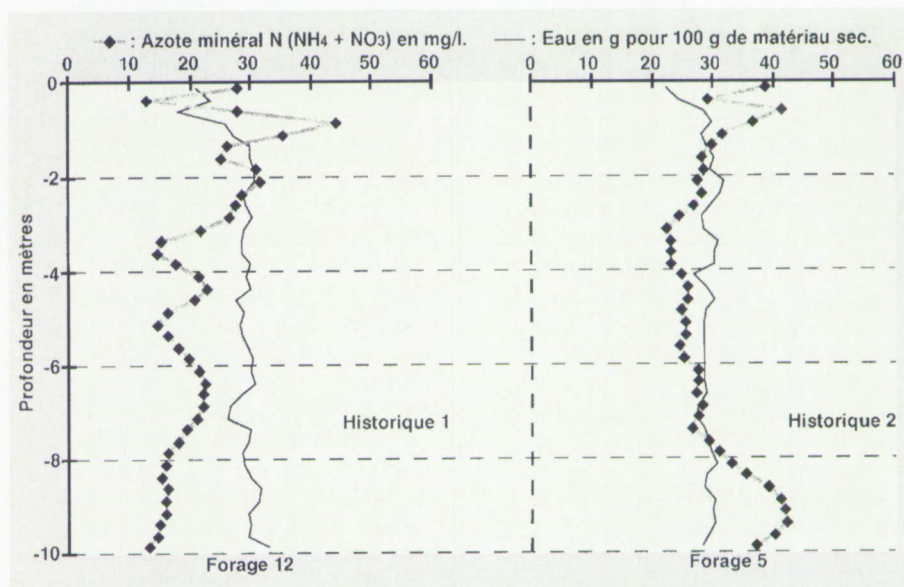


Figure 3. Monoculture de betteraves sucrières. Profils 12 (historique 1) et 5 (historique 2) d'azote minéral et de teneur en eau ; mars 1990.

Figure 3. Monoculture of sugar beet. Mineral nitrogen and water profiles 12 (cropping history 1) and 5 (cropping history 2) ; March 1990.

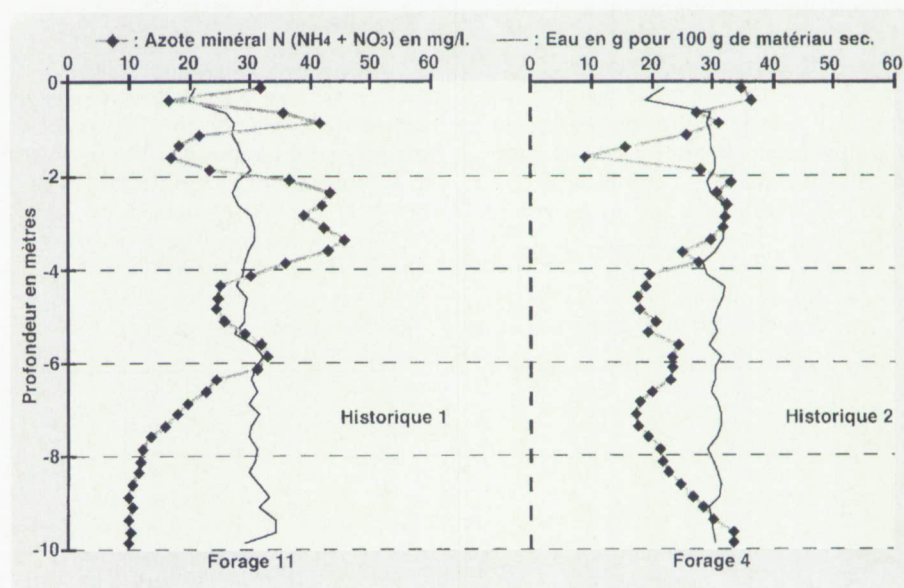


Figure 4. Rotation betteraves, blé, pois et orge d'hiver. Profils 11 (historique 1) et 4 (historique 2) d'azote minéral, mg/l et de teneur en eau ; mars 1990.

Figure 4. Rotation of crops : sugar beet, wheat, pea and winter barley. Mineral nitrogen and water profiles 11 (cropping history 1) and 4 (cropping history 2) ; March 1990.

2, forages 3, 4 et 5). Puis, les deux parties, de 1972 à 1976, ont eu la même rotation (betterave sucrière-blé. En 1971, la partie ouest a été occupée par un blé dur et la partie est par un maïs grain). A 10 m, sous l'historique 1, correspondant à la culture de dactyle, les concentrations sont compri-

ses entre 13 et 17 mg/l de N, tandis que sous l'historique 2 avec la rotation de betteraves sucrières et de blé, elles sont comprises entre 35 et 46 mg/l de N.

En enherbement permanent (figure 5), entre 2 et 6 m de profondeur, les concentrations en azote minéral sont très



faibles (3-7 mg/l de N). En surface, dans le premier mètre, la quantité d'azote minéral était élevée (77,8 kg/ha), lors du prélèvement du 2 avril 1990. En effet, l'hiver 1989-1990 ne fut pas rigoureux, les températures moyennes de janvier et de février furent respectivement de 4,5 et 8,6° C. Ces températures sont plus élevées que la moyenne des vingt dernières années, (2,5-3,4° C), l'augmentation étant de 2° C en janvier et de 5,2° C en février, ce qui aurait permis une minéralisation de l'azote organique du sol, non consommé par la végétation. Pour tester cette hypothèse, des forages ont été effectués jusqu'à 3 mètres de profondeur, le 19 juin 1990. La quantité d'azote minéral présente dans le premier mètre n'est plus que de 13,4 kg/ha et, en dessous, les quantités sont très faibles. Il n'y a donc pas eu de lixiviation des nitrates, la majeure partie de l'azote étant consommée par l'herbe au cours du printemps. A partir de 6 m de profondeur, les concentrations augmentent et atteignent la valeur de 46 mg/l de N à 8 m après la minéralisation de l'azote organique d'un sol laissé nu en hiver et les labours de l'automne 1976 pour la préparation du dispositif. Cet azote minéral n'a pu être consommé par la culture de fétuque semée au printemps 1977. L'expérimentation ayant duré 14

ans, de 1976 à 1990, il a été donc possible de calculer la vitesse moyenne du transfert de l'azote minéral, soit 6 m/14 ans = 0,43 m/an. Des profils de nitrates analogues ont été observés dans la craie en Champagne dans les sols du versant nord du bassin du Pisseleu [6], à Mailly-le-Camp et à Haus-simont [2-8], ainsi qu'en Angleterre [9, 10]. Sur ces sites en sol de craie, les vitesses de migration varient de 0,45 à 0,75 m/an selon la nature du couvert végétal [11], laissant des périodes d'interculture en sol nu plus ou moins longues qui déterminent des pluies efficaces (P-ETR) variables selon la hauteur des précipitations de l'année. Il en résulte donc que les six premiers mètres de la zone non saturée de la craie correspondent à la période concernée par l'expérimentation dans les allées enherbées.

### Possibilité d'établir un bilan de l'azote minéral de la parcelle

Hormis sous les allées enherbées, où le transfert d'azote est marqué par un pic commençant à 6,25 m, l'absence de marquage isotopique ou chimique lors de la mise en place de l'essai ne permet pas, dans les parcelles de cultures, une estimation directe de la pro-

fondeur correspondant à la période concernée par l'expérimentation. Cette valeur est cependant indispensable pour le calcul du bilan de l'azote. Elle est obtenue indirectement à partir des données provenant des lysimètres INRA de Châlons-sur-Marne [12] situés dans un contexte pédoclimatique et des systèmes de cultures identiques : lysimètre enherbé en permanence et lysimètres conduits dans une rotation betterave sucrière-blé. La vitesse moyenne annuelle de transfert est proportionnelle au volume drainé. En lysimètres, pour la période 1976-1985, sous couvert d'herbe, le drainage moyen annuel est de 201 mm. Il est plus élevé que celui du sol cultivé dans la rotation betterave-blé, qui est de 170 mm, par suite d'une production de matière sèche, donc d'une consommation d'eau plus importante. Dans les parcelles cultivées, la profondeur à prendre en compte est calculée à partir du rapport des drainages en sol enherbé et en sol cultivé. Le transfert de l'azote en sol enherbé étant situé à 6,25 m, celui du sol cultivé sera donc  $6,25 \times 170/201 = 5,25$  m.

A partir des données expérimentales concernant les cultures et les résultats des sondages, il est possible d'établir un bilan de la parcelle (tableau 1) en prenant en compte, pour les entrées, les fumures et les apports par les pluies et, pour les sorties, les exportations par les récoltes et la lixiviation représentée par la quantité d'azote cumulée dans l'épaisseur de la zone non saturée de la craie, ainsi qu'elle vient d'être définie. A partir de ce bilan, établi sur dix ans, on a calculé les paramètres suivants : la fraction organisée (définie par le rapport entre le solde du bilan et la somme des entrées), la fraction lixiviée (rapport entre les sorties par lessivage et la somme des entrées), et la fraction exportée (rapport entre les sorties par les exportations et la somme des entrées). Les valeurs obtenues pour ces paramètres sont du même ordre de grandeur que celles obtenues avec des techniques de mesure différentes : la lysimétrie pour la lixiviation et l'isotope  $^{15}\text{N}$  pour l'utilisation de l'azote par la plante.

Le calcul du bilan sur dix ans fait apparaître deux postes importants : l'un pour les entrées, avec les apports par les engrais, plus élevés dans la monoculture de blé, l'autre pour les

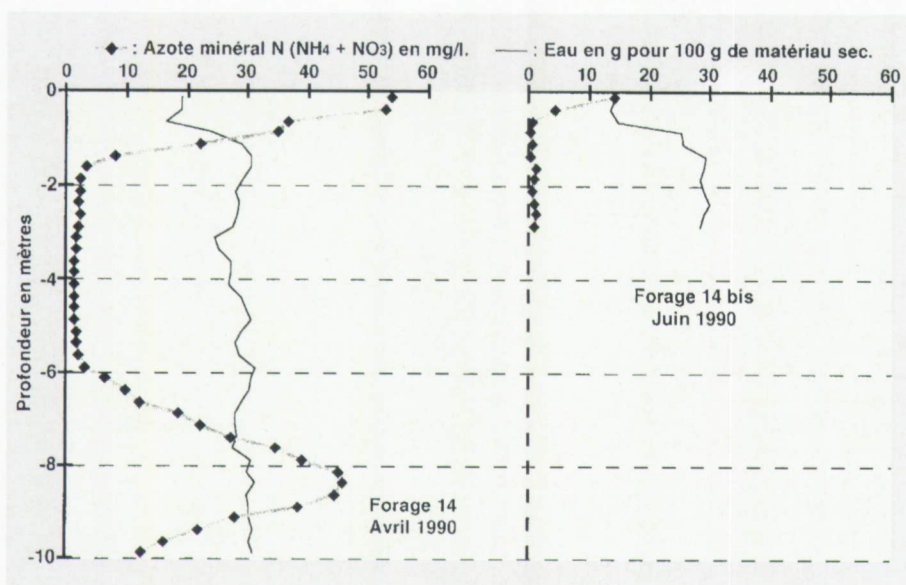


Figure 5. Allées enherbées à Aulnay. Profils 14 d'azote minéral et de teneur en eau ; mars 1990.

Figure 5. Pathways under grass at Aulnay. Mineral nitrogen and water profiles 14 ; April and June 1990.



## Summary

### Cropping history and mineral nitrogen profiles in the unsaturated zone of chalky soil : consequences on nitrogen transfer and balance. Results of ten years of experimentation

J.L. Ballif, J.C. Muller

*The influence of cropping practices on the changes in nitrogen loss at the surface of the unsaturated zone of Senonian chalk was determined in a 14 years trial, in Champagne. The distribution of mineral nitrogen was studied by drilling boreholes into the first 10 m of soil and chalky subsoil beneath fertilized crops (monocultures of sugar beet, wheat, or rotation of sugar beet-wheat-pea-winter barley) and unfertilized perennial grassland. The land has a semi-oceanic climate with a continental influence and an annual rainfall of 630 mm. The unsaturated chalky zone, which is continuous and homogeneous over several dozen metres, provided an exceptional site for studying the transfer of water and nitrogen from the surface to groundwater. During transfer, the amount of nitrates coming from the root zone remained stable. In the course of the experiment (1976-1990), the average amounts of nitrogen applied in the monoculture of wheat and sugar beet and in the crop rotation, were 208, 168 and 123 kg/ha, respectively. The level of nitrogen input was lowest for crop rotation, since pea had been introduced. The water content of soil and subsoil to a depth of 2 m varied extensively as a result of climatic and crop conditions. Between 2 and 10 m, however, it remained fairly stable (28-31 g DM %) due to capillary rise. In the monocultures of winter wheat and sugar beet, the concentrations of mineral nitrogen varied greatly to a depth of 2 m (8-46 mgN/l) ; the variation dropped (15-34 mgN/l) between 4 and 6 m. Below a depth of 7-8 m, the divergence observed in the nitrate content of the profiles could no longer be explained by the system in question. The cropping history of the site has been known with great accuracy since 1967. From this date up until 1971, cocksfoot was cultivated on one part of the area under study and a wheat rotation crop was grown on the other. From 1972 to 1976, the same crop rotation (sugar beet-wheat) was subsequently grown on both parts. At a depth of 10 m beneath the former cocksfoot zone and the sugar-wheat rotation crop, nitrogen concentrations were found to be 13-17 and 35-46 mgN/l respectively. This clearly underlines the influence of the cropping system. Since the experiment lasted 14 years, it was possible : 1°, on the basis of the results of borings indicating a nitrate peak at a depth of 6 m during the grass growing period, to calculate a mean mineral nitrogen transfer rate of 0.43 m/year ; and 2°, on the basis of experimental data concerning both monocultures, to establish a nitrogen balance per plot, taking into account, as inputs, the amounts of fertilizer and rain and, as outputs, the removal of nutrients by crops and the loss through leaching. The fractions of mineral nitrogen leached, removed and incorporated into the biomass, reached approximately 20 %, 50 % and 30 % respectively. In the case of crop rotation, the crop received a lower input of synthetic nitrogen which was compensated for by the biological fixation of N, which was not taken into account in the balance, and which resulted in losses through leaching (43 kg/ha/year) similar to those of the monocultures (sugar beet : 36 kg/ha/year and wheat : 45 kg/ha/year).*

*Cahiers Agricultures 1993 ; 2 : 330-7.*

sorties, avec les exportations par les récoltes. L'apport par les pluies est faible. Les autres postes, la fixation biologique et la volatilisation, par dénitrification ou sous forme d'ammoniac, sont négligeables dans ces sols cultivés dont la porosité élevée assure un renouvellement satisfaisant de l'atmosphère du sol.

Les quantités d'azote minéral retenues dans la zone non saturée, entre 1,75 et 5,25 m, sont de 454 kg/ha pour la monoculture de blé, de 359 kg/ha pour la monoculture de betteraves sucrières et de 434 kg/ha pour la « rotation », alors que les apports

moyens annuels d'azote étaient respectivement de 208, 168 et 132 kg/ha pour chacun des traitements.

Dans le *tableau 2*, nous avons emprunté les bilans partiels évaluant la pression d'azote par la différence entre les engrais (A) en entrée et les prélèvements (B) en sortie. Puis nous avons confronté le solde du bilan A - B à la quantité d'azote retenue dans la zone non saturée. Enfin, nous avons montré les dangers qu'il y a à utiliser un tel bilan pour estimer les risques de pollution dès lors qu'il y a des légumineuses dans la rotation. En effet, le solde de ces deux postes conduirait à

la conclusion que les deux monocultures présentent un risque plus élevé que la rotation vis-à-vis de la pollution par les nitrates, alors que dans la zone non saturée de la craie les quantités accumulées d'azote minéral, représentant les quantités perdues par lixiviation, sont du même ordre de grandeur que dans les deux autres traitements.

## Conclusion

A Aulnay-aux-Planches, au cours du printemps 1990, la répartition de l'azote minéral a été mesurée sur les dix premiers mètres du sol pour trois



## Tableau 1

Bilan azoté, sur la période 1976-1985, pendant 10 années culturales, en kg/ha

Culture		Blé	Betterave	Rotation *
Entrées	Engrais	2 075	1 690	1 315
	Pluie	168	168	168
	Fixation biologique	0	0	0
	Total A	2 243	1 858	1 483
Sorties	Exportation	1 067	997	1 124
	Lixiviation	454	359	434
	Volatilisation	0	0	0
	Total B	1 521	1 356	1 558
Solde	A - B	722	502	- 75
Fraction organisée		0,32	0,27	(?)
Fraction lixiviée		0,20	0,19	
Fraction exportée		0,48	0,54	

\* Rotation : succession de betteraves sucrières, blé d'hiver, pois et orge d'hiver.

Nitrogen balance per plot, during 10 farming years (1976-1985), in kg/ha of N

## Tableau 2

Bilan azoté à la parcelle, établi par différence entre les entrées par les engrais et les sorties par exportations des cultures ; comparaison avec l'azote minéral présent dans le sous-sol

	Monoculture blé	Monoculture betterave	Rotation betterave-blé pois-orge
A = entrée engrais	2 075	1 690	1 315
B = sortie exportation	1 067	997	1 124
A - B = solde	1 008	693	191
Azote minéral dans la zone non saturée entre 1,75 m et 5,25 m	454	359	434

Nitrogen balance per plot, established by difference between input by fertilizers and output by nutrient removal ; comparison with the mineral nitrogen present in the subsoil

traitements d'un essai étalé sur quatorze ans : monocultures de blé et de betteraves sucrières, rotation de betteraves, blé, pois et orge d'hiver, ainsi que dans les allées enherbées. Cette étude a permis de quantifier l'influence des pratiques culturales sur la concentration en nitrates de l'eau interstitielle de la craie. Les sondages effectués dans la partie superficielle de la zone non saturée de la craie montrent que la mémoire du passé culturel est conservée.

La comparaison des profils d'azote minéral dans les allées enherbées en

permanence, sans apport d'engrais, a permis de déterminer la vitesse de transfert des nitrates dans la zone non saturée de la craie, soit 0,43 m/an et l'épaisseur de sous-sol concerné par cette expérimentation, soit les niveaux compris entre 1,75 et 6,25 m.

A partir de ces données, un bilan « entrées-sorties » de l'azote sur une période de dix ans a été établi, tous les postes importants du bilan étant mesurés directement dans une succession culturale n'incluant pas de légumineuses.

Les résultats présentés sont parfaite-

ment cohérents avec ceux obtenus dans d'autres situations, utilisant soit les techniques de lysimétrie pour mesurer les pertes en azote, soit celles du marquage isotopique avec <sup>15</sup>N pour quantifier la fraction d'azote minéral de la fertilisation réellement utilisée par la culture [13, 14] ■

## Résumé

Les données culturales obtenues pendant dix années de culture au cours d'une expérimentation, sur rendzine développée sur craie de Champagne et les résultats des forages, profonds de 10 mètres, effectués en fin d'expérience, permettent d'établir un bilan de l'azote à la parcelle. Ils mettent également en évidence l'absence de signification d'un bilan prenant en compte uniquement les apports de fertilisants et les exportations par les cultures, lorsqu'une légumineuse est introduite dans la rotation. La comparaison des apports par les engrais et de l'azote nitrique cumulé dans le profil, montre que les pertes par lixiviation sont proportionnelles aux entrées. Le bilan présente un excédent annuel de 58 kg/ha dans la monoculture de blé, de 40 kg/ha dans la monoculture de betteraves sucrières et, dans la rotation avec l'introduction du pois, un déficit de 19 kg/ha/an, avec des quantités comparables d'azote cumulé dans le sol. La détermination des coefficients d'organisation (26 % pour le blé, 22 % pour la betterave) et de lixiviation (26 % pour le blé, 24 % pour la betterave) a permis de déduire le coefficient réel d'utilisation. Il est respectivement de 48 % et 54 % des entrées pour les monocultures de blé et de betterave. L'étude des profils d'azote minéral, sur les dix premiers mètres du sol, décrit le passé culturel de la parcelle. A 7 et 8 m de profondeur, on retrouve, dans les variations de concentrations en azote minéral, les effets du dactyle ou d'une rotation de betterave-blé implanté 23 ans plutôt. Les profils des allées enherbées à partir de 1977 permettent de mesurer avec précision la vitesse de transfert des nitrates (0,43 m/an).



## Références

1. Ballif JL, Herre C, Muller JC, Aubrion G. Influence des pratiques culturales sur les pertes et le bilan de l'azote. Essai : Rotations de longue durée à Aulnay-aux-Planches. *Trvx St Agro INRA Châlons-sur-Marne* 1991 ; 211 : 44 p.
2. Muller JC, Ballif JL. Sur la teneur en azote nitrique des sols et des couches superficielles de la craie en relation avec les pratiques culturales. *C R Acad Agric F* 1981 ; 67 : 404-19.
3. Baize D, Girard MC. *Référentiel pédologique, principaux sols d'Europe*. Paris : AFES, INRA, 1992 ; 220 p.
4. Ballif JL. Caractères et réserves hydriques des sols sur craie et sur graveluches en Champagne. *Ann Agron* 1980 ; 31 : 473-85.
5. Boiffin J, Sebillotte M. Fertilité, potentialité, aptitudes culturales : signification actuelle pour l'agronomie. *BTI* 1982 ; 370-2.
6. Ballif JL. Porosité de la craie. Appréciation de la taille et de la répartition des pores. *Ann Agron* 1978 ; 29 : 123-31.
7. Ballif JL. Les eaux d'un bassin versant agricole en Champagne crayeuse (1970-1990). Variations du niveau piézométrique et de la teneur en azote minéral dans les zones non saturée et saturée. *Science du Sol* 1992 ; 30 : 1-14.
8. Vachier P, Dever L. Qualité des eaux de recharge de la nappe et pratiques agricoles en pays de craie. Cas de la Champagne. Congrès nitrate, agriculture. Paris 7-8 novembre 1990.
9. Wellings SR, Bell JP. Movement of water and nitrates in the unsaturated zone of upper chalk near Winchester, Hants, England. *J of Hydrology* 1980 ; 48 : 119-36.
10. Bridge LR, Parker JM. The effect of agricultural land use on water quality. *Agricultural Progress* 1989 ; 64 : 19-29.
11. Vachier P, Dever L, Fontes JC. Mouvements de l'eau dans la zone non saturée et alimentation de la nappe de la craie de Champagne (France). Approches isotopique et chimique. *International symposium on the use of isotope techniques in water resources development*. Vienne, Autriche, 30 mars-3 avril 1987 : 1-22.
12. Ballif JL, Herre C. Dix-sept années de mesures lysimétriques en sol de craie non remanié : bilan hydrique 1973-1974 à 1989-1990. *Trvx St Agro. INRA Châlons-sur-Marne* 1991 ; 202 : 33 p.
13. Dowdell RJ, Webster CP, Hill D, Mercer ER. A lysimeter study of the fate of fertilizer nitrogen in spring barley crops grown on shallow soil overlying chalk : crop uptake and leaching losses. *J Soil Sc* 1984 ; 31 : 65-75.
14. Dowdell RJ, Webster CP. A lysimeter study of the fate of nitrogen applied to perennial ryegrass swards : soil analyses and the final balance sheet. *J Soil Sc* 1984 ; 36 : 605-11.

## Remerciements

Les auteurs remercient l'AREP pour avoir mis à leur disposition les données culturales ayant permis l'interprétation des profils d'azote minéral. Ils remercient également François Papy et Michel Robert pour leurs critiques et suggestions.

## Brève

### LA BST TOUJOURS MALME- NÉE PAR LES GROUPES DE PRESSION

La décision récente de la FDA (*food and drugs administration*) d'autoriser la consommation des produits issus de l'utilisation de la BST (hormone de croissance bovine) a très significativement déplacé le débat [1]. Il est en effet de plus en plus admis que cette hormone n'est nuisible ni pour les animaux ni pour les consommateurs. Un groupe de médecins américains tente même de convaincre les consommateurs les plus incrédules (avec l'appui financier d'un industriel qui prépare la BST) [2]. Les problèmes de santé publique que cette hormone était supposée poser ont perdu leur crédibilité et ils ne peuvent donc plus servir de prétexte pour interdire son utilisation. Les problèmes socio-économiques et

politiques demeurent avec toutes les incertitudes que l'on rencontre fréquemment dans ces domaines. Certains continuent à craindre que les petits éleveurs moins compétitifs fassent les frais de l'opération en ne pouvant pas se payer l'hormone et la nourriture de haute qualité qu'impose son utilisation. Les surplus de lait attendus font toujours peur aux responsables politiques qui se voient déjà contraints d'augmenter encore les subventions à l'agriculture. Les États-Unis et la Communauté européenne semblent par ailleurs jouer au chat et à la souris dans cette affaire, l'un attendant la décision de l'autre pour faire son propre choix. L'Europe vient de prolonger le moratoire concernant l'utilisation de la BST. Un des dangers semble être que l'Europe apparaisse encore plus comme un espace où les biotechnologies ne peuvent s'épanouir librement. Les industriels peuvent aussi considérer

qu'un investissement dans ces domaines est décidément trop risqué. Le développement des biotechnologies peut s'en trouver affecté. Deux entreprises (Monsanto et Pitman Moore) ont ainsi décidé d'arrêter leur recherche sur les hormones de croissance bovine et porcine en Europe. La leçon à tirer en tout cas est que la mise au point d'une technique doit plus que jamais avoir auparavant pris en compte non seulement la rentabilité probable de son exploitation mais aussi son acceptabilité par les autorités politiques [3, 4].

Louis-Marie Houdebine

1. Houdebine LM. *Cahiers Agricultures* 1993 ; 2 : 83.
2. Lehrman S. *Nature* 1993 ; 364 : 565.
3. Gershon D. *Nature* 1993 ; 364 : 565.
4. Ward M. *Bio/Technology* 1993 ; 11 : 869.]