

Fertilisation des cultures annuelles et lessivage de l'azote nitrique

J.C. Simon et L. Le Corre

L'ion nitrate, NO_3^- , n'est pas retenu par le complexe argilo-humique du sol. Sous l'action des eaux d'infiltration, il est entraîné en profondeur, hors de portée des racines : on parle alors de lessivage. D'autres anions dont le chlore (Cl^-) et le sulfate (SO_4^{--}) suivent la même dynamique.

En vertu du principe de l'équilibre ionique des solutions aqueuses, la perte d'un anion par lessivage entraîne dans le même temps celle d'un cation de même valence. Aussi le lessivage du nitrate s'accompagne-t-il de celui de cations, en particulier de calcium (Ca^{++}) mais aussi de magnésium (Mg^{++}) de potassium (K^+), etc. (SIMON et LE CORRE, 1989).

Dans cet article, nous rappellerons les principales connaissances relatives au lessivage de l'azote sous forme nitrique, sous cultures annuelles, en relation avec la fertilisation azotée.

• Importance des volumes d'eau drainés

La quantité d'azote sous forme nitrique lessivée au cours d'une année dépend du volume d'eau drainée. Ce dernier est le résultat du bilan hydrique qui dépend des facteurs pédoclimatiques locaux (précipitations, évapotranspiration, capacité

MOTS CLÉS

Azote, drainage, facteur climat, fertilisation, fertilisation raisonnée, lessivage, nitrate.

KEY-WORDS

Climatic factor, drainage, fertilization, leaching, nitrate, nitrogen, rational fertilization.

AUTEURS

I.N.R.A., Station d'Agronomie, 4 rue Stang Vihan, F-29000 Quimper.

Type de climat	Lieu	Précipitations (mm)	Drainage (mm)
CLIMAT OCEANIQUE			
armoricain	Quimper	1 040	550
	St Pol de Léon	900	450
	Rennes	700	200
	Toulouse	700	250
parisien	Versailles	600	150
CLIMAT CONTINENTAL			
auvergnat	Theix	770	400
	Clermont-Ferrand	570	70
vosgien	Colmar	550	40 - 100
CLIMAT MEDITERRANEEN			
	Avignon	600	faible

Tableau établi à partir de diverses sources : BASTISSE, 1953 ; GADET et SOUBIES, 1962 ; COLLIER, 1964 ; COPPENET, 1969 ; GUYOT et DEVILLARD, 1980 ; BONIFACE, 1981 ; TRIBOI, 1981 ; BOUZIGUES, 1982 ; SIMON et LE CORRE, 1988 ; CHAPOT, com. pers.)

TABLEAU 1 : Précipitations moyennes annuelles et drainage moyen annuel pour les principales régions climatiques françaises.

TABLE 1 : Annual rainfall and drainage for the main climatic regions in France.

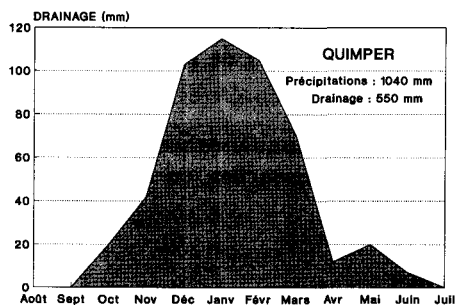


Figure 1

FIGURE 1 : Distribution au cours de l'année des quantités d'eau drainées à Quimper (données moyennes mensuelles, 1968-1988).

FIGURE 1 : Average monthly drainage figures in Quimper (1968-1988).

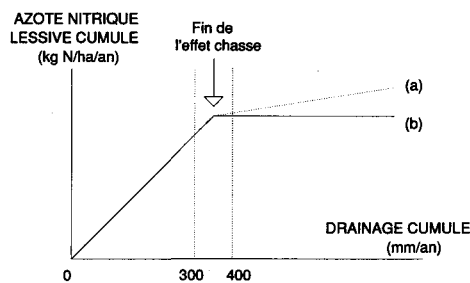


Figure 2

FIGURE 2 : Relation entre quantité d'eau drainée et lessivage de l'azote sous forme nitrique à Quimper.

FIGURE 2 : Relationship between drainage and nitrate leaching in Quimper.

de rétention du sol). Le tableau 1, établi à partir des principaux résultats lysimétriques nationaux, indique l'importance des volumes drainés sous les grands types de climats rencontrés en France.

L'amplitude de variation des quantités d'eau drainées est donc considérable : moins de 100 mm/an en climat continental à plus de 500 mm en climat océanique. Dans l'extrême ouest de la France, le drainage peut ainsi représenter localement 4 à 5 fois la réserve utile du sol.

A Quimper (figure 1), le drainage commence en général en octobre quand les précipitations cumulées dépassent 100 à 120 mm ; il est maximum de décembre à février (plus de 100 mm par mois), et diminue fortement à partir du mois d'avril. Il est nul en période estivale, sauf année très exceptionnelle (SIMON et LE CORRE, 1988, 1989 et 1990).

La plupart des résultats lysimétriques montrent une excellente relation entre les quantités d'azote lessivées et les volumes d'eau drainés. En fait, si l'on observe la cinétique du lessivage de l'azote en situation de drainage très élevé, on observe une courbe qui présente deux parties distinctes (figure 2) :

— au dessous d'une valeur de drainage dite "valeur critique" (qui dépend du type sol considéré), le lessivage de l'azote est proportionnel au volume drainé,

— au-delà, le lessivage est nul ou très faible.

Dans les conditions pédoclimatiques de Quimper (figure 2), cette valeur critique correspond à un drainage cumulé de 300 à 400 mm :

— la première partie de la courbe correspond au lessivage de l'azote nitrique présent dans le profil en automne ; la totalité de cet azote est entraînée en profondeur, hors de portée des racines : on parle d'"effet chasse" ;

— la seconde partie correspond à l'azote minéralisé ensuite au cours de la période hivernale ; différents cas sont possibles : cet azote peut être lessivé si le sol est nu (a), il peut être absorbé par la plante, si un couvert végétal suffisant est en place (b), etc.

On comprend alors que la notion de "reliquat d'azote sortie hiver" a une signification toute relative. Elle n'a de sens que dans les régions où le drainage est inférieur à cette valeur critique. S'il est supérieur, ce reliquat n'existe pas. Les suivis hivernaux d'azote dans les sols de Bretagne occidentale le montrent clairement (VERTÈS et DECAU, 1992) : dans ces régions, l'azote nitrique présent dans le sol au printemps est en fait un reliquat (non lessivé) de la minéralisation hivernale.

• Relation entre niveau de fertilisation azotée et quantité d'azote nitrique lessivé

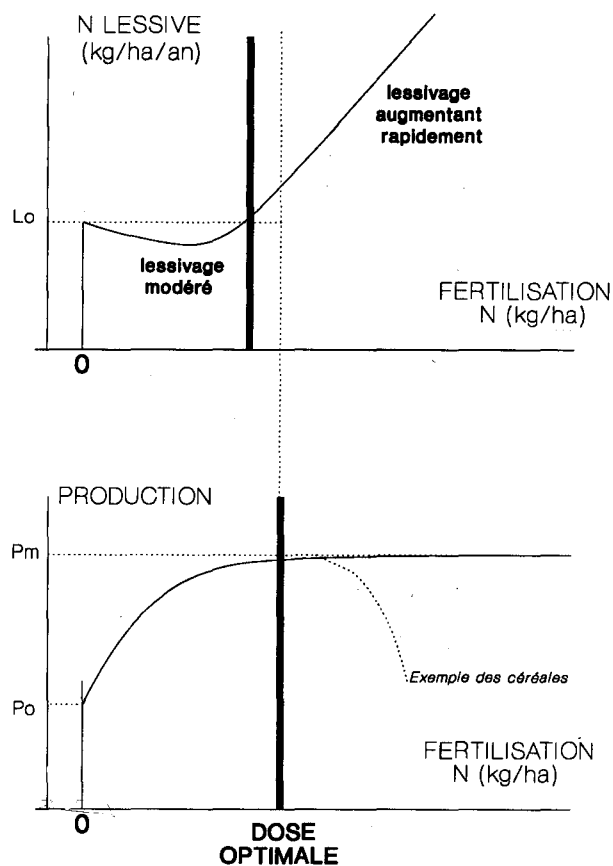


FIGURE 3 : Exemple de relation entre niveau de fertilisation azotée, production de matière sèche et lessivage de l'azote sous forme nitrique.

FIGURE 3 : Example of relationship between nitrogen fertilization, dry-matter production and nitrate leaching.

Les courbes de réponse des cultures aux engrais azotés sont généralement bien connues des agronomes (figure 3) : pour une fertilisation azotée nulle, on obtient une production P_0 . Pour des doses croissantes d'azote, la production augmente jusqu'à une valeur maximale P_m . La dose optimale est définie comme la plus petite quantité d'azote permettant d'obtenir ce niveau P_m . Au-delà, la production plafonne ou chute (verse des céréales, par exemple).

Par contre, les courbes reliant lessivage et niveau de fertilisation sont moins bien connues (figure 3) : pour une fertilisation azotée nulle, le lessivage n'est pas nul (Lo). Pour des doses d'azote croissantes, inférieures à la dose optimale, le lessivage de l'azote demeure modéré et peu différent de Lo (légère diminution pour les faibles doses d'azote du fait d'une stimulation de la croissance qui augmente les exportations par la plante ; légère augmentation pour les valeurs proches de l'optimum). C'est au-delà que le lessivage augmente très rapidement.

A Quimper, sous cultures annuelles, en l'absence de fertilisation azotée, Lo est égal à 50 kg N/ha/an, ce qui correspond à une concentration moyenne des eaux de lessivage de 40 mg NO_3^-/l . Pour une fertilisation azotée optimale, le lessivage est compris entre 60 et 90 kg N/ha/an (soit une moyenne de 48 à 72 mg NO_3^-/l). Au-delà de la dose optimale, le lessivage augmente d'une quantité équivalente à l'excès d'azote apporté (SIMON et LE CORRE, 1988). La présence de cultures dérobées n'ayant pas reçu d'azote, ou de cultures à croissance hivernale forte (crucifères ou graminées fourragères fauchées) diminuent le lessivage (MORVAN et al., 1990 ; SIMON et al., 1989 ; DECAU et SIMON, 1990).

En absence de fertilisation azotée, le lessivage de l'azote sous forme nitrique est inévitable sous culture annuelle en raison d'une utilisation partielle par ce type de cultures de l'azote minéralisé par le sol.

La figure 4 présente l'allure de la courbe de minéralisation possible de l'azote du sol, à Quimper, pour une année humide et pour une année sèche :

- en hiver, la minéralisation est faible mais continue (climat doux et humide),
- au printemps, elle présente un pic (lié à l'augmentation des températures) qui est en partie valorisé par la culture en place,
- en été, elle diminue d'autant plus que la sécheresse est accusée,
- en automne, elle présente un nouveau pic qui est plus important après un été sec (reprise des précipitations sur un sol chaud et sec) ; ce pic n'est pas valorisé en période d'interculture et l'azote ainsi minéralisé est lessivé (intérêt d'une culture dérobée).

• Un équilibre à discuter : relations entre lessivage d'azote et objectif de production

La fertilisation azotée d'une culture est fixée pour atteindre un objectif de production donné. Il apparaît que la quantité d'azote lessivée est d'autant plus importante que la production obtenue s'écarte de l'objectif initial (figure 5).

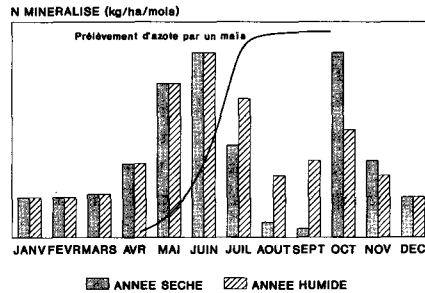


Figure 4

FIGURE 4 : Allure des cinétiques de minéralisation de l'azote organique du sol à Quimper (pour une année humide et une année sèche) et de la courbe de prélèvement d'azote par une culture type : le maïs.

FIGURE 4 : Aspect of soil nitrogen mineralisation kinetics (during a wet and a dry year) and of nitrogen absorption by a maize crop.

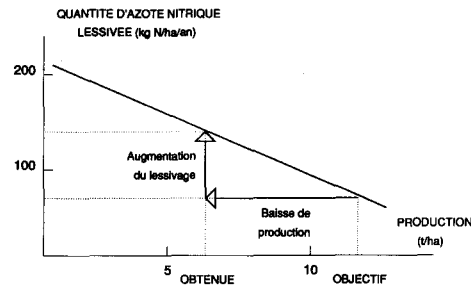


Figure 5

FIGURE 5 : Relation entre le lessivage de l'azote et la production annuelle de matière sèche, pour une monoculture de maïs recevant 120 kg N/ha.

FIGURE 5 : Relationship between nitrogen leaching and annual dry matter production, for a maize monoculture with 120 kg N/ha.

A Quimper, pour une culture de maïs ensilage dont l'objectif de production est de 12 tonnes de matière sèche par hectare, la fertilisation optimale est de 120 kg N/ha. Si, pour des raisons climatiques (froid, sécheresse,...) ou parasitaires, cet objectif n'est pas atteint, le lessivage de l'azote augmente proportionnellement à la chute de production (SIMON et LE CORRE, 1988). La quantité d'azote lessivée est de 60 kg N/ha si l'objectif est atteint. Elle passe à 120-130 kg N/ha si la production diminue de 5 t MS/ha par rapport à l'objectif fixé.

Ainsi, dans une situation pédoclimatique donnée, plus la variabilité de production est forte, moins le lessivage de l'azote peut être maîtrisé.

On conçoit donc que, dans une perspective de protection de l'environnement :

— les objectifs de production doivent être fixés en rapport étroit avec les potentialités pédoclimatiques locales : on ne fixe pas un objectif de 100 quintaux pour le blé dans une zone où son potentiel moyen n'est que de 70 ;

— l'objectif de production ne devrait pas être la production maximale observée sur la parcelle en très bonne année (elle n'est que rarement atteinte, ce qui implique que le lessivage est très souvent supérieur à la valeur attendue) ;

— l'objectif de production devrait être diminué d'autant plus que la variabilité de production est forte.

Travail présenté aux Journées d'information de l'A.F.P.F.,
"Maîtrise de la fertilisation et protection de l'environnement",
les 25 et 26 mars 1991.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BASTISSE E.M. (1953) : "Dix huit années d'études lysimétriques appliquées à l'agronomie : bilan de l'eau", *Ann. Agron.*, 19, 53-76.
- BONIFACE R. (1981) : "Le lessivage des nitrates en zone agricole", *L'eau, la recherche et l'environnement*, 4^e Journées Technique et Scientifiques, 17, 1097-1105.
- BOUZIGUES P. (1982) : *Bilan de 35 années d'observations lysimétriques à Toulouse*, mémoire Université d'Angers, 22 p.
- COLLIER D. (1964) : "Evolution et dynamique de l'azote minéral dans les sols argilo-calcaires de Limagne", *C. R. Acad. Agric.*, 50, 1231-1251.
- COPPENET M. (1969) : "Résultats de douze années d'observations lysimétriques à Quimper (1954-1965)", *Ann. Agron.*, 20 (2), 111-143.
- DECAU M.L., SIMON J.C. (1990) : "Le lessivage d'azote sous prairie", *A la Pointe de l'Elevage*, 224, 28-32.
- GADET R., SOUBIES L. (1962) : "Le bilan de l'azote dans les sols", *C. R. Acad. Agric.*, 145-153.
- GUYOT G., DEVILLARD R. (1980) : *Le climat d'Avignon*, mémoire Station de Bioclimatologie de Montfavet, 20 p.
- MORVAN T., SIMON J.C., LE FLOCH D., LE CORRE L. (1990) : "Cultures dérobées et engrais verts", *A la Pointe de l'Elevage*, 224, 23-25.
- SIMON J.C., LE CORRE L. (1988) : "Lessivage d'azote en monoculture de maïs en sol granitique du Finistère", *Fourrages*, 114, 193-207.
- SIMON J.C., DE MONTARD F., LE CORRE L., PEPIN D. (1989) : "Rôle agronomique de la prairie dans la gestion du drainage des nitrates vers la nappe phréatique", *Fourrages*, 119, 227-241.
- SIMON J.C., LE CORRE L. (1989) : "Lessivage d'éléments minéraux autres que l'azote, en monoculture de maïs, sous sol granitique du Finistère", *Fourrages*, 11, 127-148.
- SIMON J.C., LE CORRE L. (1990) : "Pertes d'azote par lessivage sous cultures annuelles", *A la Pointe de l'Elevage*, 224, 17-21.
- TRIBOI E. (1981) : "Bilans hydriques et minéraux en relation avec le système cultural", *Probleme de agrofitechnie teoritica et applicata* (Roumanie), vol III, n°3, 229-258.
- VERTÈS F., DECAU M.L. (1992) : "Suivis d'azote minéral d'azote dans les sols : risques de lessivage de nitrate selon le couvert végétal", *Fourrages*, 129.

RÉSUMÉ

Dans cet article sont résumées les connaissances de base sur le lessivage de l'azote sous forme nitrique : influence du volume d'eau drainé, du niveau de fertilisation azotée et du niveau de production effectivement obtenu.

SUMMARY

Fertilization of annual crops and nitrate leaching

In this paper, the authors give a summary of basic elements on nitrate leaching : effects of the amount of drainage water, of the nitrogen fertilization, and of the actual yield levels.