



18622 RM



Université Paris VII  
UF d'environnement  
2, Place Jussieu  
75251 Paris Cedex 05

# **L'évaluation de la minéralisation printanière dans les sols cultivés : étude bibliographique**

*Veronique* CORNET

Mémoire de D.E.S.S. "Espace et Milieux"

Maître de stage : R. Delouée

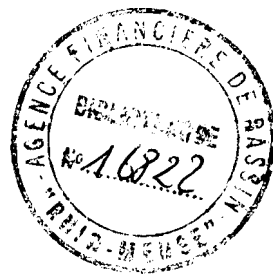
Enseignant responsable : J-F. Turenne

Octobre 1993

AGENCE DE L'EAU SEINE-NORMANDIE .

51, rue Salvador-Allende, 92027 NANTERRE CEDEX, Tél. : (1) 41 20 16 00, FAX (1) 41 20 14

# SOMMAIRE



REMERCIEMENTS	1
INTRODUCTION GENERALE	2
<b>1ère</b> PARTIE : LA MINERALISATION DE L'AZOTE, GENERALITES	4
1.1. LA DECOMPOSITION ET L'HUMIFICATION	5
1.2. LA MINERALISATION AU SENS STRICT	7
1.2.1. Causes de la minéralisation	7
1.2.2. Facteurs de la minéralisation	7
1.3. LA NITRIFICATION	12
1.3.1. Conditions de la <b>nitrification</b>	12
1.3.2. Dénitrification et volatisation	12
1.4. LE CYCLE DE L'AZOTE DANS LES SOLS CULTIVES	13
1.5. CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE	17
<b>2ème</b> PARTIE : APPRECIATION DE LA FOURNITURE D'AZOTE PAR LE SOL	18
2.1. L'ANALYSE DE SOL	18
2.2. LA METHODE DU BILAN PREVISIONNEL	20
2.2.1. Définition	20
2.2.2. Analyse du modèle	21
2.2.3. Améliorations du modèle	23
2.2.4. Conclusion	25
2.3. OPERATIONS REALISEES POUR APPRECIER LA FOURNITURE D'AZOTE DANS LE SOL	26
2.3.1. L'échantillon de terre	27
2.3.2. Les méthodes d'analyse	27
2.3.3. La modélisation mathématique	38
2.3.4. Expression des potentialités au champ	40
2.3.5. Les méthodes de validation	43

2.4. CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE	45
<b>3<sup>ème</sup></b> PARTIE : PRINCIPAUX RESULTATS EXPERIMENTAUX	47
3.1. MINERALISATION AU LABORATOIRE ET CARACTERISTIQUES DU SOL	47
3.2. RELATIONS ENTRE LE <del>P&amp;V</del> <sup>P&amp;V</sup> MINERALISATEUR DES SOLS ET LA MINERALISATION NETTE DE L'AZOTE AU CHAMP	51
3.3. ESTIMATION GLOBALE DES FOURNITURES EN AZOTE PAR DES RESEAUX D'EXPERIMENTATION	54
3.4. CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE	59
CONCLUSIONS GENERALES	60
BIBLIOGRAPHIE	64
ANNEXES	75
LISTE DES ANNEXES	76

## INTRODUCTION GENERALE

L'azote est avec l'eau un facteur prépondérant de la production végétale, mais comme tout composé indispensable à la vie c'est également un facteur limitant.

**97,82** % de l'azote terrestre se trouvent dans la ~~lithosphère~~, **1,96** % dans l'atmosphère et seulement **0,02** % dans l'écosphère.

**86,76** % de l'azote de l'écosphère sont sous forme organique, **12,35** % sont sous forme minérale et **0,69** % dans les plantes et les animaux (Porter 1975). L'azote de la lithosphère étant pratiquement inutilisable par les plantes, l'essentiel de l'azote récupérable par celles-ci se situe dans l'atmosphère (azote moléculaire) et la biosphère (azote minéral et organique).

Dans le sol il y a en fait très peu d'azote assimilable (généralement moins de 10 % dans les sols cultivés). Par contre la plus grande partie de l'azote se trouve sous forme de **biomasse** (végétale, animale, microbienne) et de ~~nécromasse~~ (litière, humus sous formes variées).

Hormis le mécanisme de fixation d'azote atmosphérique, les plantes ne peuvent assimiler l'azote que sous formes oxydée ou réduite. En fait, c'est la même quantité minime qui est récupérée par les plantes et, sans arrêt, recyclée ; les micro-organismes en utilisant une source énergétique, généralement d'origine végétale, ont la possibilité de "réorganiser" l'azote minéral, libéré par d'autres organismes en azote organique. Ces évolutions permanentes entre minéralisation et réorganisation rendent difficile la prévision des quantités d'azote effectivement disponibles pour la plante au moment où ses besoins se manifestent.

Aujourd'hui la gestion raisonnée de la fertilisation azotée des sols cultivés est primordiale. Ceci pour deux raisons : économique d'abord, l'unité d'azote revient très cher, écologique ensuite, car l'excès d'azote minéral apporté au sol, et non consommé par la culture, peut être transféré en profondeur au cours de l'hiver suivant l'apport et, de ce fait, participer à la pollution azotée des aquifères.

Les teneurs en nitrates des eaux superficielles et souterraines sont aujourd'hui plus élevées qu'il y a 40 ans, et cette augmentation est à mettre en relation avec l'intensification de l'agriculture (Hénin 1980).

L'excès de nitrate dans l'eau peut avoir des incidences sur la santé des foetus et des jeunes vertébrés (risque de ~~méthémoglobinémie~~). Certaines espèces sont plus sensibles que d'autres (cheval, porc et volailles). De trop grandes teneurs en nitrates favorisent également les phénomènes d'eutrophisation des eaux superficielles ; l'eutrophisation pouvant entraîner la mort des poissons.

Aussi, en application de la directive communautaire du 15 juillet 1980, les eaux destinées à la consommation humaine doivent avoir une teneur en

nitrate inférieure ou au plus égale à **50 mg/L**. Cette limite est souvent dépassée, notamment dans le Bassin Seine-Normandie.

Les Agences de Bassin veulent maîtriser la pollution des eaux, et leurs actions dans ce domaine passent, entre autres, par l'amélioration des méthodes de prévision de la fumure azotée. En France, les agriculteurs utilisent "la méthode du bilan". Cette méthode suppose de connaître l'aptitude des sols cultivés à fournir de l'azote minéral, donc, leur capacité de minéralisation, en particulier **au** printemps, période de minéralisation maximale sous nos climats.

A la notion de bilan global, fait surtout d'estimations des principaux postes, les Agences de Bassin souhaitent substituer d'une part, un meilleur "calage" des paramètres afin qu'ils "collent" aux réalités locales et, d'autre part, disposer d'outils de pilotage permettant à l'exploitant d'adapter son comportement en fonction du climat de l'année.

C'est dans cette optique de gestion raisonnée des sols cultivés que l'Agence de Bassin Seine-Normandie a demandé de faire le point sur les connaissances concernant l'évaluation des fournitures en azote du sol, afin de déterminer si les méthodes d'analyse de terre actuellement pratiquées, peuvent être utilisées pour connaître les ordres de grandeur de cette fourniture d'azote par le sol.

Cette étude se décompose en trois parties :

- Dans la première partie sont détaillés les processus de minéralisation de l'azote et l'influence des différents facteurs mis en jeu.
- La deuxième partie est une étude bibliographique des méthodes d'évaluation de la minéralisation de l'azote mis au point par des organismes de recherche agronomiques ou techniques de différents pays.  
**Les principes et les modes opératoires de ces techniques seront présentés assez succinctement**, l'accent étant mis surtout sur leur domaine de validité, et sur leurs possibilités d'utilisations.
- Dans la troisième et dernière partie, seront exposés les résultats qui nous ont paru les plus intéressants, c'est à dire ceux qui pourraient permettre, à partir des données des analyses de terre, de prévoir la quantité d'azote minéral résultant de la minéralisation de la matière organique du sol. Le but étant de déterminer plus précisément la quantité d'engrais azoté à apporter à la culture pour un rendement souhaité, et dans des conditions pédo-climatiques diverses.

## CONCLUSIONS GÉNÉRALES

TABLEAU RECAPITULATIF

	N "minéralisable"		N minéralisé au champ	
	ind. biol	ind. chim.	FS global	min.MO
indices chimiques				
indices biologiques		(X)		
caract-analyse de terre	X			X
température du sol	X			
humidité du sol (t°C)	X			
Rsh			X	
Nexp. témoin NO	(X)		X	
Nexp. culture serre	X	X		
profondeur nappe			X	
précipitation (mm)			X	
pH				X
t° moyenne annuelle				X
histoire culturale			X	X

**FS** : fourniture en azote du sol

**min. MO** : calcul d'un coefficient de minéralisation de la matière organique du sol.

**Rsh** : reliquat d'azote minéral à la sortie d'hiver.

**(X)** : très peu de résultats.

Une meilleure gestion de la fertilisation azotée est indispensable si l'on veut réduire les teneurs en nitrates des eaux.

Actuellement le calcul de la quantité d'engrais azoté à apporter aux cultures pour un objectif de rendement donné est imprécis et, trop souvent, on constate une surfertilisation. La méthode du bilan, qui est utilisée en France pour la gestion de la fertilisation azotée, prend en compte l'apport d'azote minéral par le sol lui-même. Malheureusement, à l'heure actuelle, l'estimation de cette fourniture d'azote est loin d'être satisfaisante.

L'azote minéral du sol provient de la minéralisation de la matière organique du sol **et/ou** de celle de composés exogènes **comme** les résidus de culture ou les amendements organiques. La minéralisation est un **processus**

essentiellement biologique basé sur des réactions d'oxydo-réduction. Aux facteurs, température, humidité, aération, pH qui, comme dans tout processus biologique, ont un rôle important, s'ajoutent des facteurs spécifiques concernant l'état et la nature de la matière organique elle-même.

De plus, il faut savoir que l'azote minéral présent à un moment donné dans le sol est la résultante d'un constant va-et-vient entre minéralisation et réorganisation :

*minéralisation ou réorganisation nette = minéralisation brute - réorganisation brute.*

De nombreuses méthodes d'évaluation de la minéralisation nette ont été testées avec plus ou moins de succès. Dans cette étude nous avons essayé d'aborder ces différentes techniques, et nous avons pu constater qu'actuellement aucune n'est capable de prédire avec suffisamment de précision la quantité d'azote fournie par le sol dans des conditions pédo-climatiques variées.

L'estimation de "l'azote minéralisable" ou du "pouvoir minéralisateur" d'un sol, par les extractions physico-chimiques ou par les incubations en milieu contrôlé, a pour but d'apprécier par une méthode simple la quantité d'azote susceptible de **minéraliser** au champ.

Les méthodes d'extraction des formes de l'azote correspondent pour la plupart à des extractions différentielles : il s'agit en effet d'un mélange de formes azotées réagissant aux différentes attaques des réactifs extractants. Les résultats correspondent à une forme particulière de composé azoté présente au moment du prélèvement.

Les méthodes d'incubation *in vitro*, plus proches de la réalité biologique, sont actuellement considérées comme étant **les plus fiables**.

Certains chercheurs ont mis en évidence des corrélations significatives entre les coefficients de minéralisation, déterminés au laboratoire, et les paramètres physico-chimiques ou biologiques du sol. Ces relations sont intéressantes et pourraient permettre d'éviter l'étape "incubation". Cependant, le problème principal de ces tests biologiques, ainsi que des tests **physico-chimiques**, est qu'ils sont seulement bien corrélés avec les essais en serre, (mis à part quelques rares résultats avec des essais *in situ*), lesquels ne donnent pas une indication réelle de l'application de ces tests à la prédiction au champ.

L'extrapolation des résultats des tests de minéralisation effectués au laboratoire, aux conditions du champ, nécessite d'avoir une bonne **connaissance** des facteurs qui limitent l'expression du pouvoir minéralisateur.

Les argiles exercent également un rôle essentiel par l'intermédiaire des associations organo-minérales auxquelles elles participent, et qui mettent la matière organique à l'abri des actions enzymatiques.

La détermination de l'azote minéralisable par les extractions chimiques ne prend pas en compte ces associations. Les réactifs utilisés solubilisent un certain pourcentage de l'azote organique du sol, ce pourcentage variant avec la force de l'extractant. D'où l'idée de certains chercheurs d'orienter leurs **études**

vers la détermination des fractions de la matière organique qui subissent la minéralisation dans ces **condi** tions.

D'après les données de la littérature, on peut supposer que seulement un petit nombre de fractions sont intéressantes à prendre en compte. Parmi elles il y a la biomasse microbienne. Cette dernière a donné lieu à de nombreuses **études** et les techniques pour mesurer la taille et le **turn-over** de ce compartiment sont relativement fiables.

En ce qui concerne les autres fractions importantes, des études sont en cours. L'utilisation récente des techniques de double marquage ( $^{15}\text{N}$  et  $^{13}\text{C}$ ) permet de mesurer simultanément les vitesses de transformation et de minéralisation de l'azote et du carbone organiques. Une connaissance approfondie des différents pools de matière organique permettrait de les relier aux fractions granulométriques, et de mieux cibler les recherches sur la mesure de l'azote minéralisable au champ.

Il n'en reste pas moins qu'il est indispensable de quantifier les effets de la température, de l'**hydromorphie** des sols, de l'histoire culturale et des techniques de travail du sol dans les processus de minéralisation-réorganisation de l'azote. La nature de la succession des **événements** climatiques, les épisodes secs ou pluvieux, les périodes chaudes ou froides, pluies abondantes ou faibles, les périodes de réchauffement ou de refroidissement, de **réhumectation** ou **d'assèchement**, interviennent pour régler le niveau de nitrates dans le sol. De même l'état du sol, nu ou cultivé, l'état et le stade de la végétation, les dates et les quantités effectives d'apport d'engrais vont agir sur le stock disponible d'azote.

Les méthodes exposées ici ne sont qu'un instantané, et ne prennent de sens que si les échantillons de sol sont replacés dans une séquence dynamique : séquence climatique, séquence pédologique (haut de pente, bas de pente, semelle de labour, drainage superficielle . . .) et séquence agronomique (pratiques culturales . . .). **Ces** t la situation de l'échantillon de sol dans ces phases dynamiques qui va permettre d'interpréter les résultats, de caractériser l'importance relative des différents problèmes d'azote et de carbone et l'interaction des différents facteurs de transformation des formes azotées.

Il paraît donc nécessaire de multiplier les études en parallèle champ et laboratoire, et de réaliser des expériences dans lesquelles l'influence conjuguée de plusieurs facteurs serait approchée.

Une approche de type "boîte noire" peut consister en l'enregistrement systématique des données de **minéralisations** nettes et des conditions dans lesquelles elles ont été obtenues (type de sol - restitutions organiques - climat **du sol** et de l'atmosphère . . .). Le dépouillement statistique d'un grand nombre de **ces** données, triées judicieusement, permettrait ainsi de bâtir un modèle mathématique, puis de comparer ce dernier aux modèles descriptifs des ; matières organiques du sol.

Parallèlement, il est indispensable que les recherches concernant le fractionnement de la matière organique, de même que les études sur les interactions cycle du carbone-cycle de l'azote soient poursuivies. Ceci **toujours**



dans le but de mieux connaître, donc de prévoir judicieusement, les transformations des formes organiques de l'azote dans le sol.

Il ne faut cependant pas perdre de vue que le but d'un indice de fourniture d'azote par le sol, est d'être utilisé par les agriculteurs. Il faut par conséquent définir un niveau de précision et le concevoir pour une utilisation simple, parcelle par parcelle. Il devra entre autre facilement se relier au passé **cultural** et aux conditions **climatiques** et être rapidement obtenu.

Etant donné la complexité des phénomènes mis en jeu, la mise au point d'un indicateur du sol, permettant la prévision de la **minéralisation** de printemps dans les sols cultivés, doit être envisagée dans un contexte pluridisciplinaire. Je pense que c'est par la coordination des résultats des différentes **équipes** de recherches en microbiologie, biochimie, physique et chimie du sol, et des techniciens de terrain que l'on peut espérer atteindre cet objectif.