

## Appréciation de la fourniture d'azote par le sol

Gérard Catroux, Rémi Chaussod, Bernard Nicolardot

► **To cite this version:**

Gérard Catroux, Rémi Chaussod, Bernard Nicolardot. Appréciation de la fourniture d'azote par le sol. Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France, Académie d'agriculture de France, 1987, 73, pp.71-79. hal-01865848

**HAL Id: hal-01865848**

**<https://hal-agrosup-dijon.archives-ouvertes.fr/hal-01865848>**

Submitted on 2 Sep 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## APPRECIATION DE LA FOURNITURE D'AZOTE PAR LE SOL ASSESSMENT OF NITROGEN SUPPLY FROM THE SOIL

par G. Catroux, R. Chaussod et B. Nicolardot(\*)

### RESUME

Les méthodes disponibles d'appréciation de la fourniture d'azote par le sol ont été analysées. L'intérêt des incubations suivies de modélisation mathématique est souligné. Quelques approches à développer sont proposées : la prise en compte de la biomasse microbienne comme source d'azote minéralisable et de la localisation de matières organiques de biodégradabilité différente sur des fractions granulométriques différentes.

### SUMMARY

A short survey of available methods for the assessment of nitrogen supply from soil is presented. The main problems were reviewed concerning soil sample treatment and storage, chemical and incubation methods.

Concerning chemical methods, the main conclusion is it remains unrealistic to have with one extracting solution only the mineralizable nitrogen as it is spreaded in various fractions and various biochemical compounds.

Concerning incubation methods, attention was focused on the need to use long term incubations interpreted by mathematical modelling with the purpose of soil characterization.

Some interesting research topics were pointed out for the future. The microbial biomass in itself is a potential nitrogen source after soil drying or heating. A few datas emphasize the relationships between clay content of soils and mineralizable nitrogen. Organic matter located on different particle size fractions is different from a mineralization point of view. These points must be taken into account more carefully in the future.

### I - Introduction

Il est couramment admis que la quantité d'azote minéralisé chaque année à partir de la matière organique du sol est de l'ordre de 1 à 3 p. cent de l'azote total (Bremner, 1965). Ceci correspond, très grossièrement, à des quantités de l'ordre de 25 kg à plus de 100 kg d'azote par hectare et par an. De telles quantités, si elles n'étaient pas prises en compte dans la détermination de la fumure azotée, seraient bien au-delà de ce que l'on peut accepter, tant du point de vue d'une utilisation efficace de l'engrais azoté que du point de vue de la pollution.

Or, dans la pratique, cet azote minéralisé est généralement mal pris en compte, très probablement parce que nous ne disposons pas de bonnes méthodes de prévision de la fourniture d'azote par le sol.

C'est pourtant un problème que les agronomes tentent de résoudre depuis longtemps et des revues très complètes ont été publiées sur ce sujet (Bremner, 1965 ; Stanford, 1982 ; Keeney, 1982).

Après avoir rappelé les difficultés liées à ce problème et analysé brièvement les méthodes disponibles et leurs limites, nous tenterons de dégager quelques orientations de recherche à développer pour

(\*) INRA - Laboratoire de Microbiologie des sols - B.P. 1540 - 21034 Dijon Cédex.

aboutir à une méthode simple d'appréciation de la fourniture potentielle d'azote par le sol.

## II - Le problème à résoudre

Il se pose en ces termes : comment, à partir d'un échantillon de terre, arriver à prévoir la quantité d'azote qui sera minéralisée au champ ? La figure 1 résume le schéma des différentes opérations réalisées jusqu'à présent.

A partir d'un échantillon de terre, il va être recherché, par l'analyse :

— soit à déterminer un indice directement corrélé à l'azote minéralisé au champ (figure 1, voie 1) ;

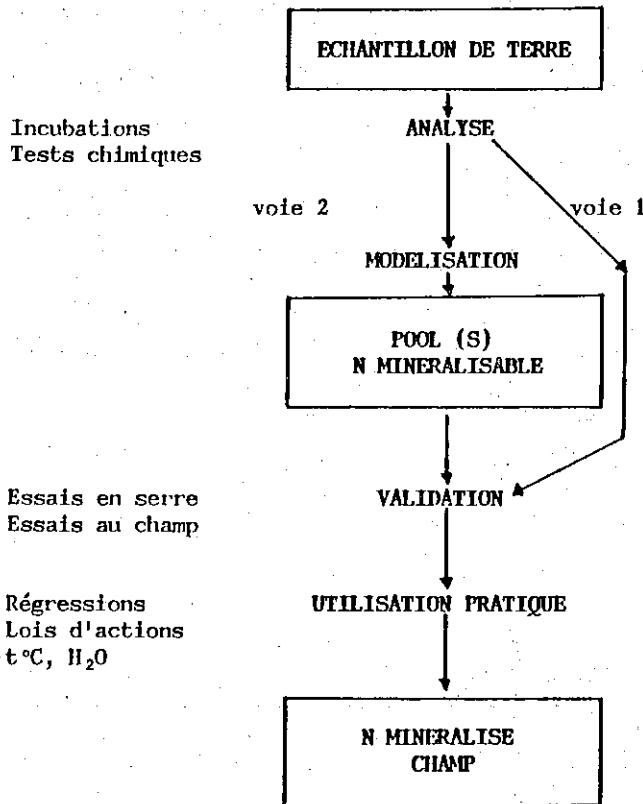


Figure 1 : Schéma des opérations à réaliser pour apprécier la fourniture d'azote dans le sol.

— soit à déterminer à l'aide d'une modélisation, la taille d'un ou de plusieurs pools d'azote minéralisable (figure 1, voie 2) et à les relier à l'azote réellement minéralisé au champ grâce à des essais en serre ou au champ.

Les problèmes à résoudre se sont posés et se posent encore à tous les niveaux.

#### a) L'échantillon de terre

Il est connu que la minéralisation de l'azote varie avec la profondeur de prélèvement (Cassman et Munns, 1980). Ceci impose donc, si l'on veut estimer la minéralisation sur la profondeur correspondant à l'enracinement, que l'on multiplie les échantillons.

La préparation et le stockage des échantillons jouent de façon importante :

— le tamisage et le broyage augmentent la minéralisation en incubation (Craswell et Waring, 1972 ; Hiura *et al.*, 1976) ;

— le séchage provoque un accroissement de minéralisation dû à la mortalité d'une partie de la biomasse microbienne et à la libération de matières organiques auparavant inaccessibles (Marumoto *et al.*, 1982 ; Seneviratne et Wild, 1985).

L'étude d'échantillons non séchés, conservés au froid (4° C) le moins longtemps possible est donc conseillée ; elle permet de limiter au maximum la mortalité de la biomasse microbienne.

#### b) Les méthodes d'analyse

Elles peuvent être classées en deux grands types, les méthodes chimiques et les incubations.

*Les méthodes chimiques* ont pour principe de déterminer la quantité d'azote solubilisé par des réactifs censés simuler l'activité minéralisatrice de la microflore du sol. Elles présentent l'intérêt d'être plus rapides et plus simples à mettre en œuvre que les incubations. De très nombreuses extractions ont été pratiquées utilisant des réactifs acides ou alcalins de force variable, associés ou non à des oxydants. Ils extraient pour la plupart des quantités d'azote plus importantes que celles minéralisées en incubation ou au champ. L'extraction par des solutions salines diluées semble préférée actuellement et on citera :

— l'extraction par  $\text{CaCl}_2$  (0,01 M) à 121° C pendant 16 heures suivie d'un dosage de l'azote ammoniacal (Smith et Stanford, 1971) ;

— l'extraction par  $\text{NaHCO}_3$  (0,01 M) à 20° C pendant 15 minutes suivie du dosage de l'azote total (Mc Lean, 1964 ; Fox et Piekielek, 1978) ;

— l'extraction par  $\text{CaCl}_2$  (0,01 M) à 100° C pendant une heure suivie du dosage de l'azote total (Fox et Piekielek, 1978).

Toutes ces méthodes sont données comme bien corrélées soit à des résultats obtenus en incubation, soit à des essais sur végétaux.

En fait, il faudrait, pour choisir un réactif d'extraction de l'azote minéralisable, savoir de quelles fractions et de quels types de composés ce dernier provient.

Or, l'azote organique du sol est constitué de 20 à 35 p. cent d'azote non hydrolysable par les acides concentrés donc de nature chimique inconnue. La partie hydrolysable contiendrait 20 à 35 p. cent d'azote

ammoniacal, 30 à 45 p. cent d'azote d'acides aminés, 5 à 10 p. cent d'azote d'aminosucres et 10 à 20 p. cent d'azote de nature inconnue (Stevenson, 1982).

Par ailleurs, il a été constaté lors d'incubations prolongées que si c'était, globalement, l'azote  $\alpha$  aminé (acides aminés et protéines) qui diminuait le plus, toutes les autres fractions étaient touchées (Keeney et Bremner, 1966 ; Hayashi et Harada, 1969). Il est, dans ces conditions, difficile de trouver un réactif d'extraction de l'azote minéralisable. C'est bien à cette conclusion qu'arrivaient Juma et Paul (1984) qui ont montré, à l'aide de sols dont la matière organique était marquée à l'azote 15, que différents réactifs extraient des quantités différentes d'azote ayant des excès isotopiques différents.

On peut cependant penser que, pour un type pédologique donné, la répartition entre les différentes formes d'azote est suffisamment constante pour qu'une méthode d'extraction chimique donne un indice étroitement corrélé avec l'azote minéralisable.

Les incubations ont pour principe de déterminer la quantité d'azote minéral produite sous l'action de la microflore du sol dans un échantillon de terre incubé au laboratoire. Bien qu'elles soient longues à mettre en œuvre et difficiles à interpréter, les incubations sont universellement reconnues comme un bon modèle expérimental de ce qui peut se passer dans le sol.

Deux grandes démarches ont été suivies jusqu'à présent.

La première consiste à incuber l'échantillon pendant un temps et dans des conditions bien déterminées et à relier l'azote minéralisé obtenu lors de l'incubation à la croissance de végétaux en serre ou au champ, donc à l'azote réellement minéralisé. C'est la démarche proposée notamment par Drouineau et Lefèvre (1949) avec une incubation aérobie de 28 jours à 28° C. C'est aussi celle recommandée par Bremner (1965) avec une incubation aérobie de 14 jours à 30° C. Ce dernier ayant obtenu une bonne corrélation entre incubations en aérobie et en anaérobiose propose un test plus court et plus simple à mettre en œuvre : l'incubation en anaérobiose 7 jours à 40° C (Waring et Bremner 1964). C'est encore cette méthode en anaérobiose qui est recommandée par Keeney (1982).

La seconde consiste à pratiquer des incubations de longue durée et, partant de l'hypothèse de l'existence d'un ou de plusieurs pools d'azote minéralisable, à estimer ces pools, auxquels on ne peut accéder directement par un dosage ou une mesure, par ajustement mathématique. C'est la démarche très féconde qui a été proposée par Stanford et Smith (1972). Ces auteurs interprètent les résultats d'incubation en aérobie de longue durée (210 jours à 35° C) en supposant que l'azote minéralisé provient d'un seul compartiment, l'azote potentiellement minéralisable, dont la minéralisation suit une cinétique du premier ordre. Cette méthode, qui a ses limites, fut à l'origine d'une nouvelle conception en matière d'estimation de l'azote potentiellement minéralisable, conception s'appuyant sur la modélisation mathématique sur laquelle nous reviendrons.

On peut adresser trois critiques majeures aux méthodes d'incubations. Tout d'abord, elles ne prennent généralement pas en compte les effets des minéraux, notamment le phosphore, sur la minéralisation de l'azote. Or il a été montré que le phosphore sous forme d'ortho-

phosphate augmente l'immobilisation de l'azote ammoniacal en incubation anaérobie (Ryan et Sims, 1974) conduisant à une estimation par défaut de la minéralisation.

Par ailleurs, les incubations sont réalisées en conditions de température et d'humidité aussi constantes que possible. Or la situation au champ n'est, en fait, qu'une suite de stress thermiques et hydriques dont l'influence sur la matière organique et sur la biomasse microbienne est très importante.

Enfin, il n'y a pas d'entrée de carbone organique dans l'échantillon au cours de l'incubation, contrairement au champ. Ceci conduit, pour les incubations de longue durée, à observer une diminution de la biomasse microbienne et corrélativement une minéralisation de son azote, ce qui n'est pas le cas au champ, ou tout du moins pas au même rythme.

### c) La modélisation mathématique

Très schématiquement, on peut distinguer deux types de modèles mathématiques qui peuvent permettre, dans certaines conditions, d'estimer l'azote potentiellement minéralisable.

Les modèles décrivant le fonctionnement du cycle de l'azote, du devenir de la matière organique, tels que ceux proposés par Van Veen *et al.* (1985) et Jenkinson *et al.* (1981) sont en fait conçus dans un but de connaissance. S'ils permettent d'orienter les recherches par la définition de compartiments azotés différents de ceux pris en compte jusqu'à présent, ils ne sont pas ou peu opérationnels pour le problème qui nous intéresse.

Par contre, les modèles plus simples, reposant sur des ajustements mathématiques comme celui proposé par Stanford et Smith (1972) apparaissent comme beaucoup plus utilisables.

On rappellera brièvement ce que proposent ces auteurs :

L'azote minéralisé à l'instant  $t$  ( $N$ ) est relié à l'azote potentiellement minéralisable ( $N_0$ ) par l'équation :

$$N = N_0(1 - e^{-kt})$$

où  $t$  est le temps (semaines) et  $k$  une constante (semaines<sup>-1</sup>) qui serait invariable selon les sols.

Il suffit donc, tout au long de l'incubation, de mesurer  $N$  et de procéder par ajustement mathématique, à la détermination de  $N_0$  et  $k$ . Depuis son apparition, ce modèle et les calculs qui s'y rattachent ont fait l'objet de nombreuses critiques et améliorations. Citons :

— la nécessité de travailler sur de longues durées et de considérer simultanément  $N_0$  et  $k$  (Mary et Rémy, 1979) ;

— la nécessité d'utiliser des techniques mathématiques d'ajustement performantes (Mary et Rémy, 1979 ; Molina *et al.*, 1980) ;

— l'intérêt qu'il y a à considérer non pas un seul mais deux compartiments. Le premier serait de l'azote facilement minéralisable se dégradant suivant une cinétique d'ordre zéro (Jones, 1984) ou suivant une cinétique de premier ordre (Deans *et al.*, 1986). Le second serait de l'azote plus résistant se dégradant suivant une cinétique de premier ordre.

On notera que, pour l'esprit, un modèle à deux compartiments est beaucoup plus satisfaisant, il permet notamment de rendre compte du

« flush » initial de minéralisation (sols séchés notamment). Il imposera cependant pour une définition précise et fiable des paramètres, un grand nombre de déterminations de l'azote minéralisé au cours d'incubations de longue durée.

Ceci étant, cette modélisation permet de caractériser un sol pour un (ou deux) compartiment d'azote minéralisable et les constantes de vitesse qui s'y rattachent. C'est donc une approche de base autour de laquelle devront s'articuler toutes les recherches à venir.

#### d) Les méthodes de validation et l'utilisation pratique

Il convient de rappeler ici que la validation des résultats obtenus en laboratoire s'effectue généralement par des essais en pots à la serre ou par des essais agronomiques. L'absence de contrôle des paramètres climatiques, des pertes possibles par lessivage et/ou dénitrification, conduit à des incertitudes dans la validation.

Par ailleurs, les lois d'action de la température, de l'humidité et de l'aération sur la minéralisation de l'azote sont peu connues, notamment lorsque l'on considère des types de sol différents.

Il y a là un besoin de connaissances certain.

### III - Quelques approches à développer

#### a) La biomasse microbienne

Elle représente environ 5 p. cent de l'azote organique du sol et peut être source d'azote minéralisable lorsqu'elle meurt (Nicolardot *et al.*, 1986). Au champ, on n'observe pas de variation de biomasse car les plantes apportent du carbone organique autorisant ainsi un renouvellement de cette dernière qui doit probablement libérer une partie de son azote à cette occasion.

Une meilleure connaissance du taux de renouvellement de la biomasse microbienne au champ devrait permettre de mieux chiffrer cette contribution. De même, l'effet de la dessiccation mériterait d'être mieux connu par son effet létal sur la biomasse (Marumoto *et al.*, 1982).

#### b) L'influence de l'argile

Il est bien connu que teneurs en matières organiques et en argile varient dans le même sens. Par ailleurs, on attribue aux argiles des propriétés de protection des matières organiques contre la dégradation microbienne. Il est, dès lors, curieux que l'on n'ait pas porté plus d'attention à l'influence de ce facteur sur la minéralisation de l'azote et sur sa détermination.

Par une approche globale, Delphin (1986) a montré sur 16 sols incubés à 20° C. que l'azote minéralisé entre 25 et 300 jours, était relié aux teneurs en azote total et en argile des sols selon les régressions suivantes pour ne citer que les deux meilleures :

$$N \text{ minéralisable} = N \text{ total} - 0,056 \text{ Argile (\%)} + 32,2 \quad (R^2 = 0,86)$$

$$N \text{ minéralisable} = N \text{ total} - 0,047 \text{ Argile (\%)} - 0,62 \text{ Calcaire (\%)} + 34,0 \quad (R^2 = 0,93)$$

De même, Chaussod *et al.* (1986) travaillant sur 14 sols à 28° C ont montré que l'azote minéralisé entre 0 et 28 jours exprimé en p. cent

$$N \text{ MINERALISABLE} = 12,5 N \text{ TOTAL} - 0,056 \text{ ARGILE} + 32,2 \quad (R^2 = 0,86)$$

$$N \text{ MINERALISABLE} = 11,6 N \text{ TOTAL} - 0,047 \text{ ARGILE} - 0,62 \text{ CALCAIRE ACTIF} + 34,6$$

$$(N \text{ total, Argile et Calcaire actif en p. mille}) \quad (R^2 = 0,93)$$

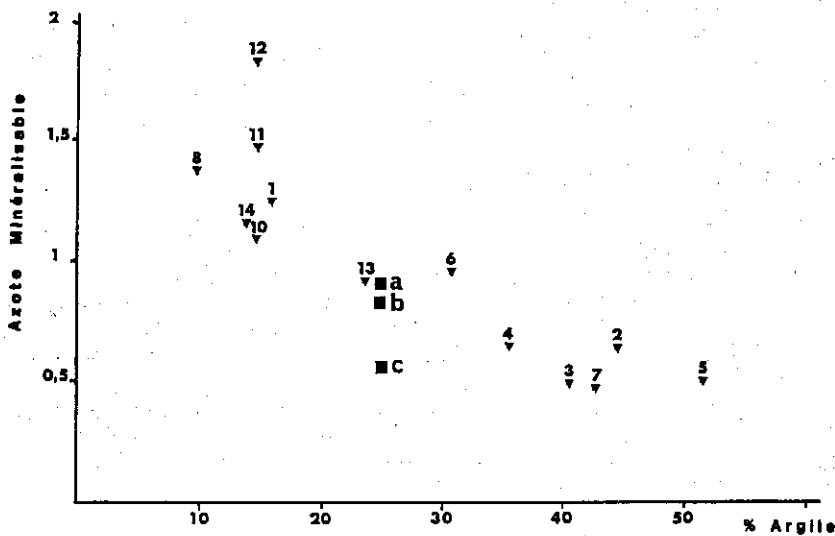
de l'azote total, était relié à la teneur en argile. Un ajustement linéaire donne la relation :

$$N \text{ minéralisé (p. cent N total)} = 0,273 \text{ Argile (\%)} + 17,1 \quad (R^2 = 0,885)$$

La figure 2 correspond aux résultats obtenus par Chaussod *et al.* (1986) et montre notamment que l'ajustement linéaire n'est pas le meilleur. Elle montre aussi, pour les points A, B, C correspondant à trois parcelles d'un même sol mais de statut organique différent, la validité de la relation.

Figure 2 : Relation entre l'azote minéralisé en % de N total en 28 jours à 28° C et la teneur en argile des sols d'après Chaussod *et al.* (1986).

Les points A B C correspondent à trois parcelles du même sol ayant des teneurs différentes en azote total.



D'autres auteurs, par une approche avec modélisation, obtiennent des résultats allant dans le même sens. Jones (1984) montre avec un modèle à deux compartiments que l'azote difficilement minéralisable est corrélé positivement à l'argile. Herlihy (1979) sur 6 sols avec le modèle de Stanford et Smith (1972) montre que le produit Nok (où No est l'azote potentiellement minéralisable et k la constante de vitesse) est corrélé à l'argile. A noter que le produit Nok représente en fait la quantité d'azote minéralisé par unité de temps au début de minéralisation. De même, Nordmeyer et Richter (1985) montrent sur 18 sols avec un modèle à deux compartiments pour l'azote difficilement minéralisable que :

$$Nk = - 0,21 + 0,26 \text{ Argile (\%)} \quad (R^2 = 0,946)$$

Il semble donc qu'il y ait là une approche à développer : rechercher et valider des relations entre azote minéralisable en incubation et caractéristiques de sols accessibles facilement par l'analyse.



### c) L'état et la localisation de la matière organique

Il a été montré par de nombreux auteurs que le fractionnement granulométrique permet d'obtenir des fractions plus riches en matière organique notamment sur les fractions inférieures à 10  $\mu$ . Ces fractions contiennent de 1,2 à 4 fois plus d'azote organique que l'échantillon non fractionné. Elles contiennent aussi de 60 à 80 % de l'azote organique d'un sol.

Ces fractions contiennent des matières organiques de propriétés différentes. La fraction de la taille des limons fins contient une matière organique plus aromatique, chimiquement plus stable (Anderson *et al.*, 1974 ; Arshad *et al.*, 1966 ; Catroux *et al.*, 1987). Ces fractions ont des propriétés biologiques différentes, leur aptitude à minéraliser augmente quand la taille des particules diminue (Chichester, 1969 ; Cameron *et al.*, 1979 ; Lowe *et al.*, 1983 ; Catroux *et al.*, 1987).

Il y a là, une approche à développer pour mieux faire coïncider compartiments définis dans les modèles et fractions physiquement isolables donc dosables. On pourrait utilement dans un premier temps, chercher quelle relation il y a entre azote minéralisable en incubation et taille et comportement des différentes fractions obtenues par séparation granulométrique, ce qui nous ramènerait aux résultats déjà cités concernant l'influence de l'argile.

## IV - Conclusion

La détermination de l'azote potentiellement minéralisable est un vieux problème, mais cela reste un vieux problème non résolu. Cependant, les avancées faites ces dix dernières années dans le domaine de la modélisation, la définition et l'estimation de compartiments d'azote minéralisable ainsi que les connaissances acquises sur la biomasse microbienne, l'influence de l'argile et l'état et la localisation de la matière organique apportent quelques espoirs dans ce domaine.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDERSON (D.W.), PAUL (E.A.), SAINT ARNAUD (R.J.). — « Can. J. Soil Sci. », 1974, 54, 317-323.
- ARSHAD (M.A.), LOWE (L.E.). — « Soil Sci. Soc. Am. Proc. », 1966, 30, 731-735.
- CAMERON (K.S.), POSNER (A.M.). — « J. Soil Sci. », 1979, 30, 565-577.
- 9, ASA, Madison (USA), pp. 1324-1345, 1965.
- CAMERON (K.S.), POSNER (A.M.). — « J. Soil Sci. », 1979, 30, 565-577.
- CASSMAN (K.G.), MUNNS (D.N.). — « Soil Sci. Soc. Am. J. », 1980, 44, 1233-1237.
- CATROUX (G.), SCHNITZER (M.). — A paraître dans « Soil Sci. Am. J. », 1987.
- CHAUSSOD (R.), NICOLARDOT (B.), CATROUX (G.), CHRETIEN (J.). — « Science du Sol », 1986, 2, 213-226.
- CHICHESTER (F.W.). — « Soil Sci. », 1969, 107, 356-363.
- CRASSWELL (E.T.), WARING (S.A.). — « Soil Biol. Biochem. », 1972, 4, 427-433.
- DEANS (J.R.), MOLINA (J.A.E.), CLAPP (C.E.). — « Soil Sci. Soc. Am. J. », 1986, 50, 323-326.
- DELPHIN (J.E.). — « Agronomie », 1986, 6, 453-458.
- DROUINEAU (G.), LEFEVRE (G.). — « Ann. Agron. », 1949, 19, 518-536.
- FOX (R.H.), PIEKIELEK (W.P.). — « Soil Sci. Soc. Am. J. », 1978, 42, 747-750.
- HAYASHI (R.), HARADA (T.). — « Soil Sci. Plant Nut. », 1969, 15, 226-234.
- HERLIHY (M.). — « Plant Soil », 1979, 53, 255-267.
- HIURA (K.), HATTORI (T.), FURUSAKA (C.). — « Soil Sci. Plant Nut. », 1976, 22, 459-465.
- JENKINSON (D.S.), LADD (J.N.). — In « Soil Biochemistry », Ed. E.A. Paul *et al.*, Marcel Dekker, N.Y., vol. 5, pp. 415-471, 1981.
- JONES (C.A.). — « Commun. Soil Sci. Plant Anal. », 1984, 15, 23-32.
- JUMA (N.G.), PAUL (E.A.). — « Soil Sci. Am. J. », 1984, 48, 76-80.

- KEENEY (D.R.), BREMNER (J.M.). — « Soil Sci. Soc. Am. Proc. », 1966, 30, 714-719.
- KEENEY (D.R.). — In « Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties », Ed. A.L. Page, Miller R.H. and Keeney D.R., Agronomy Monograph 9 (2nd Edition). ASA-SSSA, Madison (USA), pp. 711-733, 1982.
- LOWE (L.E.), HINDS (A.A.). — « Can. J. Soil Sci. », 1983, 63, 761-766.
- MARUMOTO (T.), ANDERSON (J.P.E.), DOMSCH (K.H.). — « Soil Biol. Biochem. », 1982, 14, 469-475.
- MARY (B.), REMY (J.-C.). — « Ann. Agron. », 1979, 30, 513-527.
- Mc LEAN (A.A.). — « Nature » (London), 1964, 203, 1307-1308.
- MOLINA (J.A.E.), CLAPP (C.E.), CARSON (W.E.). — « Soil Sci. Soc. Am. J. », 1980, 44, 442-443.
- NICOLARDOT (B.), GUIRAUD (G.), CHAUSSOD (R.), CATROUX (G.). — « Soil Biol. Biochem. », 1986, 18, 263-273.
- NORDMEYER (H.), RICHTER (J.). — « Plant Soil », 1979, 53, 255-267.
- RYAN (J.A.), SIMS (J.L.). — « Soil Sci. », 1974, 118, 95-101.
- SENEVIRATNE (R.), WILD (A.). — « Plant Soil », 1985, 84, 175-179.
- SMITH (S.J.), STANFORD (G.). — « Soil Sci. », 1971, 111, 228-232.
- STANFORD (G.), SMITH (S.J.). — « Soil Sci. Soc. Am. Proc. », 1972, 36, 465-472.
- STANFORD (G.). — In « Nitrogen in Agricultural Soil ». Ed. F.J. Stevenson et al., Agronomy Monograph 22. ASA-CSSA-SSSA, Madison (USA), pp. 651-688, 1982.
- STEVENSON (F.J.). — In « Nitrogen in Agricultural Soil ». Ed. F.J. Stevenson et al. Agronomy Monograph 22. ASA-CSSA-SSSA, Madison (USA), pp. 67-122, 1982.
- VAN VEEN (J.A.), LADD (J.N.), AMATO (M.). — « Soil Biol. Biochem. », 1985, 17, 747-758.
- WARING (S.A.), BREMNER (J.M.). — « Nature » (London), 1964, 201, 951-952.

**M. Juste.** — Est-ce qu'un effort important de recherche se justifie pour la mise au point d'un test permettant de prédire la fourniture d'azote minéral à partir du sol, compte tenu de la difficulté qu'il y a à prévoir les données climatiques.

**M. Catroux.** — Je ne préjugerais pas de l'échéance à laquelle nous disposerons d'un test simple et rapide d'appréciation de la fourniture d'azote potentiellement minéralisable. Il me semble cependant que la marge de progrès possible par rapport à l'existant est grande et que l'on devrait pouvoir être plus performant dans un proche avenir.

**M. de Soumagnat.** — Pour le conseil aux agriculteurs, les laboratoires sont extrêmement intéressés par la mise au point de méthodes simples permettant de prévoir une fourniture d'azote minéral en fonction du stock d'azote organique.

A-t-on exploré ce que peuvent apporter les dosages d'enzymes, en plus des dosages d'azote total et d'argile, pour améliorer cette prévision ?

**M. Catroux.** — Les dosages d'enzymes n'apporteraient qu'une idée de l'activité potentielle des enzymes ou des micro-organismes présents. Ils ne sauraient donc se substituer aux techniques d'incubation.

**M. Renoux.** — Dans la mesure où le taux de matière organique varie dans le même sens que le taux d'argile, pourquoi ne pas utiliser le taux de matière organique et le taux d'argile pour estimer l'azote minéralisable ?

**M. Catroux.** — Oui, et c'était le sens de mes propositions de recherches à développer. Il y a déjà quelques tentatives en ce sens, il faut les vérifier et les améliorer. Cela devrait conduire, à partir de dosages simples sur échantillons de terre, à une première estimation de l'azote minéralisable.

