

Effets des apports organiques et minéraux sur le comportement de l'azote dans le sol

par G. LEFEVRE, G. HIROUX, B. YVART
I.N.R.A., Station d'Agronomie, Amiens

RESUME

En dehors de la fixation symbiotique, la nutrition azotée des végétaux est assurée par de l'azote minéral provenant soit de l'extérieur, sous forme d'engrais, soit de la minéralisation dans le sol d'azote organique frais ou résiduel. La proportion de ces sources dépend pratiquement des systèmes cultureux. Elle dirige à la fois le comportement de chacune d'elles et leurs interactions.

Dans une première partie, sont développées quelques considérations sur l'influence des apports organiques. Selon leur composition, sont évaluées, d'une manière théorique, les parts relatives des blocages microbiens et humiques d'azote sous forme organique. En contrepartie, on trouve trois types de minéralisation liés à la nature — végétale, microbienne ou humique — de la matière organique concernée.

Dans une seconde partie, l'évocation du processus de répartition aléatoire, suivant les conditions climatiques, de l'azote minéral en tant que tel, permet de saisir la variabilité des concentrations réalisables à partir d'une même dose d'apport extérieur.

Un dispositif expérimental de percolation lente a été utilisé pour imposer précisément à la solution du sol une concentration donnée.

L'essai rend compte de l'influence du niveau de cette concentration sur la rétention microbienne de l'azote minéral et la minéralisation des réserves organiques avec ou sans adjonction de matières organiques récentes (paille).

Il en ressort que la quantité d'azote minéral fournie par la minéralisation de l'azote organique du sol diminue régulièrement lorsque augmente, sous une influence extérieure, la concentration en azote minéral du milieu.

Ce phénomène est accentué en présence de produits carbonés encore facilement décomposables.

PLAN

INTRODUCTION.

I. — INFLUENCE DES APPORTS ORGANIQUES SUR LE COMPORTEMENT DE L'AZOTE DANS LE SOL.

- **Blocages d'azote :**

- Microbien ;
- Humique.

- **Minéralisations d'azote :**

- Végétal excédentaire ;
- Microbien ;
- Humique.

- **Bilan global d'une rotation :**

II. — INFLUENCE DES APPORTS MINÉRAUX SUR LE COMPORTEMENT DE L'AZOTE DANS LE SOL.

- **Répartition d'azote dans un profil ;**

- **Influence de la concentration « ambiante » en N minéral sur la minéralisation de l'azote :**

- Dispositif de percolation lente ;
- Résultats de percolations :
 - avec une solution à 0, 100, 200 mg N/l ;
 - avec et sans paille.

CONCLUSION.

Les systèmes culturaux pourraient être caractérisés par la part relative prise par l'engrais minéral dans la couverture des besoins azotés. Dans les systèmes les plus anciens, l'entretien azoté des plantes « de culture » était entièrement assuré par les sous-produits de l'élevage d'animaux consommant l'azote fixé par les légumineuses des prairies. A l'opposé, dans certains systèmes de production végétale exclusive, l'azote contenu dans la part vendue, généralement la plus riche, doit être compensée par des apports extérieurs. Toutes les combinaisons entre ces deux extrêmes — y compris celles dans lesquelles se trouvent des animaux ne consommant pas des produits de la ferme — sont possibles.

C'est dans cette diversité que doivent être typés les systèmes si l'on veut pouvoir planifier la fertilisation azotée — organique et minérale.

On peut noter cependant que, si des systèmes sans apports azotés extérieurs ont existé et existent encore, des systèmes sans restitutions organiques, ne serait-ce que radiculaires, n'existent pas encore.

Les résidus, culturaux ou externes, restent en effet nécessaires pour maintenir le stock organique sous une forme et à un niveau convenables pour assurer une structure suffisante aux sols.

Ainsi, bien que les restitutions organiques n'aient, bien souvent, plus pour objectif principal le recyclage de l'azote, leur emploi interfère obligatoirement sur le comportement de l'azote. Les processus susceptibles d'intervenir dans ce domaine seront envisagés dans une première partie.

De même, bien que les apports minéraux aient le plus souvent pour objectif principal de satisfaire en quantités et au moment voulu les besoins des plantes cultivées, leur emploi réagit sur l'évolution générale des matières organiques et sur la minéralisation de l'azote organique des sols. Cet effet sera abordé dans une deuxième partie.

I. — INFLUENCE DES APPORTS ORGANIQUES SUR LE COMPORTEMENT DE L'AZOTE DANS LE SOL.

Cette influence est liée à la composition de l'apport dont le qualificatif d'organique peut être considéré comme synonyme d'énergétique. Dans le sol, seuls des micro-organismes — très divers — peuvent valoriser cette énergie, en parcourant les trois phases normales de toute population : croissance, entretien, déclin.

Cette utilisation de l'énergie réalise ce qu'on appelle par ailleurs la minéralisation de la matière organique, qui laisse comme résidus des « produits minéraux ».

Donc, pour prévoir l'effet global d'un apport organique, il semble nécessaire d'évaluer, d'une part, la valeur énergétique de l'apport et, de l'autre, les besoins — en particulier azotés — des organismes susceptibles de l'utiliser.

En se limitant aux restitutions directes, les composants organiques des résidus aériens et souterrains peuvent à ce point de vue être grossièrement classés en trois catégories :

- L'une groupant les constituants les plus facilement utilisables (les plus énergétiques) ;
- Une seconde comprenant les constituants plus résistants (moins facilement utilisables) ;
- Une troisième regroupant tous les composés azotés, plus ou moins liée aux deux premières.

Dans les résidus enfouis, la partie la plus facilement décomposable contient peu des produits les plus riches, tels que sucres ou amidon réservés à l'alimentation des hommes, de monogastriques, ou de diverses volailles. Elle est constituée principalement de quelques lipides, d'hémicelluloses et de cellulose constituant également des produits utilisables par les polygastriques (grâce aux micro-organismes de leur panse).

La partie la plus résistante peut être assimilée en première approximation à la lignine.

Enfin, les produits azotés sont très variables, à la fois en qualité et en quantité, suivant qu'il s'agit de résidus pailleux ou de résidus foliaires (verts de betterave, engrais verts, etc.). Suivant la teneur de ces résidus en azote, les besoins azotés des micro-organismes utilisateurs de la partie énergétique pourront être plus ou moins bien couverts. Il est donc nécessaire de chercher à les évaluer.

BLOCAGES D'AZOTE.

Premier blocage d'azote : azote microbien.

Dans des conditions favorables, en laboratoire, le développement microbien peut se traduire par la formation d'une masse comprise entre 40 et 60 % de celle du substrat consommé.

Dans les sols où les conditions de milieu ne sont pas toujours à leur optimum, on estimera, en première approximation, que le rendement pondéral est d'environ un tiers (0,33).

La micro-population peut être constituée de bactéries (teneur moyenne en azote de 8 %) ou de fungi (5,6 à 7,2 % d'azote). Dans le sol, cette micro-population est complexe et on peut lui attribuer une teneur (très moyenne) en azote de 7 %.

Si bien que, pour ses seuls besoins de constitution, cette population aura un besoin de : $0,33 \times 0,07$, soit 0,023 fois la matière organique consommée (2,3 %).

Cette approximation, déjà utilisée dans des mémoires antérieurs, se recoupe avec les données des zootechniciens qui ont retenu que l'utilisation de 1 kg de matière organique digestible détermine la production d'une biomasse contenant 135 g de matières azotées, soit 21,6 g d'azote par kilogramme de matière organique digestible (2,16 %).

La valeur moyenne de 2,2 % de la quantité de matière organique facilement décomposable permet d'évaluer le besoin microbien en présence des divers types de résidus.

Prenons-en deux cas caractéristiques :

- Un engrais vert :
 - Cendres : 5 % ;
 - Lignine : 7 % ;
 - Azote : 3 %.

Pour 1 tonne de matière sèche, il y a : $1.000 - (70 + 50) = 880$ kg de matière organique facilement décomposable réclamant : $880 \times 0,022 = 19,4$ kg d'azote.

- Paille de céréales :
 - Cendres : 10 % ;
 - Lignine : 17 % ;
 - Azote : 0,6 %.

Pour 1 tonne de matière sèche, $1.000 - (100 + 170) = 730$ kg sont décomposables demandant $730 \times 0,022 = 16$ kg d'azote.

Il en ressort un déficit de $(16 - 6) = 10$ kg d'azote par tonne de paille enfouie.

Dans de nombreux travaux, le besoin azoté microbien de décomposition a été rattaché à une valeur du rapport Carbone sur Azote (C/N).

Le raisonnement précédent indique clairement que le carbone à retenir pour faire le rapport n'est que celui qui constitue la partie décomposable.

Différentes manières de calculer le C/N :

C/N	M.O. totale/2 du résidu N total du résidu	M.O. totale/2 du résidu N nécessaire à la dé- composition de la M.O. utilisable	M.O. utilisable/2 N nécessaire à la décomposition
Engrais vert	$\frac{(1\ 000-50)/2}{30} = 15.8$	$\frac{950/2}{19.4} = 24.4$	$\frac{C\ utile}{N\ utile} = \frac{880/2}{19.4} = 22.7$
Paille	$\frac{(1\ 000-100)/2}{6} = 75$	$\frac{900/2}{16} = 28.1$	$\frac{730/2}{16} = 22.7$

Le rapport C/N de décomposition est constant : 22,7, mais la valeur obtenue en rapportant la quantité d'azote, jugée nécessaire, au carbone total du résidu est de 28,1 pour la paille et de 24,4 pour l'engrais vert, alors qu'au départ le C/N total est de 75 pour la paille et de 15,8 pour l'engrais vert.

Deuxième blocage d'azote : azote humique.

La phase précédente de décomposition active permet de constituer une biomasse importante accompagnée de produits intermédiaires de dégradation ou de néoformation résultant de son activité métabolique. Ces produits ont une action très importante, quoique temporaire, sur la structure. Mais cette phase libère et transforme les sites réactionnels de la lignine qui retiennent fortement des composés azotés en proportion telle que le composé final, appelé humique, contienne environ 5 % d'azote. Que représente ce pourcentage ?

En supposant, en première analyse, que les produits azotés, de nature protéique (à 16 % d'azote) ne font que s'ajouter au noyau lignine, leur masse devra — pour répondre à la composition moyenne du produit — être la suivante :

$$\begin{aligned} \text{Produits azotés} \times 0,16 &= (\text{produits azotés} + \text{lignine}) \times 0,05, \\ \text{d'où une quantité P.A.} &= 0,45 \text{ lignine;} \\ \text{et } N &= \text{P.A.} \times 0,16 = 0,07 \text{ lignine.} \end{aligned}$$

Les produits azotés représentent donc une petite moitié de la teneur en lignine, l'azote correspondant s'élevant à 7 % de la teneur en lignine. Donc, en fait, rapporté au support, le besoin « humique » est plus élevé que le besoin microbien — 7 % au lieu de 2,2 % —. Les matières humiques finales sont cependant moins riches en azote que la biomasse.

Exemples :

— Engrais vert :

Teneur en lignine : 7 %.

— Pour une tonne :

Azote humique : $70 \times 0,07 = 4,9$ kg d'N (0,5 % de la M.S. de départ) ;

Produits humiques : $70 + 4,9 \times 6,25 \approx 100$ kg (10 % de la M.S. de départ).

— Paille :

Teneur en lignine : 17 %.

— Pour une tonne :

Azote humique : $170 \times 0,07 = 12$ kg d'N (1,2 % de la M.S. de départ) ;

Produits humiques : $170 + 12 \times 6,25 \approx 245$ kg (24,5 % de la M.S. de départ).

Ce rendement humique relativement élevé de la paille (près de 25 %) a été admis autrefois lorsqu'on avait à évaluer le rendement humique réalisé par le fumier. Des études récentes indiquent que le rendement fourni par la paille dans le sol serait plutôt voisin de 15 %. Dans ce cas, en remontant le raisonnement, il faudrait envisager que, dans les conditions plus aérobies de l'enfouissement direct, une partie de la lignine serait consommée avant d'être transformée en produits humiques. Le blocage d'azote ne serait plus alors que de 7,5 kg/t de matière sèche de départ, mais la quantité d'azote nécessaire au développement microbien serait amenée à 17,5 kg (au lieu de 14).

La liaison de l'azote dans les produits humiques est comparable à celle qui est réalisée par le tannage des protéines, opération qui les protège d'une attaque microbienne rapide.

C'est une liaison forte et les protéines ainsi fixées doivent être ou bien prélevées sur le milieu originel ou bien soustraites des produits du métabolisme microbien.

Dans ce dernier cas, elles doivent être déduites du potentiel de rétention de la biomasse.

Les processus précédents de développement microbien et de constitution de matières humiques résistantes consomment de l'azote. Mais la décomposition dans son ensemble aboutit à une minéralisation. Comment ?

MINERALISATIONS.

Premier type de minéralisation - « relargage » de l'azote dépassant les besoins microbiens de décomposition :

a) Dans le cas de résidu « riche », l'azote nécessaire à la décomposition est fourni par le résidu lui-même. Ainsi, pour l'engrais vert, les besoins pour une tonne de matière sèche sont les suivants :

Besoins microbiens	: 19,4	Azote du résidu	: 30 kg.
Besoins « humiques »	: 4,9		
Total 24,3		

L'excédent : $30 - 24,3 = 5,7$ kg d'N par tonne de matière sèche d'engrais vert peut être libéré dans le milieu.

b) Dans le cas d'un produit pauvre en azote comme la paille, les seuls besoins microbiens — de la deuxième hypothèse, avec un rendement humique de 15 % — 17,5 kg/t dépassent de 11,5 kg l'azote apporté (6 kg). Ceci constitue la faim d'azote qui est l'inverse de la minéralisation précédente : organisation d'azote minéral à prélever dans le sol, ce qui représente un besoin azoté extérieur de 11,5 kg/t de matière sèche de paille.

Si les micro-organismes sont bien capables d'utiliser l'azote minéral du sol, la formation des matières humiques est réalisée avec des protéines ou des acides aminés. La possibilité de blocage de 7,5 kg d'azote protéique ou aminé ne peut être couverte que par des produits du métabolisme microbien.

Ce mécanisme doit d'ailleurs gêner le développement microbien. Il suffit de rappeler que l'activité des enzymes, ayant en majorité une nature protéique, est réduite par la présence de polyphénols. Bien que les incidences de ce processus ne soient pas connues en détail, on estimera, en première approximation très grossière, que les protéines sont prélevées sur les protéines microbiennes.

Deuxième type de minéralisation :

Lorsque l'énergie du résidu s'épuise, la population microbienne amorce, suivant le schéma classique, une phase de déclin entraînant, soit la mort, soit le passage à des formes de repos ou de résistance. La mort de micro-organismes sous l'influence

des facteurs brutaux extérieurs, tels que ceux utilisés pour la stérilisation (chloroforme, ultrasons), se manifeste par la formation d'azote minéral. Ceci constitue un deuxième type de minéralisation.

Dans les conditions « naturelles », les modifications sont généralement progressives. Quelle proportion de la population est détruite ?

Une expérience ancienne de laboratoire avait montré que le déclin, par épuisement du substrat, d'une culture de « *Bacillus megatherium* » entraînait le « relargage » d'un tiers de l'azote microbien. Sans prendre en compte des facteurs défavorables — aléatoires —, cette proportion sera retenue.

Pour les exemples précédents, on obtient ainsi les ordres de grandeur suivants :

- Avec 1 tonne d'engrais vert, azote microbien : $19,4 \text{ kg} \times 1/3 = 6,4 \text{ kg}$;
- Avec 1 tonne de paille, azote microbien : $4 \text{ kg} \times 1/3 = 1,2 \text{ kg}$.

Troisième type de minéralisation :

Bien que la formation de produits humiques protège les matières azotées d'une décomposition rapide, ces produits sont cependant dégradés lentement et, pour la démonstration, le chiffre, souvent avancé, d'un taux annuel de 2 % sera retenu.

Comme les quantités d'azote bloquées sous forme humique au cours de la décomposition d'une tonne de matière sèche sont faibles, les quantités susceptibles de minéraliser directement ne sont guère importantes :

Pour 1 t de M.S. d'engrais vert	$4,9 \times 0,02 = 0,1 \text{ kg}$
de paille (25 %)	$12 \times 0,02 = 0,24 \text{ kg}$
de paille (15 %)	$7,5 \times 0,02 = 0,15 \text{ kg}$

BILAN GLOBAL D'UNE ROTATION.

Le tableau 1 résume, dans la rubrique I, les données retenues jusqu'à présent dans le texte pour 1 tonne de résidus secs. Sous la rubrique II, ces chiffres sont multipliés par la valeur moyenne du tonnage de ces résidus. Le même raisonnement a été utilisé pour les compléter avec des chiffres relatifs à l'enfouissement de verts de betteraves. Comment faire le bilan global de la succession de ces trois cultures ?

Il semblerait qu'il n'y ait qu'à additionner les colonnes. Il n'en est rien. En effet, en ne reprenant que les considérations précédentes, on doit aboutir à deux conséquences très importantes :

1. Les quantités d'azote bloquées dans les phases microbiennes liées aux apports successifs ne sont pas à additionner. Elles évoluent avec la masse microbienne entre divers planchers de « survie » et divers plafonds correspondant au développement microbien, variable suivant l'importance de l'énergie disponible.

Pour en faire la démonstration, supposons que le blé de la première ligne succède à la betterave de la dernière. Le besoin microbien de 140 kg d'azote est pris en charge par un résidu de population qui en contient 60. Les agents de la décomposition ne partent pas d'un azote zéro, ils fournissent leur propre substance.

Ainsi le besoin apparent serait réduit de 60 kg et ramené à 32 kg (chiffre entre parenthèses sur le tableau) au lieu de 92. Ceci explique pourquoi les enfouissements directs répétés entraînent des faims d'azote minéral moins importantes. C'est ce qu'on pourrait appeler le phénomène « pied de cuve ».

En poursuivant la chaîne, le résidu microbien important laissé par la paille correspond à peu près aux possibilités maximum de consommation d'azote lié à l'utilisation

TABLEAU 1. — Données théoriques sur les mouvements de l'azote au cours de la décomposition de résidus culturaux

	Demande microbienne	Demande humique	N de la masse microb. active	N de la masse microb. de survie	N fourni par le résidu	1re minéralisation	2e minér.	3e minér.	Total minéralisé	
<u>Résumé des données fournies dans le texte</u>										
I - <u>Pour 1 t de matière sèche enfouie</u>										
Blé										
Paille	17.5	7.5	10	7	6	- 11.5		3.0	0.15	- 7.85
l'humification 15%										
Engrais vert	19.4	5.0	19.4	13	30		5.6	6.4	0.1	12.1
Betteraves	18	7.5	18	12	26		0.5	6.0	0.15	6.65
II - <u>Données pour une masse normale de résidus</u>										
Blé										
Paille 8 t	140	60	80	56	48	- 92 (- 32)*		24	1.2	- 66.8 (- 6.8)*
Engrais vert 3 t	58	15	58	39	90		16.8 (72.8)*	19.2	0.3	36.3 (92.3)*
Betteraves 5 t	90	37.5	90	60	130		2.5 (41.5)*	30	0.75	33.25 (72.25)*
III - <u>Bilan global des 3 cultures (2 ans)</u>										
		112.5		60	268		82.5	73.2	2.25	157.75
		- 2.25								
		=110.25								

* () Données corrigées en tenant compte du "volant" microbien

de l'énergie fournie par l'engrais vert. Ceci permet d'augmenter d'autant la quantité d'azote pouvant subir la première minéralisation.

Les autres postes restant inchangés, la somme d'azote minéralisé dépasse légèrement la quantité d'azote fournie par l'engrais vert, et cela parce que le résidu microbien a diminué. Cela constitue un aspect du mécanisme de « surminéralisation ».

Avec le résidu microbien de l'engrais vert, les verts de betteraves peuvent minéraliser directement 41,5 kg des 130 qu'ils fournissent.

Au total, on retrouve les 60 kg d'azote du résidu microbien (ajouté au départ) qui disparaissent ainsi du bilan.

Ainsi les 268 kg fournis par les résidus se répartissent :

- en 110 kg bloqués dans les produits humiques (41 %) ;
- et 158 kg minéralisés par les trois types de minéralisation (59 %).

2. Que deviennent les 110 kg bloqués dans les produits humiques (55 kg/an) ? Ils constituent en fait la partie azotée d'une fourniture humique **destinée à compenser les pertes annuelles liées à la minéralisation du stock**. Dans un système en équilibre, ils ne font que remplacer l'azote minéralisé par les réserves du sol au taux moyen de 2 %.

Or, la quantité d'azote qui, décomposée à 2 %, donne 55 kg/an, est de 2.750 kg, équivalant à peu près à l'azote contenu dans 3.000 t de terre à 1 pour mille d'N (3.000 kg).

En définitive, tout l'azote fourni par les résidus est minéralisé. **Ce fait entraîne l'équilibre azoté d'un sol ou en résulte.**

Arrivés à ce point, nous sommes obligés de souligner le caractère schématique de cette présentation d'ensemble, basée sur des approximations et des extrapolations. Mais elle permet de retenir les conclusions suivantes :

a) Les différents processus invoqués peuvent fournir un support pour essayer de prévoir la chronologie des fournitures liées aux divers types de minéralisation ;

b) La proportion d'azote dans les différentes phases peut ne pas dépendre seulement de la composition du résidu, mais de l'état du milieu qui le reçoit, d'où l'importance primordiale de l'ordre des successions culturales ;

c) Les difficultés méthodologiques qui entourent l'étude des divers processus impliqués.

La minéralisation porte toujours sur des protéines tantôt végétales, tantôt microbiennes ou humiques. Les méthodes d'extraction chimique peuvent difficilement les différencier (sinon par des compositions en acides aminés).

L'importance relative des phases dépend des conditions du milieu. Peut-on suffisamment les caractériser lorsque l'on fait des essais comparatifs de minéralisation au laboratoire ? Les conditions que l'on impose peuvent facilement favoriser un aspect parmi les autres.

Ainsi, à travers des mécanismes connus, il reste beaucoup à faire pour parvenir à mieux les reconnaître, les caractériser, les prévoir.

Il doit cependant en rester que l'enfouissement direct des résidus cultureux constitue un élément primordial de la régulation et de la répartition dans le temps et dans l'espace de la fourniture d'azote minéral dans le sol.

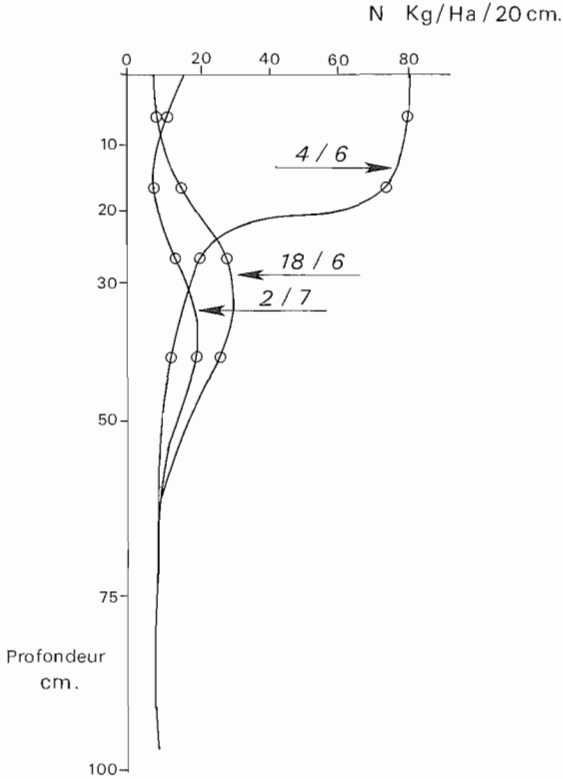
II. — INFLUENCE DES APPORTS MINÉRAUX SUR LE COMPORTEMENT DE L'AZOTE DANS LE SOL.

Le recyclage total de l'azote des résidus ne peut, même en l'absence de pertes (lessivage, dénitrification dans des milieux anaérobies...), assurer le besoin global des cultures qui comprend en plus la part, parfois importante, d'exportations hors de l'exploitation. Cette évidence confirme l'effet ancien de report, sur les soles cultivées, de l'azote des pâtures. Sans ce mécanisme, il faut avoir recours à des apports extérieurs sous forme d'engrais azotés minéraux.

Le besoin global peut être déduit — surtout au niveau d'un ensemble cultural — de la valeur des exportations. Des études spécifiques conduisent à prévoir, suivant les cultures, divers fractionnements des apports.

REPARTITION DE L'AZOTE DANS UN PROFIL DE SOL.

Mais quelles que soient les modalités d'apports, la forme, solide ou liquide (la forme liquide représentant des quantités d'eau négligeables), l'engrais fournit l'azote



GRAPHIQUE 1. — Exemple de répartition de l'azote nitrique dans un sol (d'après LIBOIS, 1968)

Apport initial de 100 kg nitrique/ha : 18-4-1963.
100 mm de précipitation du 10-4 au 4-6-1963.
44 mm de précipitation du 18-6 au 2-7-1963.

*One example of repartition of nitric N in the soil on different dates long the year.
N supplied: 100 kg/ha on 18-4-63. Rainfalls in mm*

en quantités relativement importantes et à la surface du sol. Sa solubilisation et sa répartition dans le profil sont aléatoires, sous la dépendance de la pluviométrie et éventuellement de façons culturales.

Pour suivre le cheminement de l'azote en fonction des conditions climatiques environnantes, il est nécessaire d'en faire une détermination sur des échantillons de terre prélevés tout le long d'un profil de sol.

Un exemple caractéristique, pris dans une étude de Libois, montre (graphique 1) qu'un apport de 100 unités d'azote, effectué sur un sol le 18 avril, se trouvait, le 4 juin, à peu près uniformément réparti sur une épaisseur de 20 cm. Au 18 juin, après 100 mm de précipitations, la majeure partie de l'azote se retrouvait entre 20 et 50 cm. D'après cette répartition, on peut estimer, pour fixer les idées, que l'azote se trouvait, dans la solution du sol, à une concentration de 150 mg/l à la première mesure et de 80 mg/l à la seconde.

Quelles influences peut avoir cette variation de concentration appliquée à un sol et à un sous-sol de compositions organiques différentes

- sur les phénomènes physico-chimiques de dispersion, diffusion ;
- sur les équilibres biologiques fragiles décrits précédemment ;
- sur les mécanismes de l'absorption végétale ?

L'activité de l'engrais doit être rattachée au binôme concentration-quantité.

Ce fait différencie l'azote de l'engrais de celui provenant des différentes formes de minéralisation de produits organiques.

INFLUENCE DE LA CONCENTRATION « AMBIANTE » EN N MINERAL SUR LA MINERALISATION DE L'AZOTE.

Comment tester l'influence de la concentration indépendamment de la quantité offerte et de sa localisation ?

Tous les schémas envisageables sont critiquables car d'autres variables interviennent forcément et, parmi elles, se trouve le temps durant lequel subsiste une situation donnée.

Pour donner un début de réponse à un aspect de ce problème dont l'ensemble ne peut être saisi, nous avons essayé d'étudier l'influence sur la minéralisation de l'azote organique d'un sol sans culture d'une dose constante d'azote apportée sous forme de solutions à diverses concentrations.

Pour cela, nous avons utilisé un dispositif de percolation lente, en milieu non saturé, qui permet à la fois d'imposer au milieu sol une solution de concentration donnée et de mesurer l'azote au fur et à mesure de sa formation.

Description du dispositif (figure 1) :

Une allonge en verre de 47 mm de diamètre (17,6 cm² de section), longue de 22 cm, se termine à la base par une plaque de verre fritté surmontant un entonnoir dont l'extrémité plonge dans une solution sulfurique diluée N/100 contenue dans un ballon relié par une tubulure à un autre ballon contenant de la chaux, destiné à retenir le gaz carbonique contenu dans l'air, aspiré en fin de chaîne par une pompe péristaltique.

L'allonge reçoit 200 g de terre recouverte par des billes de verre permettant de répartir l'eau fournie par une tubulure passant à travers un bouchon supérieur et alimentée par une autre pompe péristaltique fournissant un débit très lent, continu, de 8 à 10 cc/j représentant, suivant les caractéristiques de l'appareil, l'équivalent d'une pluie de 5 mm/j.

Un autre orifice percé dans le bouchon permet à de l'air ayant barboté dans un flacon rempli de soude de traverser l'allonge de terre grâce à l'aspiration inférieure.

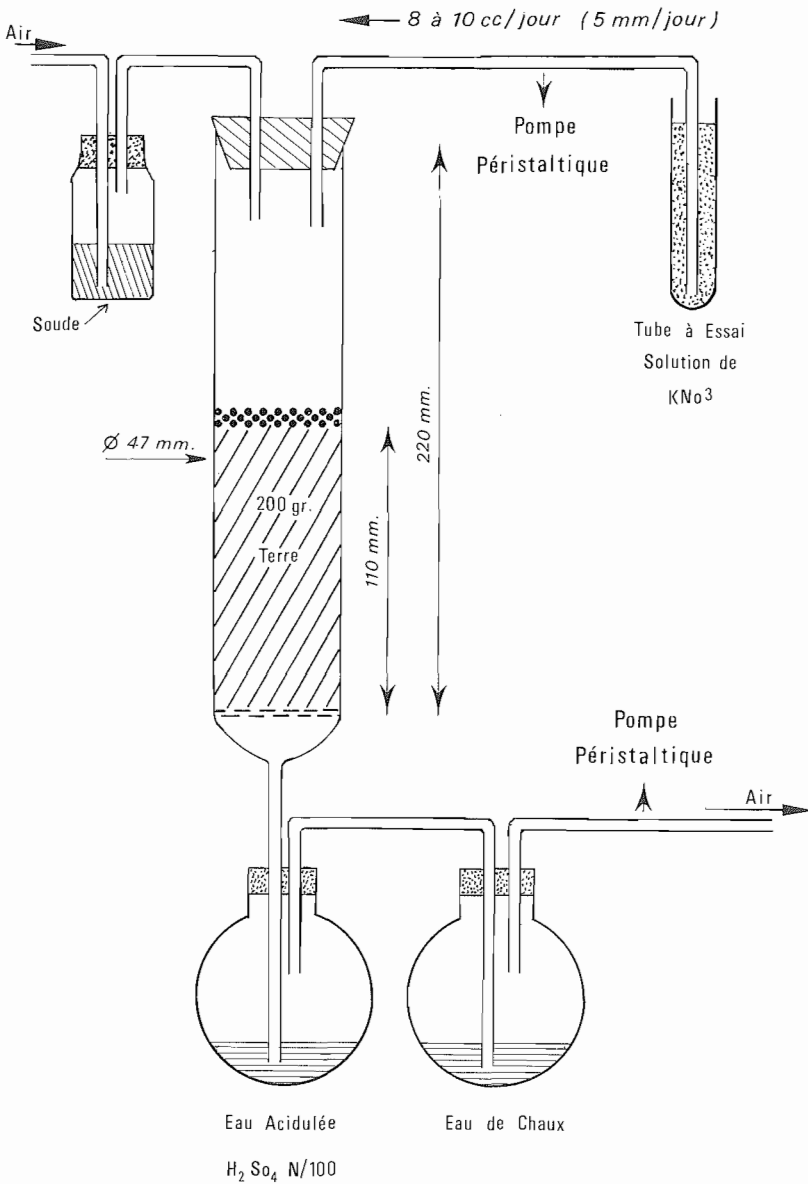


FIGURE I. — Dispositif de percolation lente en milieu non saturé

« La pluie » fine et la circulation forcée d'air, dans un milieu non saturé, permettent à la terre de l'allonge de s'humecter lentement et ensuite d'assurer la percolation du liquide. Le bon fonctionnement est vérifié en comparant les entrées prélevées dans un tube à essai taré et les sorties mesurées dans le premier flacon.

Les 200 grammes de sol préparé en fins agrégats occupent 11 cm de l'allonge et se trouvent donc à une densité apparente de 1,05.

L'ensemble est maintenu dans une chambre-étuve à 21°.

Résultats :

Ce dispositif a été utilisé pour suivre l'évolution de la valeur de la concentration en N minéral des percolats, en fonction des quantités d'azote apportées par des solutions d'arrosage de concentrations : 0, 100, 200 mg/l (sous forme de nitrate de potassium). Le total des quantités d'azote ainsi fourni a été limité — sauf pour le témoin — à 30 mg environ (0,15 pour mille de sol).

Une deuxième série a été réalisée, dans les mêmes conditions, en ajoutant 500 mg de paille aux 200 g de terre de l'allonge (ce qui correspond à un apport d'environ 5 t de paille mélangée à 15 cm de sol).

Les résultats sont présentés sur des graphiques (2 à 7) comprenant, en fonction des volumes cumulés des percolats (V ml) :

a) En bas du graphique, les valeurs de la concentration mesurée sur chaque percolat (N percolat) ;

b) Une courbe représentant la quantité cumulée d'azote apportée par l'arrosage (volume \times concentration de la solution) : NET = N entré total ;

c) Une courbe tenant compte de la quantité d'azote théoriquement retenue « physiquement » par le sol (volume entré — volume sorti) \times concentration de la solution. Ce serait la courbe d'évolution de l'azote en milieu non réactif : NEN = N entré net ;

d) La courbe cumulée des quantités d'azote sorti dans les percolats : NST = N sorti total ;

e) La courbe différence entre NST et NEN, représentant la quantité nette d'azote produite ou consommée par le sol : NPN = N produit net ;

f-g) Courbes cumulant les parties positives et négatives de la courbe précédente représentant la production brute et la consommation brute d'azote (NPB et NCB).

Sur l'axe des abscisses est reportée, à côté du volume cumulé des percolats, une échelle (approximative) de temps.

Ces graphiques permettent de faire ressortir trois rubriques :

- Azote produit net ;
- Azote produit brut ;
- Azote consommé brut,

dont les valeurs, pour chaque traitement, sont comparées dans le graphique 8.

Discussion :

a) Minéralisation nette, avec et sans paille, sans apport azoté extérieur.

Les variations de concentration des percolats du graphique 2 montrent que le témoin absolu développe une minéralisation régulière déterminant, en un peu plus de 3 semaines, une concentration de 100 mg/l suivie, après une semaine, d'une décroissance également régulière

La concentration des percolats du traitement avec paille (graphique 3) subit, au contraire, des fluctuations ascendantes ou descendantes traduisant vraisemblablement les différentes phases de décomposition de la paille.

Ainsi, la minéralisation passe par un minimum à 2 semaines et un maximum à 6 semaines (à 21°) ; la période d'activité est prolongée de 2 semaines.

Le graphique 8 montre que la présence de paille diminue la production nette d'azote de 10,9 mg (de 27,4 à 16,5).

De plus, la concentration maximum observée a été abaissée de 103 mg/l à 57 mg/l.

Ces deux courbes illustrent bien l'influence d'un apport organique, pauvre en azote, sur la minéralisation d'un sol dont les possibilités — importantes — de minéralisation sont révélées par l'essai lui-même (volontairement, ces possibilités n'ont pas été rattachées à ses caractéristiques physico-chimiques).

b) Minéralisation en présence d'une solution à 100 mg/l d'N nitrique.

L'apport d'azote extérieur fait passer la minéralisation nette de 27,4 mg à 21 (— 6,4 mg) se décomposant en — 4,4 mg de minéralisation brute et + 2 mg d'N consommé (graphique 4).

L'apport d'azote extérieur favorise la consommation d'azote minéral et diminue la production du sol.

En présence du support énergétique fourni par la paille (graphique 5), la diminution de production nette, 10,5 mg (10,5 au lieu de 21) est très comparable à celle observée entre les témoins avec et sans paille (10,9). Ce résultat est obtenu ici avec une minéralisation brute égale à la minéralisation nette du témoin (16,5) et une consommation de 6 mg.

Les variations des valeurs de concentrations montrent que la minéralisation (entraînant une concentration supérieure à celle de la solution d'apport) est retardée de 3 semaines et prolongée d'autant. Là aussi la concentration maximum des percolats est nettement diminuée et passe de 240 mg/l à 175 mg/l.

c) Minéralisation en présence d'une solution à 200 mg/l.

La minéralisation nette diminue encore : 18,4 mg sans paille (graphique 6) et 3,9 mg avec paille (graphique 7), différence : 14,5, soit 4 mg de plus que pour les deux cas précédents.

Cela est dû au fait que cette concentration élevée stimule à la fois la consommation et la minéralisation brutes.

Dans ce cas, par suite de la limitation à 30 mg environ de la quantité d'azote apportée, la minéralisation maximum s'observe, après l'arrêt des apports, entre 4 et 5 semaines, sans paille et 5 à 6 semaines en présence de paille.

La différence entre les quantités minéralisées brutes, avec et sans paille, reste de 4,4 mg, équivalente à celle observée avec la solution à 100 mg/l.

Par contre, le traitement à 200 mg/l augmente, par rapport au traitement à 100 mg, de 11 mg la consommation d'azote en l'absence de paille et de 14,9 mg avec paille.

La différence entre paille et sans paille passe de 4 mg, pour la solution à 100 mg/l, à 7,9 mg pour la solution à 200 mg.

Le graphique 8 résume les diverses influences liées à la fois à l'apport extérieur d'azote minéral et à sa concentration.

Elles sont fondamentales car elles démontrent que l'azote minéral apporté ne s'ajoute pas à la quantité potentiellement minéralisable du sol en l'absence d'apport.

Ces résultats ont été obtenus avec des concentrations de solutions égales ou supérieures à celles que le témoin a pu entraîner au cours de sa minéralisation. D'autres essais sont en cours pour tester l'effet de solutions de concentrations inférieures. Mais l'engrais peut-il fournir de l'azote à une concentration inférieure ? Ce serait plutôt à des concentrations encore bien supérieures.

Il en ressort que, de toutes façons, l'apport minéral extérieur modifie profondément les conditions de minéralisation du milieu qui le reçoit en exaltant principalement les mécanismes qui s'opposent à l'élévation de la concentration, c'est-à-dire la consommation, et cela d'autant mieux qu'il y a une réserve énergétique pour la supporter.

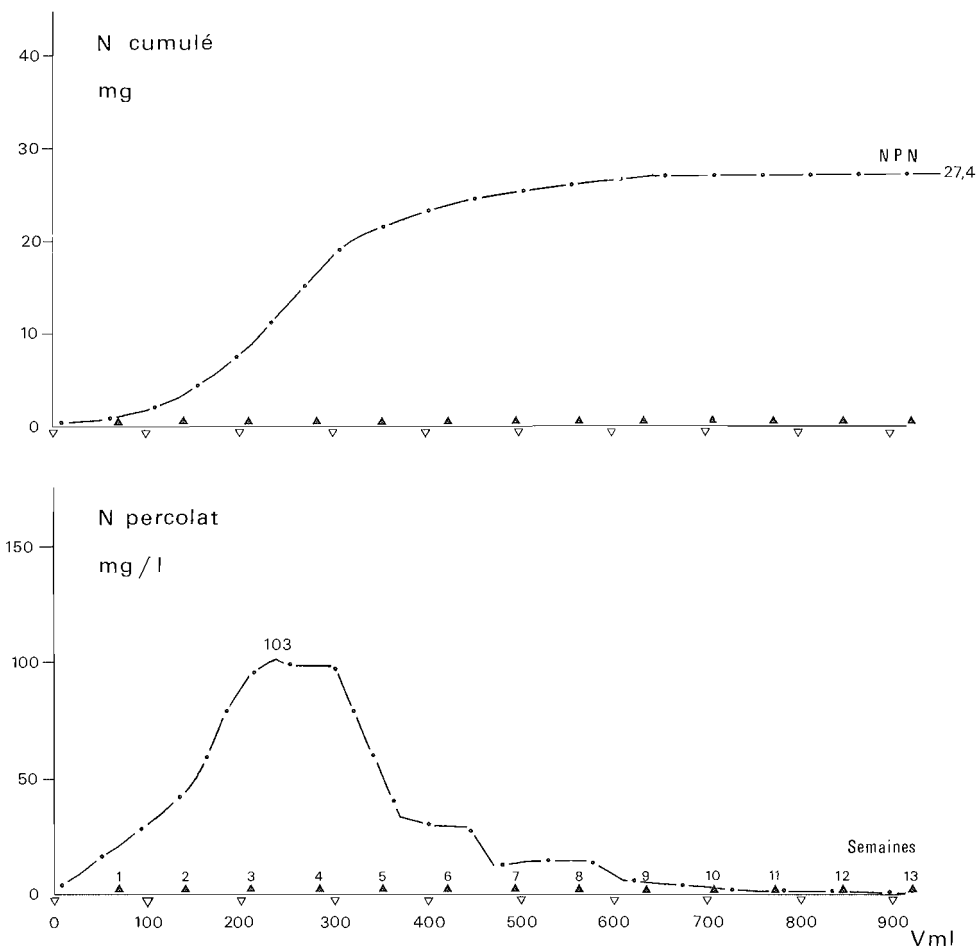
CONCLUSION.

Les considérations partielles et relativement imprécises faites d'une part, sur la minéralisation des apports ou réserves organiques et, d'autre part, sur les effets d'un apport d'engrais, amènent à remettre en cause la nature même de complémentarité de ces deux fournitures.

Le problème reste de coordonner méthodiquement la livraison, échelonnée dans le temps, de l'azote d'origine organique et un apport extérieur d'engrais minéral destiné plus ou moins subjectivement à couvrir le besoin d'un végétal aux époques où il se fait le plus sensible.

La répartition convenable dans le temps et dans l'espace de ces fournitures constitue bien l'objectif final à atteindre.

Comme dans de nombreux cas de la pratique agricole, il faut concilier des exigences parfois contradictoires et utiliser au mieux des schémas de fonctionnement à l'intérieur de certaines limites d'application dépendant, en dernier ressort, d'un cadre climatique dont les contours sont plus ou moins bien définis.



GRAPHIQUE 2. — Sol percolé à l'eau
 Water spraid on the soil sample alone

The KNO_3 solution is seeped through the soil sample (200 g) with or without addition of straw (500 mg). Quantities of mineral nitrogen (mg) recovered from seepage are depending of the supply (ml) and the concentration (0-100-200 mg/l N) of the sprinkle solution

V ml: cumulated volumes of the N sprinkle solution. Time-scale: per weeks.

N percolat mg/l: N concentration of recovered solution after seepage.

NET: cumulated N mg supplied by spraying.

NEN: N retained by the soil.

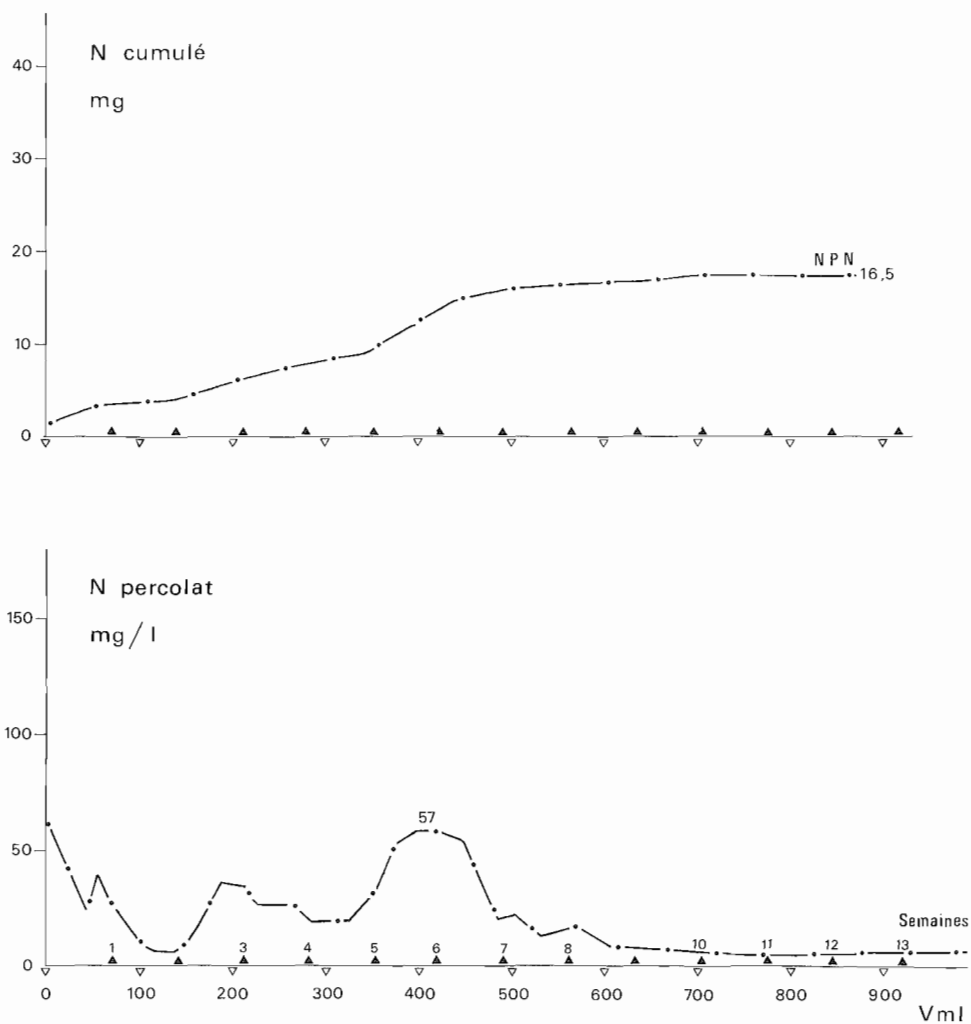
NST: cumulated N in recovered solution.

NPN: Difference between NST and NEN, i.e. N wether produced or kept by the soil.

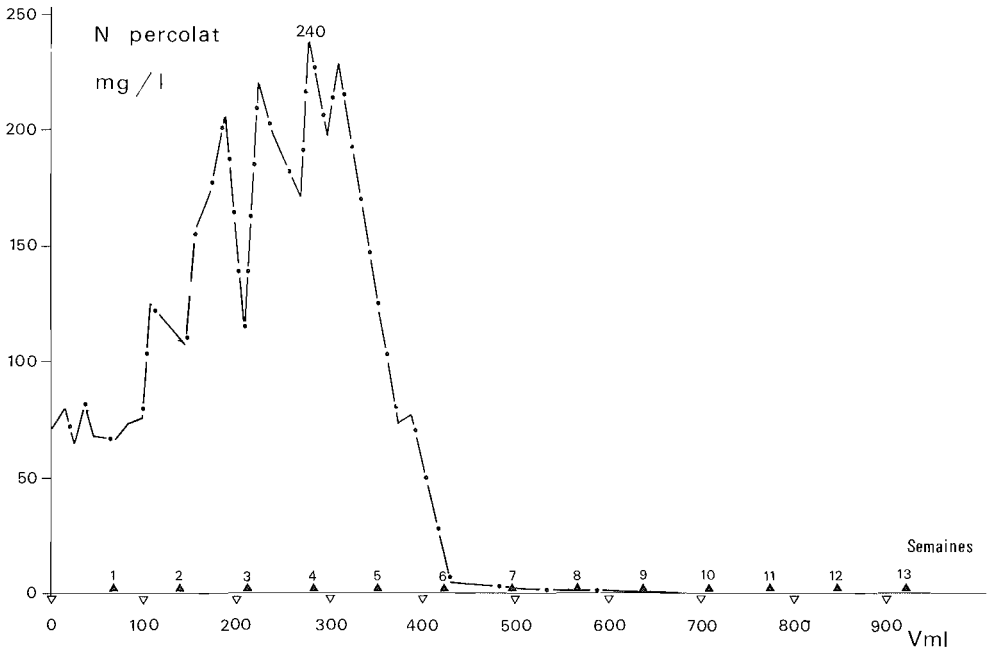
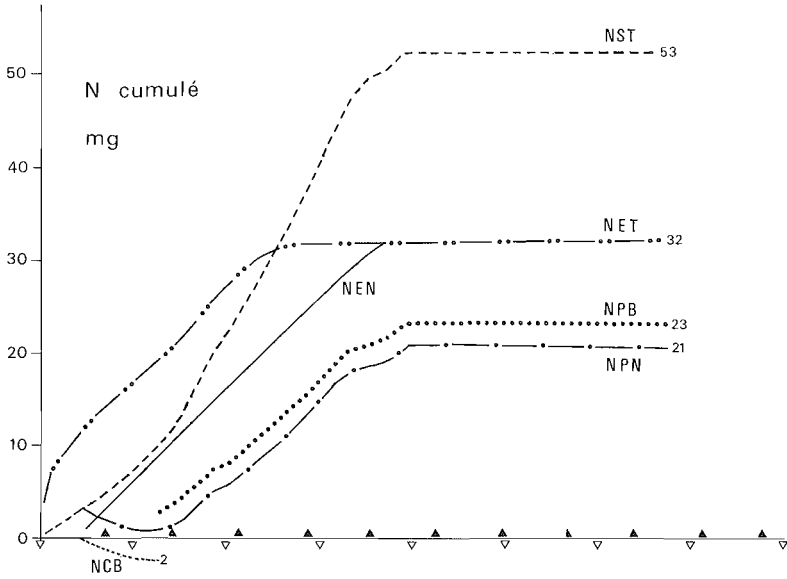
NPB: N produced.

NCB: N kept up.

COMPORTEMENT DE L'AZOTE DANS LE SOL

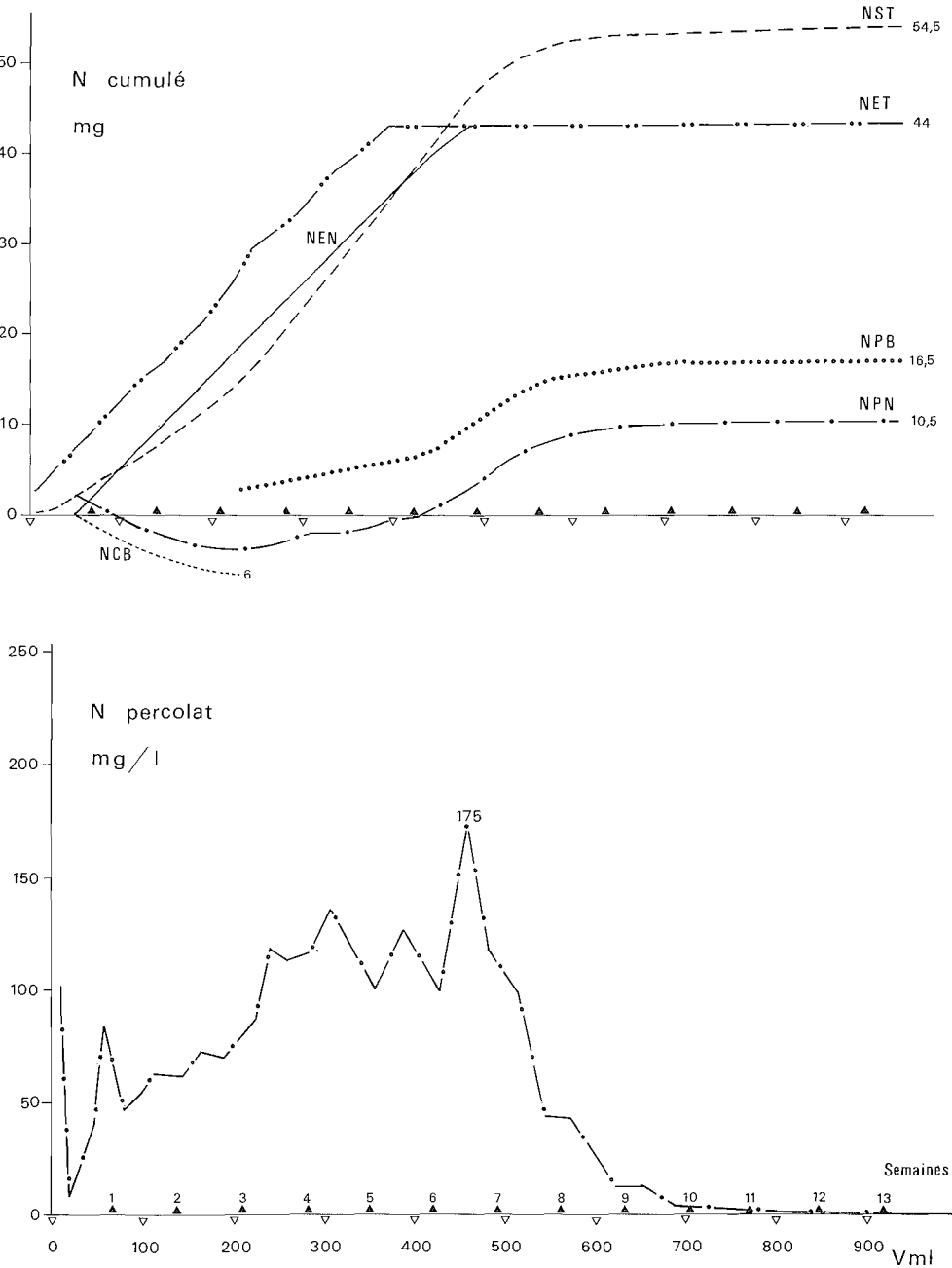


GRAPHIQUE 3. — Sol + paille percolés à l'eau
Water spraid on the soil sample + straw

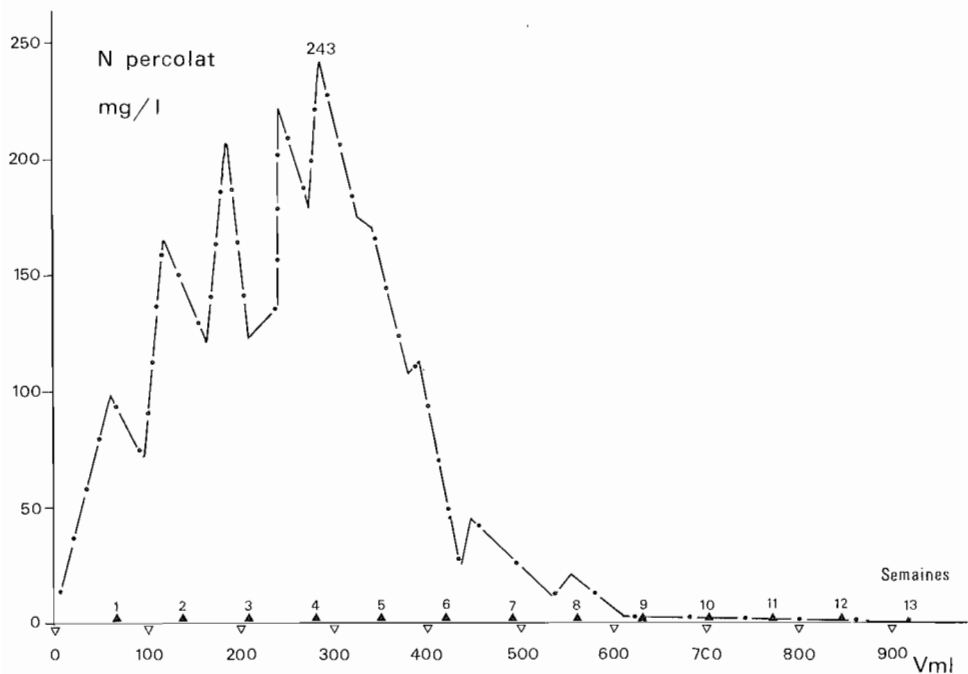
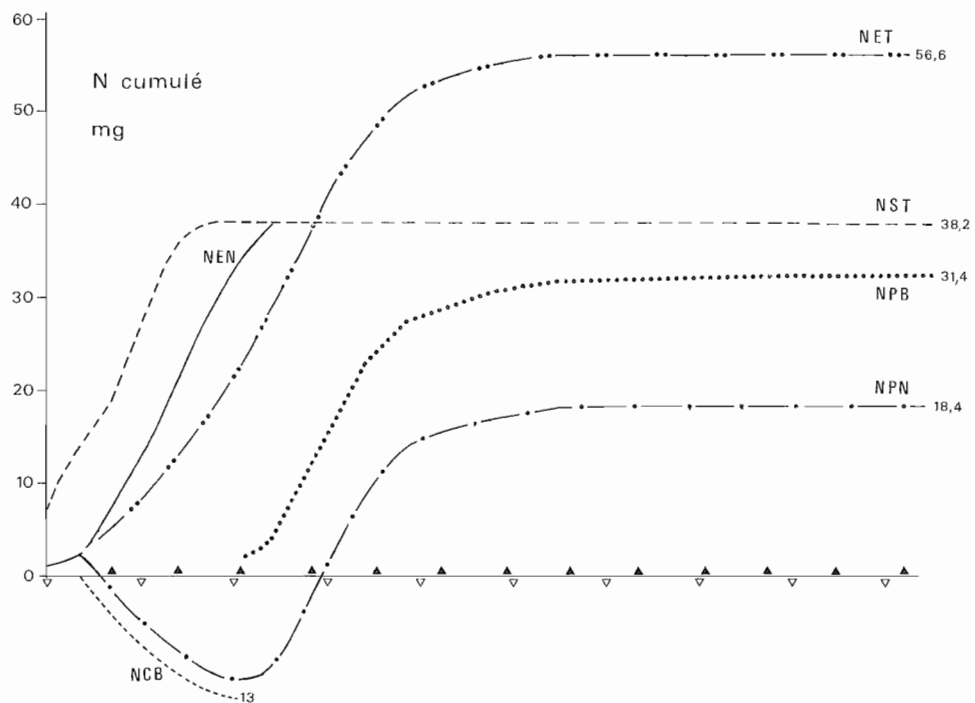


GRAPHIQUE 4. — Sol percolé avec une solution d'azote à 100 mg/l
N solution (100 mg/l) spraid on the soil sample alone

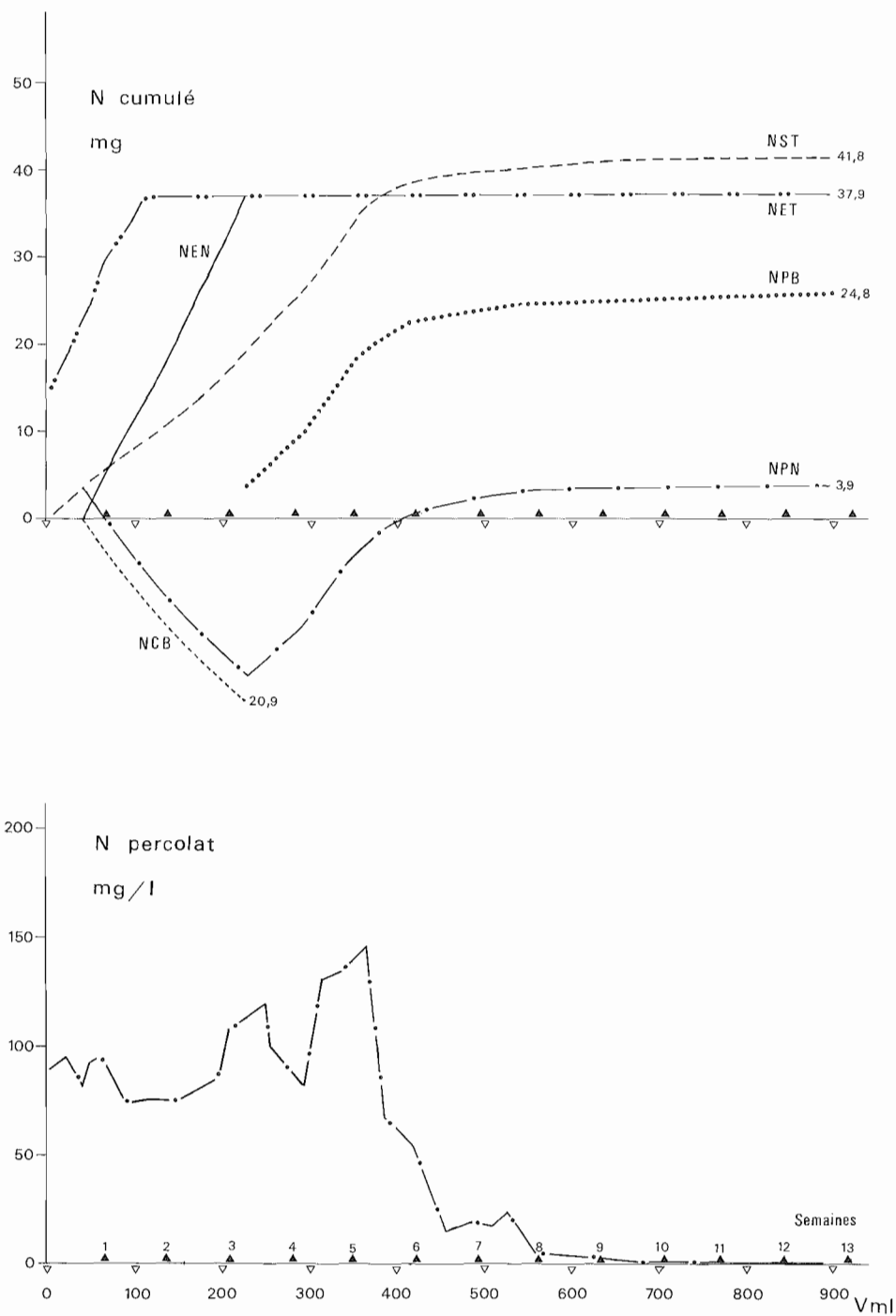
COMPORTEMENT DE L'AZOTE DANS LE SOL



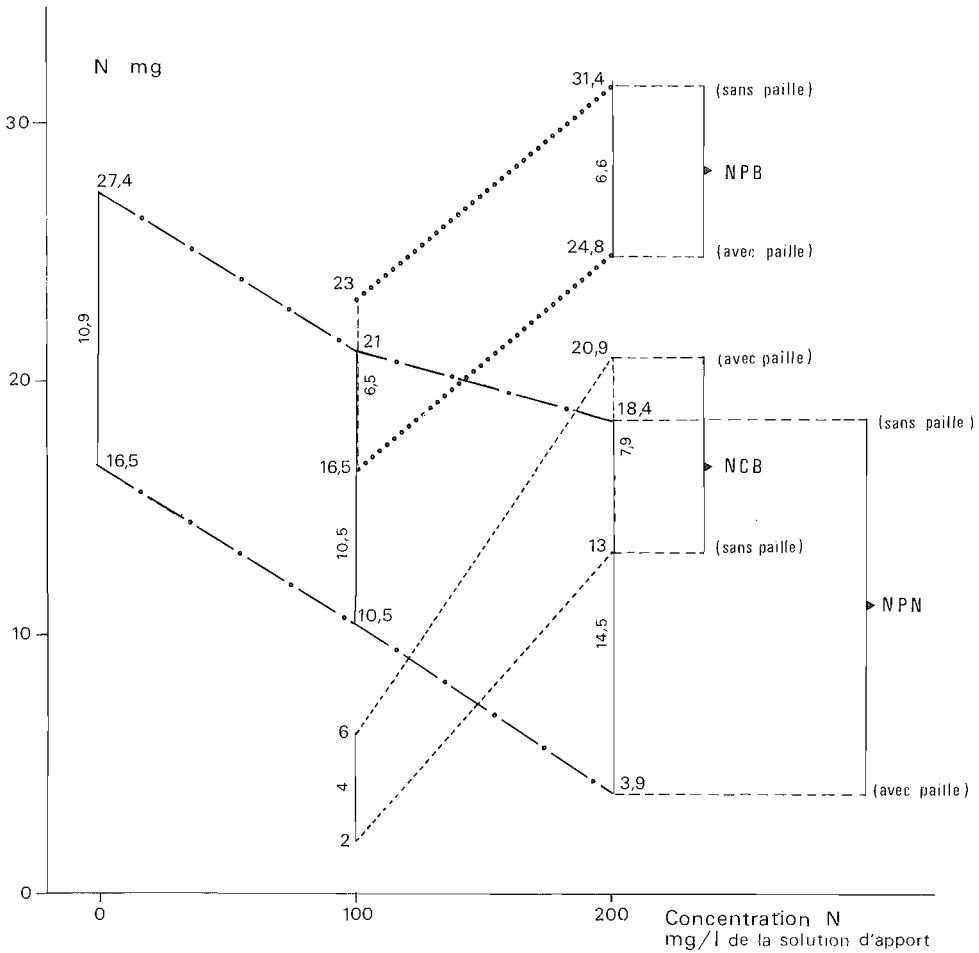
GRAPHIQUE 5. — Sol + paille percolés avec une solution d'azote à 100 mg/l
N solution (100 mg/l) spraid on the soil sample + straw



GRAPHIQUE 6. — Sol percolé avec une solution d'azote à 200 mg/l
N solution (200 mg/l) spread on the soil sample alone



GRAPHIQUE 7. — Sol + paille percolés avec une solution d'azote à 200 mg/l
 N solution (200 mg/l) spraid on the soil sample + straw



GRAPHIQUE 8. — Variations des quantités d'azote consommées et produites brutes, produites nettes, suivant la concentration de la solution percolante à travers un sol avec ou sans paille (N mg/l)

Variations of NPN, NPB, NPC for the different treatments

SUMMARY

DYNAMICS OF NITROGEN IN THE SOIL AFTER ADDING ORGANIC AND MINERAL FORMS

In addition to symbiotic fixation plants are supplied with mineral nitrogen. This is provided by fertilizers and mineralization from both recent and residual organic nitrogen.

Proportions of these different forms of nitrogen depend practically of crop-systems and command their evolution and interactions.

In first part, the author studies effects of organic manures. According to their composition, the balance is done in a theoretical way between both microbiological and humic reorganization of nitrogen into an organic form. In return three ways of mineralization are assessed depending on vegetal, or microbiological, or humic nature of concerned organic matter.

In second part emphasis is given to the effects of variations of mineral nitrogen concentration within the soil depth when manured.

A slow-percolation apparatus is used to maintain a constant concentration in the soil solution.

One demonstrates the effect of concentration level on microbiological retention of mineral nitrogen and mineralization of organic forms after adding or not recent organic matter (straw.) The quantity of mineralized nitrogen from organic nitrogen decreases gradually as concentration of mineral nitrogen is increasing in the soil solution.

Easy decomposable organic matter increases this phenomena.

Bibliographie

- G. LEFEVRE. — Les problèmes de la matière organique dans les sols. Guide national de l'Agriculture, t. VII, 189-210.
- M. JOURNET. — Utilisation de l'azote non protéique par les ruminants. B.T.I., 1979, 340, 253-264.
- F.S. STEVENSON. — Humus. Encyclopedia of earth Sciences Series, vol. XII. Soil Science, part. I, 194-205.
- G. LEFEVRE. — Assolements. Rotation. Formes d'entretien organique. C.R. Ac. Agri., 1968, 1232-1240.
- V. BRAME et G. LEFEVRE. — Aspects qualitatifs de l'utilisation agronomique des boues résiduelles des stations d'épuration. Science du Sol, A.F.E.S., 1977, 3, 125-140.
- G. LEFEVRE. — Mécanismes de valorisation de l'épuration d'eaux résiduelles résultant de leur inclusion dans des systèmes culturaux. C.R. Ac. Agri., 1977, 887-894.
- LIBOIS. — Dynamique de l'azote minéral en sol nu. A.A., 1968, 19 (2), 103-128.
- G. LEFEVRE. — Observations sur les variations simultanées des teneurs en eau et en azote minéral d'un sol. A.A., 1969, 20 (6), 627-688.
- FRESSEL VAN VEEN. — Critique of computer simulation modeling for nitrogen in irrigated croplands. Nitrogen in environment. Ac. Press, 1978, 145-162.
- J. LERENARD. — Description d'une méthode de détermination du coefficient de dispersion hydrodynamique longitudinal en milieu poreux homogène saturé en eau. II. - Utilisation d'un modèle mathématique à trois paramètres dont un phénomène logique. A.A., 1979, 30 (2) 109-120.
- A. HUBERT, H. CALVET. — Détermination du coefficient de diffusion moléculaire de solutés dans des milieux poreux saturés en eau. A.A., 1979, 30 (3), 233-246.

