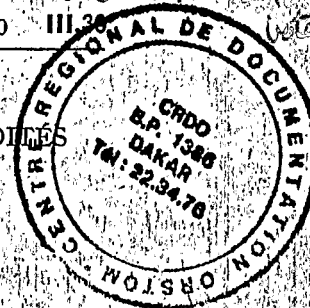


MINÉRALISATION DE L'AZOTE AUX FAIBLES HUMIDITÉS

par

Y. DOMMERMUES
Orstom, Dakar



L'étude des processus d'évolution de la matière organique du sol suppose une connaissance approfondie de l'écologie de la microflore tellurique. Malheureusement, ce chapitre de l'agrobiologie est encore très obscur et le but de cette note est précisément d'essayer d'apporter quelques lumières sur un point d'écologie particulièrement intéressant, notamment en zone aride et semi-aride: il s'agit des exigences en eau de la microflore responsable des phénomènes de minéralisation de l'azote organique dans le sol.

Ce problème qui n'avait fait l'objet que de quelques travaux, notamment ceux de Greaves & Carter, a été repris récemment par Robinson (5) qui publia en 1957 le résultat d'expériences très précises sur l'ammonification et la nitrification de l'azote préexistant naturellement dans un sol ferrallitique du Kenya. Cet auteur a démontré que dans ce type de sol:

- 1°) la nitrification cesse lorsque l'humidité tombe à un niveau situé un peu en-dessous de celui qui correspond au point de flétrissement permanent.
- 2°) l'ammonification, par contre, se poursuit même lorsque l'humidité baisse à des valeurs très inférieures.

Ces observations ont été confirmées en 1959 par Meyer qui a remarqué dans un sol du Congo que, lors de la dessiccation, la nitrification s'arrête rapidement tandis que l'ammonification continue et que l'azote ammoniacal s'accumule (4). Les recherches dont nous donnons ici un compte-rendu sommaire portent, non seulement sur la minéralisation de l'azote préexistant naturellement dans le sol, mais aussi sur la minéralisation de substances organiques azotées de composition mieux définie. Nos essais ont été conduits simultanément dans trois sols différents de l'Ouest Africain.

I. DÉTERMINATION DU SEUIL HYDRIQUE DE MINÉRALISATION DE L'AZOTE ET DU SEUIL DE NITRIFICATION.

La définition du seuil hydrique de minéralisation de l'azote et celle du seuil de nitrification découlent de la définition générale que nous avons publiée en 1959 (1). On appelle seuil hydrique l'humidité minimum nécessaire au démarrage de l'activité biologique d'un groupement physiologique de microorganismes dans un sol donné.

Le seuil hydrique de minéralisation de l'azote est donc l'humidité minimum pour laquelle on observe, après une certaine période d'incubation, un accroissement significatif de la teneur du sol en azote minéral global (azote ammoniacal + azote nitrique).

De même, le seuil hydrique de nitrification est l'humidité pour laquelle on observe, après une certaine période d'incubation, un accroissement significatif de la teneur du sol en azote nitrique.

Pour déterminer ces seuils hydriques, on prépare une gamme d'échantillons de sol à des humidités croissantes allant de l'état sec à l'air à une humidité

CRDO DAKAR
date 3/10/79
n. 8037
EKO
EDH



légèrement supérieure à celle qui caractérise le point de flétrissement permanent ($pF = 4,2$). Ces échantillons sont ensuite éventuellement enrichis en substances azotées ajoutées à une dose correspondant à un apport de 200 ppm d'azote. Avant et après une incubation de quatre semaines à 30° C, on dose l'azote minéral global ou l'azote nitrique.

L'humidification peut être effectuée avec l'une ou l'autre des deux techniques suivantes:

- a) adjonction directe d'eau aux échantillons, suivie d'un malaxage soigné.
- b) mise en équilibre des échantillons dans des enceintes fermées où l'humidité relative est maintenue à des niveaux bien déterminés.

Cette deuxième façon de procéder qui n'a été utilisée qu'à titre de référence, en raison de la lenteur avec laquelle l'équilibre s'établit, donne sensiblement les mêmes résultats que la première.

Il est apparu à la fois plus rationnel et plus commode d'exprimer le seuil hydrique en termes de pF , ce qui nécessite évidemment l'établissement d'une courbe de pF , précise pour chaque sol étudié.

La valeur du seuil hydrique est fonction de la durée d'incubation; elle est d'autant plus élevée (l'humidité minimum est donc d'autant plus faible) que la durée d'incubation est plus grande. Cependant, pour des durées d'incubation supérieures à quatre semaines l'accroissement de la valeur du seuil hydrique devient moins rapide et il a paru possible de limiter à 4 semaines la durée des expériences.

Parallèlement au seuil hydrique qui vient d'être défini et qui pourrait être appelé *seuil hydrique de démarrage*, on a déterminé un *seuil hydrique de disparition* ou seuil hydrique correspondant à la disparition complète d'une substance métabolisable azotée incorporée au sol. Les déterminations des seuils hydriques de disparition ont été faites avec de la tyrosine ajoutée à une dose correspondant à un apport de 25 ppm d'azote.

II. TYPES DE SOLS ETUDIÉS.

Nos expériences ont porté sur trois sols correspondant à deux grands types de sols de l'Ouest Africain et présentant des caractéristiques très différentes.

1) Sols d'argiles noires tropicales.

- a) basique: argile noire de Thies (TH).
- b) faiblement acide: argile noire de Pout (PT).

2) Sol très faiblement ferrallitique.

Sol rouge de Darou (DR).

Les sols TH et PT appartiennent au groupe des sols bien connus sous le nom d'argiles noires tropicales. Leur niveau d'activité biologique les classe parmi les meilleurs sols de l'Ouest Africain alors que le sol très faiblement ferrallitique DR renferme une microflore à la fois moins dense et moins active.

TABLEAU I. *Quelques caractéristiques des sols étudiés.*

| Type de sol | Réf | Argile % | Point de flétrissement. (ournesol) | Humidité équivalente (centrifugeuse) | C ‰ | N ‰ | Microflore totale (Waksman) | pH |
|---|-----|-------------|--|--|------|-----|-----------------------------------|-----|
| Sol d'argile noire tropicale. | TH | 23,4 | 12,1 | 21,7 | 18,3 | 1,9 | 3 900 000 | 7,3 |
| Sol d'argile noire tropicale. | PT | 18,8 | 7,8 | 17,0 | 7,1 | 0,7 | 4 100 000 | 6,4 |
| Sol très faiblement fer- rallitique. | DR | 3,5 | 1,5 | 3,0 | 3,4 | 0,3 | 1 100 000 | 5,9 |

III. VALEUR DU SEUIL HYDRIQUE DE MINÉRALISATION DE L'AZOTE ORGANIQUE.

Il ressort du tableau II que le seuil hydrique de démarrage déterminé à la 4ème semaine varie:

- 1) suivant la forme de l'azote organique.
- 2) suivant le type de sol.

Il est nettement plus élevé pour la tyrosine que pour la caséine ou l'azote organique préexistant naturellement dans le sol.

Le sol très faiblement ferrallitique DR, biologiquement peu actif, est très nettement handicapé par rapport aux deux argiles noires tropicales.

TABLEAU II. Seuil hydrique de minéralisation de l'azote organique dans trois sols de l'ouest africain.

| Seuil hydrique | Forme de l'azote organique | Argile noire tropicale basique TH | Argile noire tropicale faiblement acide PT | Sol très faiblement ferrallitique DR |
|---|---|-----------------------------------|--|--------------------------------------|
| Seuil hydrique de démarrage: augmentation significative de l'azote minéral (azote ammoniacal + azote nitrique) à la 4ème semaine. | azote organique préexistant dans le sol (sol non enrichi) | 4,8 | 4,9 | 4,3 |
| | caséine (200 ppm N) | 4,9 | 4,9 | 4,7 |
| | tyrosine (200 ppm N) | 5,1 | 5,2 | 4,7 |
| Seuil hydrique de disparition: disparition complète de la tyrosine à la 4ème sem. 8ème sem. | tyrosine (25 ppm N) | 4,7 | 4,5 | <3,8 |
| | tyrosine (25 ppm N) | 4,8 | 4,8 | 3,8 |

On peut admettre que dans les sols présentant une activité biologique satisfaisante, le seuil hydrique de démarrage de la minéralisation de l'azote à la 4ème semaine est compris entre 4,8 et 5,2.

Quant au seuil hydrique de disparition de la tyrosine, il se situe, dans de tels sols, entre 4,5 et 4,7 et s'élève à 4,8 lorsque la durée d'incubation passe de 4 à 8 semaines.

IV. VALEUR DU SEUIL HYDRIQUE DE NITRIFICATION.

Le tableau III relatif au seuil hydrique de démarrage de la nitrification à la 4ème semaine met aussi en évidence des variations en fonction:

- 1) de la forme de l'azote.
- 2) du type de sol.

Dans les deux sols à activité biologique normale le sulfate d'ammoniaque est nitrifié au pF 4,3. Il n'en est pas de même pour l'azote organique naturel du sol qui peut être nitrifié au pF 4,7. Ces variations de la valeur du seuil

hydrique en fonction des exigences hydriques de la nitrification. On peut dire que les processus qui interviennent sont donc des hétérotrophes.

TABLEAU III. Seuil hydrique de démarrage de la nitrification (4ème semaine).

| Forme de l'azote |
|---|
| Azote organique préexistant dans le sol (sol non enrichi) |
| Sulfate d'ammoniaque (200 ppm N) |

Le sol très faiblement nitrifiant est déficient, et correspond à un pF 4,3.

V. IMPORTANCE ET NATURE DES PHÉNOMÈNES

L'intensité de la minéralisation est plus élevée pour la tyrosine, on a un pF 4,7, que pour l'azote organique préexistant dans le sol, aussi intense à pF 4,6.

La nature biologique des processus sur des échantillons correspondants au pF 4,3 et 4,7.

TABLEAU IV. Démonstration de la nitrification (4ème semaine).

| Traitement |
|-----------------|
| Sol stérile |
| Sol non stérile |

Lorsque l'humidité est suffisante, l'azote par voie biologique continue à évoluer sous l'influence des rayonnements solaires ou le r...

Des expériences de laboratoire ont effectivement co...

hydrique en fonction de la forme d'azote peuvent s'expliquer par des exigences hydriques différentes des microorganismes responsables de la nitrification. On peut supposer que dans le premier cas les microorganismes qui interviennent sont des germes autotrophes alors que dans le 2ème cas ce sont des hétérotrophes (3).

TABLEAU III. *Seuil hydrique de nitrification dans trois sols de l'ouest africain (4ème semaine).*

| Forme de l'azote | argile noire tropicale basique TH | argile noire tropicale faiblement acide PT | sol très faiblement ferrallitique DR |
|---|-----------------------------------|--|---|
| Azote organique préexistant dans le sol (sol non enrichi) | 4,7 | 4,7 | pas d'accroissement significatif de la teneur en nitrate au-dessus du pF 3,5. |
| Sulfate d'ammoniac (200 ppm N) | 4,3 | 4,3 | |

Le sol très faiblement ferrallitique DR, caractérisé par une microflore nitrifiante déficiente, ne nitrifie pas aux humidités essayées bien que celles-ci correspondent à un pF très inférieur à 4,2.

V. IMPORTANCE ET NATURE DES PHÉNOMÈNES DE MINÉRALISATION DE L'AZOTE AUX FAIBLES HUMIDITÉS.

L'intensité de la minéralisation à faible humidité peut être considérable. Pour la tyrosine, on a observé au pF 4,8 une minéralisation atteignant 50 % de celle qui se produit au pF 2,7 (sol PT). En ce qui concerne l'azote organique préexistant dans le sol, on a noté des cas où la minéralisation était aussi intense à pF 4,0 qu'à pF 2,7 (sols TH et PT).

La nature biologique de ces processus de minéralisation a pu être vérifiée sur des échantillons en équilibre dans des enceintes à humidité contrôlée correspondant au pF 4,9 (incubation 8 semaines).

TABLEAU IV. *Démonstration de la nature biologique des processus de minéralisation de l'azote organique du sol.*

| Traitement | Azote minéral en p.p.m. | | | | | |
|-----------------|-------------------------|---|-----|------------------|---|-----|
| | avant incubation | | | après incubation | | |
| Sol stérile | 9,8 | ± | 0,2 | 9,8 | ± | 0,4 |
| Sol non stérile | 11,8 | ± | 0,3 | 25,8 | ± | 1,1 |

Lorsque l'humidité du sol est insuffisante, il n'y a plus minéralisation de l'azote par voie biologique. On peut alors se demander si la matière organique continue à évoluer sous l'influence de facteurs physiques tels que les radiations solaires ou le rayonnement infra-rouge.

Des expériences de contrôle que nous avons effectuées tout récemment ont effectivement confirmé le phénomène d'enrichissement parfois considé-

nable du sol en azote minéral (extractible par les méthodes classiques) sous l'influence du rayonnement infra-rouge déjà signalé par plusieurs chercheurs (2).

VI. CONCLUSION.

Nos résultats confirment les observations des autres en ce qui concerne l'ammonification; ce processus se poursuit à des humidités très inférieures à celle qui correspond au point de flétrissement permanent.

Nous avons pu également vérifier la validité des travaux antérieurs en ce qui concerne la nitrification du sulfate d'ammoniaque; celle-ci ne devient sensible qu'au pF 4,3 c'est à dire à une humidité toute proche du point de flétrissement permanent. Par contre, il a été démontré que pour certaines formes d'azote, la nitrification pouvait apparaître au pF 4,7. On a mis en outre en évidence l'influence considérable des caractéristiques biologiques du sol sur le niveau des seuils hydriques.

RÉFÉRENCES

1. DOMMERGUES, Y., 1959. L'activité de la microflore tellurique aux faibles humidités. C.R. Acad. Sci. Paris, 248, 487.
2. DROUINEAU, G., G. LEFEVRE, D. BLANC-AICARD, 1953. Minéralisation de l'azote organique des sols au cours de la saison sèche sous le climat méditerranéen. C.R. Acad. Sci. Paris, 236, 424.
3. ENGEL, M. S. et M. ALEXANDER, 1960. Autotrophic oxydation of ammonium and hydroxylamine. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 24, I, 48.
4. MEYER, J. A., 1959. Fluctuations de l'azote minéral dans les sols sous cultures vivrières. III ème conférence interafricaine des sols de DALABA.
5. ROBINSON, J. B. D., 1957. The critical relationship between soil moisture content in the region of wilting point and the mineralization of natural soil nitrogen. J. Agric. Sci. 49, I, 100.

RÉSUMÉ

Pour les sols présentant une activité biologique normale:

— le seuil hydrique de démarrage de la minéralisation de l'azote ou humidité minimum nécessaire au départ des phénomènes de transformation de l'azote organique en azote minéral (azote ammoniacal + azote nitrique) — exprimé en termes de pF varie entre 4,3 et 5,2, suivant la forme de l'azote organique.

— le seuil hydrique de démarrage de nitrification exprimé en termes de pF est de 4,3 pour le sulfate d'ammoniaque et peut s'élever à 4,7 pour l'azote préexistant naturellement dans le sol.

Pour les sols biologiquement peu actifs, ces caractéristiques sont beaucoup plus faibles.

SUMMARY

For soils presenting normal biological activity, the hydric threshold for starting nitrogen mineralization, or the minimum moisture necessary for the phenomena of transforming organic into mineral ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$) nitrogen, varies between pF 4.8 and 5.2, according to the form of organic nitrogen. The hydric threshold for starting nitrification is pF 4.3 for ammonium sulphate, and can rise to pF 4.7 for nitrogen existing naturally in the soil.

For biologically less active soils these characteristics are much weaker.

ZUSAMMENFASSUNG

Für Böden die eine normale biologische Aktivität aufweisen, schwankt erstens — die untere Schwelle über welcher die Mineralisation des Stickstoffs

in Gang kommt
benötigt als
ralischen Schwellen
pF-Zahlen, sondern
Stickstoff, sondern
tens die
rend an die
bis zu 4,7

in Gang kommt, — anders gesagt, die minimale Feuchtigkeit des Bodens, benötigt als Ausgangspunkt der Transformation von organischem in mineralischen Stickstoff (ammoniakalischen Nitratstickstoff) — ausgedrückt in pF-Zahlen, zwischen 4.8 und 5.2, je nachdem die Form des organischen Stickstoffs ist, und beträgt — zweitens — die untere Schwelle des Auftretens der Nitrifikation, in pF-Zahlen angegeben, 4.3 für Ammonsulfat, während sie für den Stickstoff, in natürlichem Zustande im Boden vorhanden, bis zu 4.7 ansteigen kann.

Für biologisch wenig aktive Böden sind diese Kennzeichen viel weniger scharf.

DISCUSSION

B. BERNIER: Pouvez vous indiquer ce qui motive le choix de la tyrosine, plutôt que d'un autre acide aminé, dans vos études sur l'ammonification?

V. DOMMERMUES: La tyrosine a été choisi de préférence à un autre acide aminé en raison de la facilité de sa caractérisation (réactif de Millon).