

DYNAMIQUE DE L'AZOTE MINÉRAL EN PRÉSENCE OU NON DE POUDRETTE DE FUMIER DANS UN SOL HYDROMORPHE À PSEUDOGLEY DE BAS-FOND EN ZONE SAHÉLO-SOUDANIENNE DU BURKINA FASO

B. BACYÉ¹, C. FELLER², R. MOREAU²

RÉSUMÉ

La dynamique de l'azote minéral a été étudiée, avec et sans apport de poudrette de fumier, dans les conditions réelles et simulées d'un sol de bas-fond en zone sahélo-soudanienne.

La dynamique au champ montre, dans le sol amendé ou non, la présence des deux formes d'azote minéral (NH_4^+ et NO_3^-) tout au long de la saison. L'azote NH_4^+ est prédominant en période de forte humidité du sol surtout en présence de la poudrette de fumier tandis que la forme NO_3^- est la plus représentée durant la période de non saturation du sol avec des valeurs légèrement plus élevées pour le témoin.

Les tests en laboratoire confirment l'accumulation de NH_4^+ durant la submersion, d'autant plus importante qu'il y a apport de matière organique (MO). Dans ce dernier cas toutefois, les teneurs baissent lorsque la submersion est prolongée. Pour NO_3^- , il y a une baisse progressive des teneurs qui disparaissent presque totalement en quatre semaines de submersion.

L'apport de la poudrette de fumier au champ permet globalement une augmentation des teneurs en azote minéral total (NH_4^+ et NO_3^-) par rapport au témoin sauf pendant les 3 premières semaines.

1. Institut du Développement Rural BP 1091 Bobo Dioulasso, Burkina Faso

2. Centre Orstom 911, Avenue Agropolis 34032 Montpellier, France

Mais cet effet dépressif des apports de MO pourrait être réduit en cas de submersion précoce.

Mots clés : sol hydromorphe à pseudogley de bas-fond - dynamique de l'azote minéral - apport de poudrette de fumier - zone sahélo-soudanienne.

SUMMARY

Mineral nitrogen dynamic was studied, with and without manure incorporation, in field conditions and also in laboratory conditions simulated of a shallow soil in sudano-sahelian region.

In field, both form of mineral nitrogen (ammonium and nitrate) were present during all incubation periode in fertilized and no fertilized soils. Ammonium N (NH_4^+) was predominant when soil humidity is high whereas nitrite N (NO_3^-) was predominant when soil humidity is low. Fertilization with manure increases concentrations of ammonium and depresses concentration of nitrite in the soil.

Laboratory simulation also showed that both high levels of humidity in the soil and prolonged submersion times have an adverse effect on the concentration of both ammonium N et nitrite N. Nitrite N disappears from submerged soil within 4 weeks.

Fertilization with manure globally increases total mineral N concentration (NH_4^+ and NO_3^-) in the soil only after 3 weeks. Submerging the soil early can reduce the time necessary for the improvement effect of manure to take place.

Key words : shallow soil - mineral nitrogen dynamic - manure incorporation - sahelo-sudanian area.

INTRODUCTION

Au Burkina Faso, en particulier dans la zone sahélo-soudanienne, les contraintes climatiques actuelles ont fait des bas-fonds un élément indispensable à la sécurité vivrière des populations. En effet, compte tenu de leur position dans le paysage, les bas-fonds sont le lieu où se concentrent les eaux de surface, les éléments minéraux mais aussi les nappes phréatiques (Raunet, 1985 ; Serpantié et Lamachère, 1988 ; Zida, 1992). Ils ont également des sols relativement plus riches que ceux des versants (Zombré, 1993 ;

Bacýé et Moreau, 1993). Il en résulte un potentiel de production agricole assez élevé pour cette zone où le manque d'eau constitue le principal facteur limitant la production végétale. Aussi, l'intensification de l'agriculture de bas-fond est-elle considérée comme une voie intéressante de réponse aux sécheresses. Mais compte tenu des conditions hydriques particulières, marquées par des engorgements temporaires des sols durant les périodes de forte pluviométrie, une intensification nécessitera une meilleure connaissance de la dynamique des éléments minéraux, en particulier de l'azote minéral. En effet, l'azote est parmi les éléments majeurs, celui qui, en plus de sa carence prononcée dans la plupart des sols tropicaux, peut être perdu dans certaines conditions d'humidité.

Le présent travail a pour objectif d'analyser l'évolution de l'azote minéral (NH_4^+ et NO_3^-) en fonction de différentes conditions hydriques pouvant survenir dans les sols de bas-fond. Cette étude, effectuée avec et sans apport de fumure organique (poudrette de fumier), est réalisée dans les conditions au champ ainsi qu'en milieu contrôlé simulant les différents états hydriques du sol.

1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.1. Caractéristiques du sol et conditions pédoclimatiques

L'étude a été réalisée au nord du Burkina Faso dans la zone de climat sahélo-soudanienne avec une pluviométrie annuelle comprise entre 600 et 750 mm mais qui tend à baisser ces dernières années (Guinko, 1985).

Le sol étudié est un sol hydromorphe à pseudogley formé sur matériau colluvio-alluvial argilo-limoneux en bas-fond. Les caractéristiques analytiques sont rassemblées dans le tableau 1.

Les conditions pédoclimatiques de la zone sont marquées par l'alternance, au cours de l'année, d'une longue saison sèche (octobre à mai) et d'une saison de pluies de juin à septembre. L'hydrodynamique de surface est caractérisée par des ruissellements importants des versants aux profits des bas-fonds (Serpantié et Lamachère, 1988), entraînant souvent, en année pluvieuse, des engorgements temporaires des sols de bas-fond. Comme ce fut le

cas pendant la saison pluvieuse de 1989, année de l'expérimentation au champ.

Tableau 1 : Caractéristiques physiques et chimiques de la couche 0-15 cm du sol étudié

Caractéristiques	Sol hydromorphe argilo-limoneux de bas-fond
Argile (%)	38
Limon fin (%)	22
Limon grossier (%)	16
Sable fin (%)	24
Sable grossier (%)	0
Carbone total (g)	8,4
Azote total (g)	0,76
Rapport C/N	11
Ca ²⁺ (cmol _c .kg ⁻¹)	1,62
Mg ²⁺ (cmol _c .kg ⁻¹)	0,93
K ⁺ (cmol _c .kg ⁻¹)	0,19
S (cmol _c .kg ⁻¹)	2,78
CEC (cmol _c .kg ⁻¹)	4,43
Saturation (%)	64
pH eau	5,5
P2O5 total (mg.kg ⁻¹)	209,1
P2O5 assi. (mg.kg ⁻¹)	28,8

1.2. Caractéristiques de la poudrette de fumier

La poudrette de fumier utilisée a été prélevée dans un parc à bovins. Sa composition est présentée au tableau 2. Le rapport C/N de 26,6 est relativement élevé car elle contient encore des débris végétaux peu transformés.

Tableau 2 : Composition chimique de la poudrette de fumier utilisée

Caractéristiques	C (%)	N (%)	C/N	P ₂ O ₅ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)
Poudrette de fumier	38,2	1,44	26,6	0,80	0,71	1,15	2,87

1.3. Incubation au champ

La méthode d'incubation s'inspire de celle utilisée par Godefroy (1974). L'échantillon de sol, prélevé dans la couche 0-15 cm, est mélangé avec la poudrette de fumier à raison de 1,3 g de carbone pour 100 g de sol correspondant à peu près à celle apportée par les paysans dans les poquets de semis. Le mélange est mis dans des sacs à maille de 1 mm (1 kg/sac) qui sont enfouis entre 5 et 15 cm de profondeur. Les sacs sont déterrés, les uns après les autres, à des pas de temps variables, pour doser les teneurs en l'azote minéral.

L'essai comporte un traitement poudrette de fumier (Tf) et un témoin (T0) en 4 répétitions. Au total 9 sacs ont été enfouis par traitement et par répétition pour 9 prélèvements étalés sur toute la saison pluvieuse, soit 95 jours du 7 juillet au 21 octobre 1989. Les prélèvements ont été effectués respectivement à 7, 15, 21, 28, 40, 50, 60, 75 et 95 jours après incubation (JAI).

1.4. Incubation au laboratoire

La méthode d'incubation s'inspire de celle utilisée par Rochester et al. (1991). Dans un bécher en plastique de 100 ml, on met 60 g de sol tamisé à 2 mm et on ajoute une quantité d'eau distillée nécessaire pour amener l'échantillon au taux d'humidité voulu. Les béchers sont ensuite couverts de parafilm perforé et placés à 30 °C dans un incubateur ventilé. Au cours de l'incubation, des béchers sont sacrifiés à des pas de temps variables pour le dosage de l'azote minéral (NO₃⁻ et NH₄⁺).

Les traitements étudiés, qui simulent l'évolution de l'humidité des sols de bas-fond au cours de la saison pluvieuse, sont :

- traitement TA dans lequel l'humidité du sol est maintenue à 60 % environ de la capacité au champ pendant 6 semaines ;

- traitement TB correspondant à une submersion pendant 6 semaines avec une lame d'eau de 5 mm d'épaisseur ;

- traitement **TC** dans lequel le sol est préalablement humidifié à 60 % de capacité au champ pendant 2 semaines avant d'être submergé pendant 4 semaines.

- traitement **TD** correspondant à une humidité de 60 % de la capacité au champ pendant 2 semaines suivie par une semaine de submersion puis un dessèchement lent de 3 semaines en cessant les apports d'eau.

- traitement **TE** correspondant à une humidité de 60 % de la capacité au champ pendant 2 semaines suivie par une semaine de submersion puis un dessèchement rapide qui ramène, en 2 à 3 jours, en enlevant le parafilm et en arrêtant les apports d'eau, l'humidité des échantillons au niveau d'avant l'incubation (<1%).

Tous ces traitements ont été conduits, en 3 répétitions, avec et sans apport de la poudrette de fumier à la même dose que dans l'incubation au champ.

Le rythme de dosage de l'azote minéral a été le suivant : 1, 2, 4 et 6 semaines après incubation pour les traitements TA et TB, et à la fin de chaque phase hydrique pour les autres traitements.

1.5. Dosage de l'azote minéral

Pour le test d'incubation au champ, les formes ammoniacale (NH_4^+) et nitrique (NO_3^-) ont été dosées par colorimétrie au spectrophotomètre après extraction au KCl 1 M. Les ions NH_4^+ ont été dosés après complexation avec le réactif de Nessler alors que les nitrates ont été d'abord réduits en présence d'un mélange d'acide sulfurique concentré et d'acide salicylique en nitrites qui ont été dosés par réaction colorée.

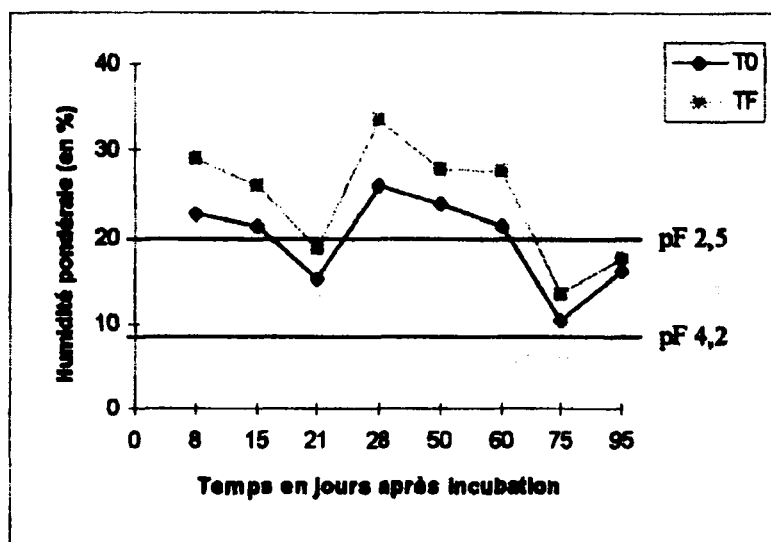
Concernant le test au laboratoire, les dosages ont été effectués par colorimétrie à l'autoanalyseur après extraction au KCl 1 M. Les nitrates ont été réduits par le sulfate d'hydrazine en nitrites qui ont été dosés par réaction colorée alors que le dosage de l'ammonium a été réalisé par la réaction de Berthelot au bleu d'indophenol.

2. RÉSULTATS

2.1. Evolution des teneurs en azote minéral au champ

Les conditions hydriques au cours de l'incubation ont été marquées par une période d'inondation de 10 jours entre le 12 et le 25 juillet 1989 et par deux périodes sèches entre le 15 et le 25 juillet puis entre le 10 et 23 septembre. L'humidité du sol dans les sacs enfouis (figure 1), a subi les effets de l'alternance de ces périodes humides et de périodes sèches qui caractérisent la saison pluvieuse dans cette zone. Les taux d'humidité sont plus élevés dans le sol amendé avec des valeurs supérieures à pF 2,5 pendant la période plus pluvieuse. Cela va sans doute influencer la dynamique de l'azote minéral.

Figure 1 : Evolution de l'humidité dans un sol de bas-fond incubé au champ avec et sans poudrette de fumier

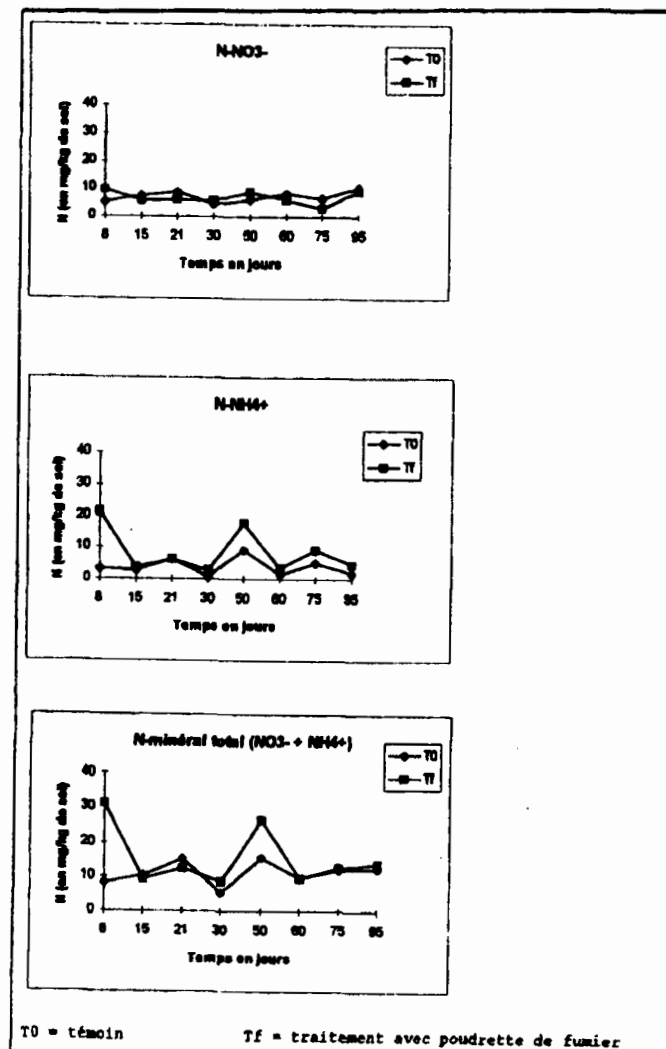


T0 = Témoin

Tf = Traitement poudrette de fumier

Les résultats (figure 2) révèlent la présence des deux formes d'azote minéral (NH_4^+ et NO_3^-) dans le sol tout au long de saison. Mais l'importance de l'une ou de l'autre forme varie selon la date de prélèvement et la présence ou non de la poudrette de fumier.

Figure 2 : Evolution des teneurs en azote minéral dans un sol de bas-fond incubé au champ avec et sans poudrette de fumier



Pour les teneurs en nitrates, les valeurs sont relativement plus élevées dans le sol témoin (4,5 à 10,5 mg/kg de sol) que dans le sol amendé Tf (3,5 à 9,7 mg/kg de sol) surtout pendant les périodes comprises entre 15 et 21 JAI et entre 60 et 95 JAI.

Les teneurs en NH_4^+ par contre, sont plus importantes dans le traitement Tf (3,4 à 17,8 mg/kg de sol contre 0,9 à 9,5 mg/kg de sol pour le témoin). L'évolution des teneurs est marquée par des pics de NH_4^+ plus accentués dans Tf. L'apparition de ces pics correspond à des épisodes plus pluvieuses 50 et 75 JAI où le sol était inondé.

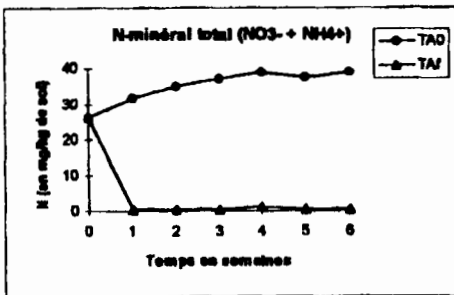
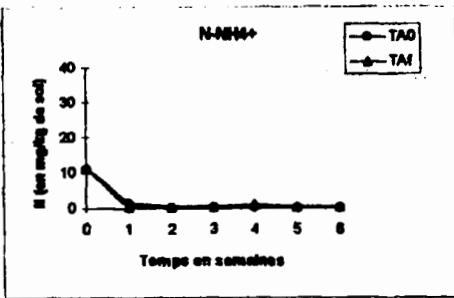
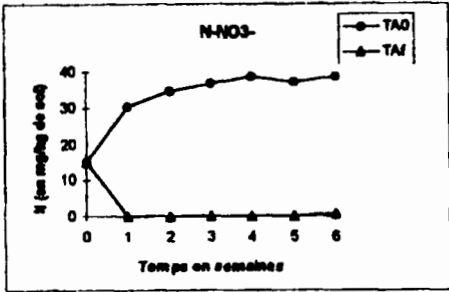
L'évolution des teneurs en azote minéral total ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) montre que les valeurs sont plus élevées dans le sol amendé Tf sauf à 21 JAI où le témoin présente les plus fortes teneurs.

2.2. Evolution des teneurs en azote minéral en fonction des conditions d'humidité

2.2.1. Minéralisation nette en conditions hydriques normales

Dans les conditions hydriques normales proches de 60 % de la capacité au champ, on observe dans le témoin (TA0) une augmentation des teneurs en NO_3^- de 15,1 à 38,4 mg/kg de sol et une diminution de celles en azote NH_4^+ de 11,0 à 0,4 mg/kg de sol (figure 3). L'apport de poudrette de fumier se traduit par une immobilisation de l'azote minéral du sol pendant les 6 semaines d'incubation avec des teneurs qui passent de 15,1 à 0 mg/kg de sol pour NO_3^- et de 11,2 à 0,5 mg/kg de sol pour NH_4^+ .

Figure 3 : Evolution des teneurs en azote minéral dans un sol de bas-fond dans les conditions d'humidité normale avec et sans poudrette de fumier



TAO = témoin

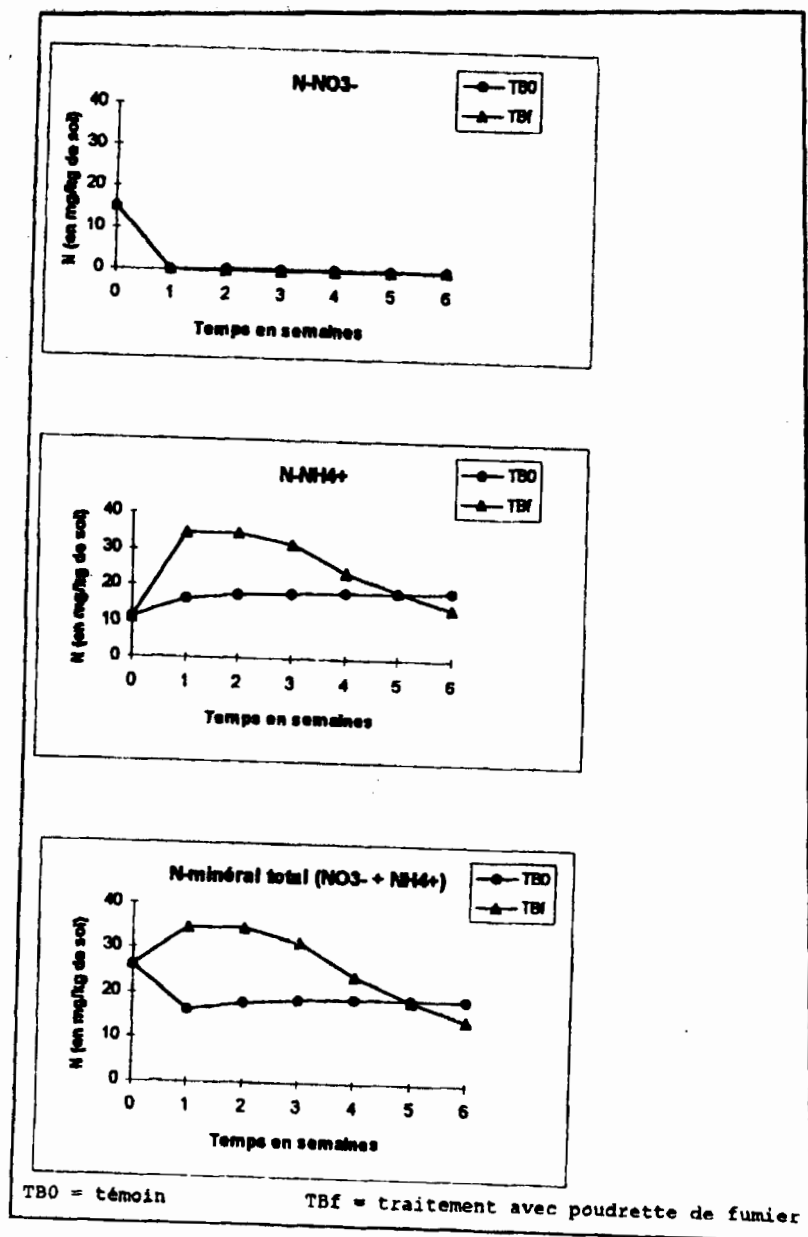
TAF = traitement avec poudrette de fumier

2.2.2. Minéralisation nette de l'azote en fonction des conditions de submersion

2.2.2.1. Azote minéral après une submersion du sol sec

Les résultats illustrés dans la figure 4 montrent que la submersion du sol sec entraîne dans le témoin la quasi disparition de l'azote NO_3^- dès la première semaine (11,0 à 0,5 mg/kg de sol) et l'augmentation progressive des teneurs en NH_4^+ qui passent de 11,1 à 18,7 mg/kg de sol. Dans le traitement poudrette de fumier (TBf), l'azote NO_3^- présente la même évolution que dans le témoin alors que celle de l'azote NH_4^+ passe par deux phases : la première phase dure les 2 premières semaines et est marquée par une augmentation des teneurs (11,1 à 34,6 mg/kg de sol) ; la seconde phase qui correspond au reste de l'incubation est marquée par une baisse progressive des teneurs (34,6 à 14,0 mg/kg de sol).

Figure 4 : Evolution des teneurs en azote minéral après submersion d'un sol de bas-fond sec avec et sans poudrette de fumier

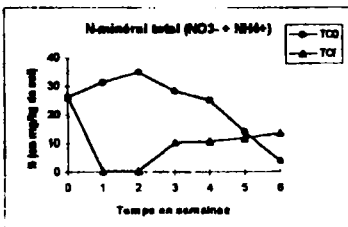
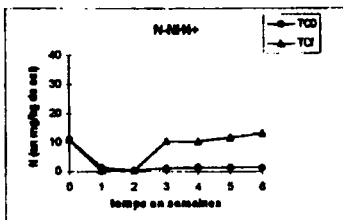
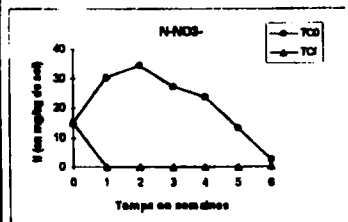


2.2.2.2. Azote minéral après une submersion du sol préalablement humidifié

2.2.2.2.1. Submersion de longue durée

L'examen de la figure 5 révèle que la submersion de 4 semaines du sol préalablement humidifié provoque, en absence de poudrette de fumier (témoin TC0), une diminution progressive des teneurs en NO_3^- (34,6 à 2,6 mg/kg de sol) et une légère augmentation de celles en NH_4^+ (0,4 à 1,4 mg/kg de sol). Dans le traitement poudrette de fumier (TCf), les teneurs restent quasiment nulles pour NO_3^- et augmentent pour NH_4^+ de 0,4 à 13,1 mg/kg de sol en une semaine.

Figure 5 : Evolution des teneurs en azote minéral après submersion d'un sol de bas-fond préalablement humidifié, avec et sans poudrette de fumier

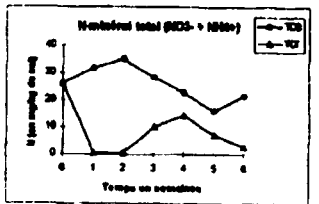
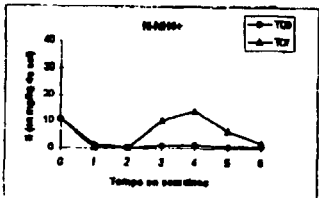
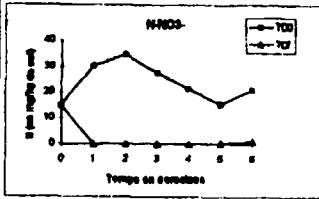


TC0 = témoin TCf = traitement avec poudrette de fumier

2.2.2.2. Submersion de courte durée

La submersion d'une semaine suivie du dessèchement lent (figure 6), entraîne dans le témoin TDO une diminution des teneurs en azote NO_3^- de 34,6 à 21,2 mg/kg de sol alors que celles de l'azote NH_4^+ restent quasiment nulles. Au contraire, dans le traitement avec poudrette de fumier TDF, ce sont les teneurs en azote NO_3^- qui ne sont pas modifiées par l'excès d'eau d'une semaine (elles restent nulles) alors que les teneurs en azote NH_4^+ augmentent dans un premier temps (0,4 à 14,3 mg/kg de sol) avant de baisser durant les 2 dernières semaines (14,3 à 2,1 mg/kg de sol). Cette baisse des teneurs en absence d'excès d'eau peut être attribuée à la réorganisation de l'azote.

Figure 6 : Evolution des teneurs en azote minéral après submersion de courte durée suivie d'un dessèchement lent d'un sol de bas-fond préalablement humidifié, avec et sans poudrette de fumier

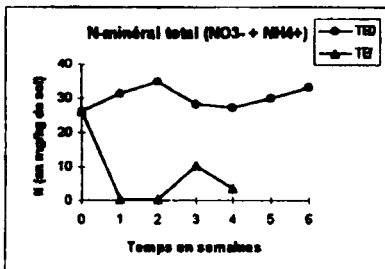
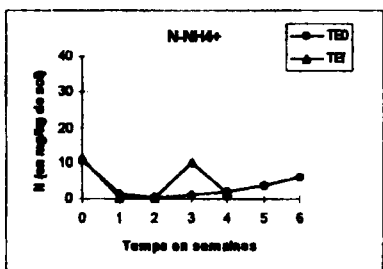
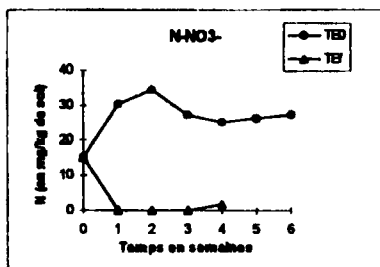


TO = témoin

TDF = traitement avec poudrette de fumier

Dans le cas de la submersion d'une semaine et du dessèchement rapide (figure 7), on observe les mêmes phénomènes que précédemment mais le dessèchement rapide semble limiter la diminution des teneurs en azote NO_3^- dans le témoin TE0 (34,6 à 25,3 mg/kg de sol) et l'augmentation de celles de l'azote NH_4^+ de TEf (0,4 à 10,3 mg/kg de sol). Dans ce dernier, la phase de diminution de NH_4^+ commence dès l'application du dessèchement.

Figure 7 : Evolution des teneurs en azote minéral après submersion de courte durée suivie d'un dessèchement rapide d'un sol de bas-fond préalablement humidifié, avec et sans poudrette de fumier



3. DISCUSSION

Dans les conditions hydriques proches de 60 % de la capacité au champ, la minéralisation nette de l'azote dans le sol non amendé est marquée par une augmentation des teneurs en azote minéral avec une prédominance de l'azote NO_3^- . L'apport de la poudrette de fumier se traduit par une minéralisation nette très faible à nulle. Cette baisse de la minéralisation est attribuée à la forte réorganisation de l'azote minéral qui accompagne l'incorporation au sol de la matière organique à rapport C/N élevé (Craswell, 1978 ; Weeraratna, 1979 ; Azam et al., 1985 et Rochester et al., 1991). Inubushi et al. (1985) rapportent aussi que la baisse de la minéralisation nette peut être liée à l'adsorption des substances organiques azotées et de l'azote NH_4^+ sur les argiles. Ceci est possible compte tenu de la richesse en argile du sol étudié. L'effet de l'apport de la poudrette de fumier sur la diminution des teneurs en azote minéral par rapport au témoin a été observé pendant les 2 à 3 premières semaines dans l'expérimentation au champ et pendant toute la durée de celle menée en laboratoire. Cependant, dans les conditions au champ il n'apparaît pas la disparition quasi totale de l'azote minéral observée au laboratoire. Cette différence entre champ et laboratoire s'expliquerait par la variabilité au champ des conditions hydriques.

En réalité, la répartition des pluies au cours de la saison entraîne toujours des périodes d'engorgement voire de submersion dont le moment d'apparition et la durée sont variables d'une année à une autre. La submersion qui modifie l'ambiance physico-chimique des sols par une diminution du taux d'oxygène (Ponnamperuma, 1972 ; Patrick, 1974, 1982 et Vizier, 1990), entraîne des modifications de la dynamique de l'azote minéral, variables selon la présence ou non d'apport organique. Les variations des teneurs en azote minéral vont donc dépendre des conditions d'intervention et de la durée de la submersion.

Lorsque la submersion survient brutalement sur un sol sec, il se produit, selon Henin et al. (1969), une destruction des agrégats conduisant rapidement à une situation d'anaérobie. La minéralisation nette de l'azote dans ces conditions est marquée par une accumulation de l'azote NH_4^+ d'autant plus importante qu'il y a un

apport de matière organique et une quasi disparition de l'azote NO_3^- . Ponnamparuma (1972) rapporte qu'au bout de 2 semaines de submersion la presque totalité de l'azote minéralisable du sol est transformée en azote NH_4^+ . Ceci explique que les teneurs en NH_4^+ soient plus élevées dans le sol avec poudrette par rapport au témoin. Mais lorsque la submersion est longue il y a une baisse des teneurs en NH_4^+ accumulé qui pourrait être due à une réorganisation microbienne dont Patrick (1982) signale l'importance en présence d'apport organique. Cela pourrait également s'expliquer par la fixation de l'azote NH_4^+ sur les argiles.

Toutefois, lorsque le sol est préalablement humidifié, ce qui est fréquent pour la plupart des bas-fonds de la zone en année pluvieuse comme celle de 1989, la submersion intervient à un moment où le sol contient plus d'azote NO_3^- . Dans ces conditions, on observe pendant la submersion les mêmes phénomènes d'évolution de l'azote NH_4^+ avec cependant, une intensité beaucoup plus faible. L'augmentation des teneurs en NH_4^+ confirme les observations au champ. Par contre, l'azote NO_3^- accumulé durant la première phase d'humidité subit une dénitrification progressive au cours de la submersion. Dès la disparition de l'excès d'eau, la minéralisation nette redevient normale. Ainsi, dans le sol témoin les teneurs en NO_3^- augmentent alors que dans le sol amendé la réorganisation de l'azote l'emporte avec une diminution rapide des teneurs en azote NH_4^+ accumulé au cours de la submersion.

CONCLUSION

L'étude a permis de suivre l'évolution des teneurs en azote minéral dans les conditions du sol de bas-fond.

Au champ, la minéralisation nette, dans le sol amendé ou non, se produit durant toute la saison. L'évolution des teneurs montre une accumulation d'azote NH_4^+ en période de forte humidité surtout en présence de la poudrette de fumier. L'apport de matière organique permet une augmentation des teneurs en azote minéral par rapport au témoin.

L'effet de l'excès temporaire d'eau sur les transformations de l'azote minéral a été précisé par une expérience en milieu contrôlé. Lorsque des conditions d'excès d'eau interviennent brutalement sur un sol sec, la minéralisation de l'azote conduit à une augmentation des teneurs en NH_4^+ et à une disparition rapide de NO_3^- . L'apport de poudrette de fumier permet un accroissement des teneurs en NH_4^+ par rapport au sol non amendé.

Dans la plupart des bas-fonds de la zone concernée, l'excès temporaire d'eau survient généralement sur des sols déjà humidifiés. Dans ces conditions, pour un sol non amendé, la submersion intervient à un moment où les teneurs en azote NO_3^- sont élevées. Il se produit au cours de la submersion une baisse progressive des teneurs en NO_3^- (20 % en une semaine à 90 % en 4 semaines) tandis que les teneurs en azote NH_4^+ augmentent mais restent très faibles car une grande partie de l'azote facilement minéralisable a été nitrifiée durant la première phase d'humectation. Mais en présence de poudrette de fumier, les teneurs en azote NH_4^+ augmentent fortement. Ces résultats confirment les observations faites au champ. Cela révèle un effet négatif de l'excès temporaire d'eau sur les teneurs en azote minéral total ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) d'un sol cultivé sans apport de matière organique. Ce qui peut conduire, au cours de la phase de submersion, à une faim d'azote pour les plantes cultivées. Par contre, pour le sol amendé la submersion entraîne une augmentation de teneurs en azote minéral essentiellement sous forme NH_4^+ .

La conséquence de cette dynamique sur l'alimentation azotée dépendra des plantes cultivées qui peuvent, ou non, supporter les conditions d'anaérobiose accompagnant la submersion.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AZAM F., HAIDER K. AND MALIK K.A., 1985 - Transformation of ^{14}C labelled plant components in soil in relation to immobilization and remineralization of ^{15}N fertilizer. *Plant and Soil* 86, 15-25.

- BACYÉ B. et MOREAU R., 1993** - Evolution du statut organique et du pouvoir minéralisateur des sols en zone soudano-sahélienne (Burkina Faso). Comm. au 1er Colloque de l'AOCASS (Ouagadougou, 6 au 13 décembre 1993), 22 p.
- CRASWELL E. T., 1978** - Some factors influencing denitrification and nitrogen immobilization in a clay soil. *Soil Biol. Biochem.*, 10, 241-245.
- GODEFROY J., 1974** - Evolution de la matière organique du sol sous culture de bananier et de l'ananas. Relation avec la structure et la capacité d'échange cationique. Thèse Docteur-Ingénieur. Univ. Nancy I, 166 p.
- GUINKO S., 1985** - Contribution à l'étude de la végétation et de la flore du Burkina Faso (ex Haute-Volta). I. Territoires phytogéographiques. *Bulletin de l'I.F.A.N.*, T.26, Sér. A, n° 12, 129-139.
- HENIN S., GRAS R. et MONNIER M., 1969.** - Le profil cultural. L'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. Masson & Cie, 2ème Ed, Paris, 329 p.
- INUBUSHI K., WADA H., and TAKAI Y., 1984.** - Easily decomposable organic matter in paddy soil. VI. Kinetics of nitrogen mineralization in submerged soil. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 31 (4), 563-572.
- PATRICK W. H. and GOTOH S., 1974** - The role of oxygen in nitrogen loss from flooded soils. *Soil Sci.*, 118, 78-81.
- PATRICK W. H., 1982** - Nitrogen transformations in submerged soils. In : *Nitrogen in Agricultural Soils - Agronomy*, 22, 449-465.
- PONNAMPERUMA F. N., 1972.** - The chemistry of submerged soils. In : *Advances in Agronomy*, 24, 29-96.
- RAUNET M., 1985** - Bas-fonds et riziculture en Afrique. Approche structurale comparative. *Agron. Trop.*, 40, 3, 181-201.
- ROCHESTER I. J., CONSTABLE G. A. and MACLEOD D. A., 1991** - Mineral nitrogen dynamics in a fallow grey clay. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 31, 237-244.
- SERPANTIÉ G. ET LAMACHÈRE J. M., 1988** - Valorisation agricole des eaux de ruissellement en zone soudano-sahélienne. Burbina Faso Province du Yatenga Région de Bidi. Orstom Ouagadougou, Multigr., 19 p.

-
- VIZIER J. F., 1990** - Etude du fonctionnement des milieux saturés d'eau. Une démarche physico-chimique. *Cah. ORSTOM, Sér. Pédol.*, XXV, 4, 431-442.
- WEERARATNA C. S., 1979** - Pattern of nitrogen release during decomposition of some green manures in tropical alluvial soil. *Plant and Soil*, 53, 287-294.
- ZIDA M., 1992** - Conditions hydriques dans un bas-fond sahélien. Incidence sur les cultures vivrières (Bidi, Nord Yatenga, Burkina Faso). Mémoire IDR/Univ. de Ouagadougou, 90 p.
- ZOMBRÉ N. P., 1993** - Morphopédologie et aptitude culturale des bas-fonds de Goinré, Sanga et Bidi. Orstom/IDR, Burkina Faso, 76 p.