

Observations sur la minéralisation *in situ* de l'azote du sol en savane sahélienne (Sénégal)

France BERNHARD-REVERSAT
ORSTOM — B.P. 1386 Dakar (Sénégal)

RÉSUMÉ

La minéralisation nette de l'azote est mesurée *in situ* dans une savane sahélienne, où les précipitations annuelles sont de 300 mm, les pluies tombant principalement de juillet à septembre.

Des échantillons de sol superficiel (0-7 cm) ont été mis en incubation sur le terrain pour des durées de quatre semaines dans des boîtes.

La production annuelle d'azote minéral a été estimée à 13 g/m² sous *Acacia senegal*. Elle est plus faible sous un autre arbre, *Balanites aegyptiaca*, et à découvert sous végétation herbacée.

Le maximum a été observé en début de saison des pluies. De fortes pluies groupées en août ont provoqué la disparition de l'azote nitrique de l'horizon superficiel. La présence d'arbre influence la minéralisation, ainsi que l'espèce d'arbre considérée.

Les teneurs du sol en azote minéral, azote total, et carbone ont été suivies durant la même période.

MOTS-CLÉS : Minéralisation de l'azote — Matière organique — Sol — Savane sahélienne — *Acacia senegal* — Ecosystème — Sénégal.

ABSTRACT

Net nitrogen mineralization was studied *in situ* in a sahelian savanna, where the 300 mm of annual precipitation fall mainly during three months, from July to September.

The topsoil (to 7 cm depth) was incubated during four-weeks periods in open boxes placed in the soil, with the opening upwards during the dry season and downwards during the rainy season in order to prevent leaching.

The annual production of mineral nitrogen was estimated to be about 13 g/m² under *Acacia senegal*. It was lower under another tree, *Balanites aegyptiaca* and in the open under herbaceous vegetation.

The maximum mineralization was observed in the beginning of the rainy season, in June or July. The high rainfall that occurred in August resulted in the disappearance of nitrate nitrogen from the topsoil and in a decrease in net mineralization. The production of mineral nitrogen was still low during the end of the rainy season. The presence of trees, and the species concerned, influenced the magnitude of nitrogen mineralization.

Mineral nitrogen, total nitrogen and carbon content of the soils was followed during the same period.

KEY WORDS : Nitrogen mineralization — Organic material — Soil — Sahel savanna — *Acacia senegal* — Ecosystem — Senegal.

1. INTRODUCTION

La nécessité de conserver les arbres en zone sahélienne a été souvent soulignée et en particulier à la suite de la dernière période de sécheresse (Boudet, 1972). Leur influence sur la teneur du sol en matière organique et en azote a été mise en évidence, et plusieurs auteurs se sont intéressés au rôle de diverses espèces d'*Acacia* en zone semi-aride et aride : Gerakis *et al.* (1970) au Soudan, Jung (1969) au Sénégal, Orchard *et al.* (1956) en Afrique du Sud, Garcia-Moya *et al.* (1969), en Californie.

La minéralisation de l'azote dans le sol est un aspect important du cycle de cet élément dans l'écosystème : nous l'avons étudiée sous deux espèces d'arbres : *Acacia senegal* (Mimosées) et *Balanites aegyptiaca* (Zygophyllacées). Les résultats que nous présentons ici ont été obtenus lors d'une première année de mesures sur un échantillonnage restreint.

Ces recherches ont été faites dans le nord du Sénégal à Fété-Olé, Station décrite par Bille *et al.* (1972). Cette région reçoit en moyenne 300 mm de pluies par an, presque exclusivement pendant les mois de juillet, août et septembre. La variabilité interannuelle est très élevée, aussi bien en ce qui concerne la quantité que la répartition. La topographie présente une succession de dunes et de dépressions avec des pentes faibles. Les sols sont formés sur un substrat sableux et sont du type ferrugineux peu lessivé sur dunes et sur pentes, et plus ou moins hydromorphes dans les dépressions.

2. MÉTHODES

2.1. ÉCHANTILLONNAGE

Les arbres étudiés se trouvent sur la partie inférieure de la pente ou en bordure de dépression, où les *Acacia*

sont les plus abondants (des mesures seront faites dans d'autres situations topographiques ultérieurement).

Deux types d'échantillonnage ont été utilisés sous les arbres :

En saison sèche l'activité biologique est nulle mais des transformations de l'azote peuvent se faire sous l'influence du rayonnement solaire (Dommergues, 1960); pendant cette période on a fait des prélèvements sous deux *Acacia* et un *Balanites*, en faisant pour chaque arbre un échantillon moyen à partir de prélèvements faits à diverses distances du tronc en quantité proportionnelle à cette distance.

En saison des pluies on a prélevé le sol sous quatre *Acacia* et trois *Balanites*. Une étude préliminaire de la répartition horizontale de l'azote minéral sous l'arbre a montré une zone (de 0 à 80-100 cm du tronc) où la teneur en azote augmente généralement vers le tronc, et une zone où elle est relativement constante (entre 80-100 cm du tronc et l'aplomb du bord de la couronne). Pour chaque arbre on a étudié séparément les deux zones et on a utilisé une courbe schématisée de la répartition (fig. 1) pour calculer les teneurs moyennes sous couronnes.

En dehors du couvert des arbres les échantillons moyens ont été faits à partir d'une dizaine de prélèvements. On a considéré d'une part la pente (dans sa partie inférieure), d'autre part la bordure de dépression en dehors des sols hydromorphes.

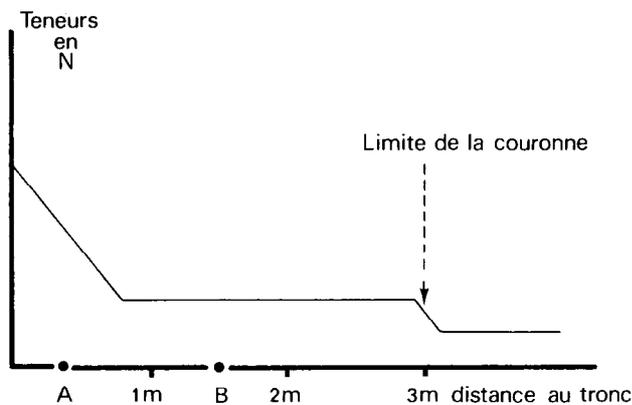


Fig. 1. — Schématisation de la teneur en azote sous la couronne des arbres utilisée pour calculer la teneur moyenne; les prélèvements sont faits aux distances A et B.

2.2. INCUBATIONS ET ANALYSES

Le prélèvement initial de sol est fait entre 0 et 7 cm de profondeur; il est homogénéisé à la main et débar-

rasé des racines, puis une partie est mise dans une boîte de 225 ml et 7 cm de haut que l'on place dans le sol pour une incubation de 4 semaines, le haut de la boîte étant au niveau de la surface du sol (Lemee, 1967).

Pendant la saison sèche les boîtes étaient placées l'ouverture vers le haut afin que le sol soit directement soumis aux effets du rayonnement solaire.

Pendant la saison des pluies elles étaient placées en sens inverse pour éviter le lessivage des nitrates, et fermées par un grillage métallique.

L'échantillon initial est analysé, ainsi que le contenu de la boîte après incubation.

L'azote ammoniacal est extrait par une solution de chlorure de sodium à pH acide, et l'azote nitrique par une solution de sulfate de cuivre additionnée de sulfate d'argent. L'ammoniaque est dosée par microdiffusion et les nitrates par colorimétrie à l'acide phénol-disulfonique selon les méthodes indiquées par Bremner (1965).

Les analyses de l'azote total et du carbone sont faites au laboratoire d'analyses de l'ORSTOM de Dakar, sous la direction de C. Paycheng. L'azote est dosé au Technicon après minéralisation, par la méthode de Berthelot (indophenol); le carbone est analysé au Carmograph.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. PRODUCTION TOTALE D'AZOTE MINÉRAL

Les valeurs nettes observées sont données au tableau 1. Elles représentent les quantités d'azote minéral effectivement disponibles pour la végétation, soustraction faite des quantités de nitrates perdues lors des fortes pluies d'août. Néanmoins elles peuvent être influencées par le dispositif expérimental qui peut, en particulier, ralentir l'évaporation de l'eau et accroître le temps pendant lequel le sol reste humide.

L'accumulation d'azote minéral est relativement élevée. Peu de données existent à ce sujet sur les formations herbacées tropicales. De Rham (1973) a mesuré une minéralisation annuelle de 0,2 à 0,5 g d'azote/m² en savane guinéenne (Côte d'Ivoire), dans un climat plus humide et avec un couvert végétal plus dense; cet auteur estime que le cycle de l'azote se déroule presque uniquement au niveau de la rhizosphère de graminées, le reste du sol n'y participant pas. La minéralisation annuelle que nous pouvons estimer à Fété-Olé serait dix fois plus forte.

Les estimations que nous avons obtenues pour le sol sous *Acacia* indiquent une minéralisation remar-

TABLEAU I
ESTIMATION DE LA PRODUCTION D'AZOTE MINÉRAL IN SITU ENTRE 0 ET 7 cm AU COURS DE L'ANNÉE 1976.
ET TENEUR EN AZOTE TOTAL, EN g/m².

Court végétal	Janvier - Mai		Juin - Novembre		Total Janvier - Novembre		Teneur** en N total
	N-NO ₃	N-NH ₄ + N-NO ₃	N-NO ₃	N-NH ₄ + N-NO ₃	N-NO ₃	N-NH ₄ + N-NO ₃	
<i>Acacia</i> + Strate herbacée			7,60	8,36			90
			6,21	7,05			63
			5,89	6,31			87
			8,99	8,39			76
Moyenne	2,69	5,05	7,17	7,53	9,9	12,6	79
<i>Balanites</i> + Strate herbacée			0,35	0			71
			3,80	5,17			49
			5,58	6,69			77
			3,24	3,95	4,1	6,6	66
Moyenne	1,40	2,65	3,24	3,95	4,1	6,6	66
Strate herbacée*			7,09	6,69			38
			2,92	3,06			42
	Moyenne		5,00	4,88			40

* Première ligne : Partie inférieure de la pente - 2^e ligne : Bordure de dépression.
** Teneurs moyennes pour la période juin-novembre.

quablement active, s'approchant de ce que l'on peut observer en forêt tropicale humide (Bernhard-Reversat, 1974). Cette production d'azote minéral doit correspondre à un apport d'azote organique au sol au moins aussi grand. La litière de l'arbre étant peu abondante et disséminée par le vent, il est probable que la strate herbacée, dense sous les arbres, participe pour une part importante à ce cycle.

3.2. VARIATIONS SAISONNIÈRES DE LA MINÉRALISATION AU COURS DE L'ANNÉE

La figure 2 donne les résultats moyens obtenus sous chaque espèce d'arbre et à découvert.

3.2.1. Rôle de la pluie

On observe que les premières pluies ont une grande influence sur la production d'azote minéral : en mars environ 2 mm de pluies ont suffi à faire démarrer la nitrification; début juin, 6 mm de pluies ont provoqué une minéralisation importante sous *Acacia*, et sous cette espèce le maximum est observé en juin après une pluie de 15 mm; sous *Balanites* le maximum est

observé 4 semaine plus tard, après une pluie de 15 mm également.

Il semble que la microflore trouve à cette période un substrat favorable, riche en composés carbonés facilement utilisables; on sait en effet que la dessiccation du sol augmente sa teneur en oligo-saccharides, hexoses et pentoses (Dommergues et Mangenot, 1970). Il se produirait alors, dès que le sol est humide, une minéralisation très intense pendant de courtes périodes puisque le sol ne reste pas longtemps humide après une pluie de l'importance de celles qui ont été notées, même dans les conditions expérimentales utilisées. En conditions expérimentales *in vitro*, la stimulation de la minéralisation après dessiccation du sol est un phénomène connu. Il est possible qu'elle provoque alors la réorganisation d'une partie de l'azote minéral.

Les précipitations très abondantes du mois d'août ont provoqué dans les boîtes une diminution de la teneur en azote minéral peut-être due à une réduction des assimilatives des nitrates. Dans les échantillons prélevés hors des boîtes à la même date, la teneur en azote minéral également presque nulle peut refléter une période de dénitrification ou de lessivage des nitrates vers les horizons inférieurs. Les conditions pour une dénitrification rapide lors des fortes pluies sont

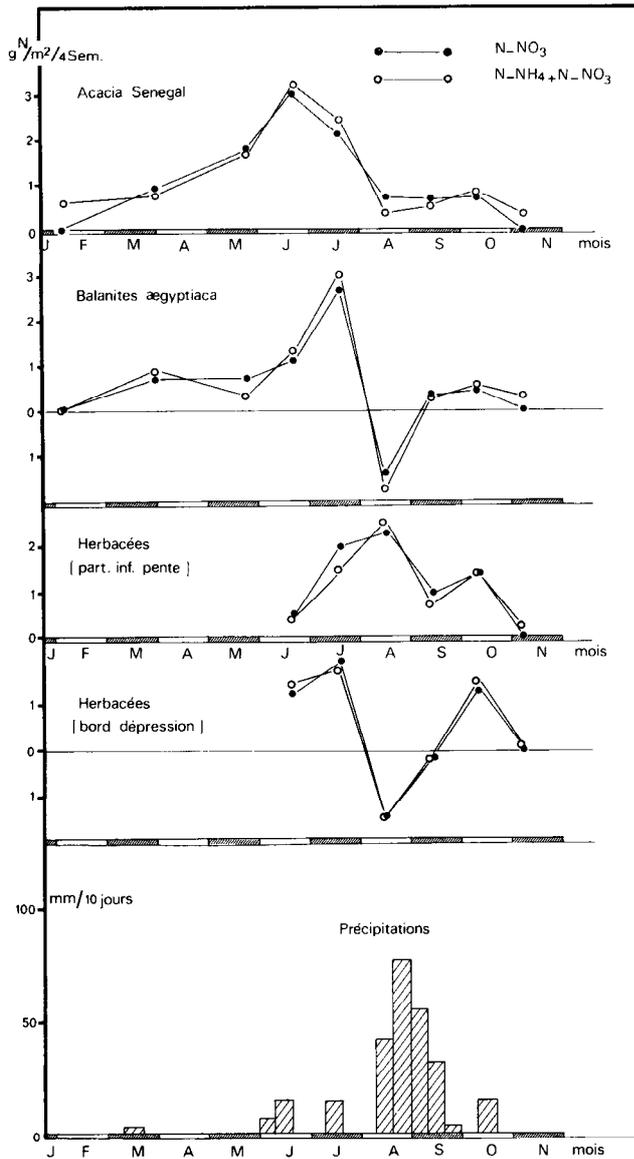


Fig. 2. — Gain en azote minéral du sol (0-7 cm) et précipitations décadaires pendant la même période.

effectivement réunies : présence de nitrates, pH neutre, température élevée et substances hydrocarbonnées nécessaires à la microflore dénitrifiante apportées par l'activité des racines pendant cette période.

Pendant le mois de septembre où les précipitations ont été suffisantes pour maintenir dans le sol une humidité favorable à la minéralisation, celle-ci est restée faible, traduisant probablement un épuisement des réserves du sol en carbone et azote facilement dégradables.

3.2.2. Influence de l'espèce d'arbre

La production nette annuelle d'azote minéral apparaît plus élevée sous *Acacia* que sous *Balanites*, mais des mesures complémentaires seront conduites pour préciser cette observation.

Le démarrage de la minéralisation en début de saison pluvieuse est plus lent sous *Balanites*, où l'action des premières pluies se manifeste moins que sous *Acacia*. La matière organique sous *Balanites* résisterait davantage à la dégradation, fait pouvant être lié à la litière produite par cet arbre.

3.3. VARIATIONS SAISONNIÈRES DE LA TENEUR DU SOL EN AZOTE MINÉRAL

La teneur du sol en azote minéral (fig. 3) dépend de la quantité d'azote minéralisé, de son utilisation par la microflore et la végétation et des quantités lessivées. Cette teneur s'élève au début de la saison des pluies lorsque la végétation herbacée est encore absente.

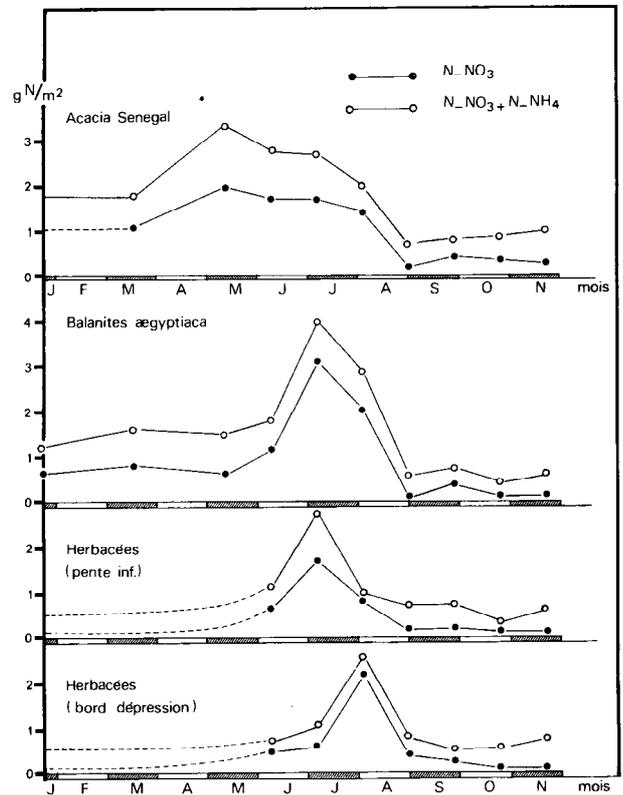


Fig. 3. — Teneur en azote minéral du sol (0-7 cm).

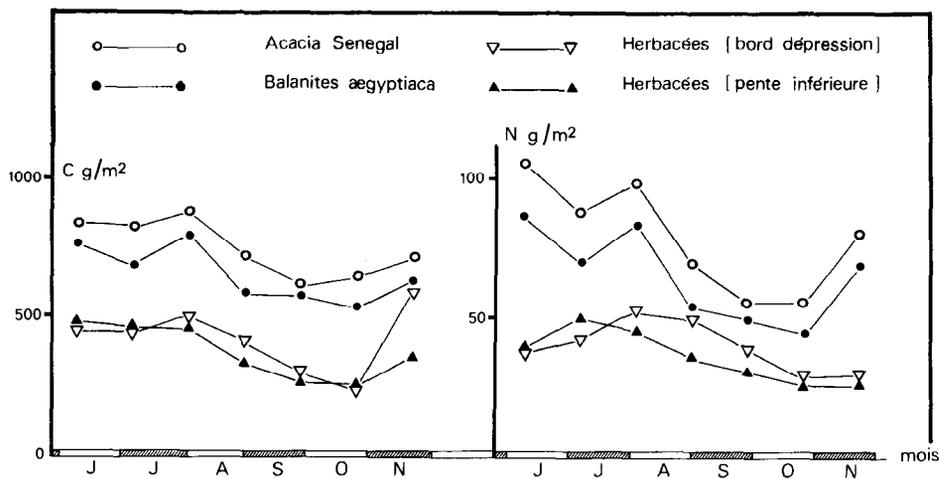


Fig. 4. — Teneur en azote total et en carbone du sol (0-7 cm)

Dès l'apparition de celle-ci en juillet, la teneur en azote minéral diminue rapidement et se maintient à un niveau faible au cours de la saison des pluies. Ce niveau reste bas pendant la saison sèche suivante avec une légère augmentation de l'azote ammoniacal due à des transformations non biologiques. Ce type de variations saisonnières a déjà été observé en zone semi-aride et semble caractéristique de ce milieu (Jung, 1970).

3.4. VARIATIONS SAISONNIÈRES DE LA TENEUR DU SOL EN AZOTE TOTAL ET EN CARBONE

Ces variations sont indiquées à la figure 4. On observe une forte diminution de l'azote total en août et septembre, qui atteint 35 à 47 % de la valeur observée en juin, soit beaucoup plus que la minéralisation nette mesurée.

Sans pouvoir situer actuellement leur importance respective, deux hypothèses peuvent être proposées : des quantités notables d'azote seraient perdues dans l'atmosphère et dans ce cas la minéralisation brute serait beaucoup plus élevée que la minéralisation nette ; ou alors l'azote organique soluble serait entraîné en profondeur par les pluies.

Les variations des teneurs en matière organique au cours de la saison pluvieuse sont plus faibles ; on observe également une diminution du carbone en août et septembre. Celle-ci pourrait être liée à une décomposition rapide de la matière organique du sol, précédant la réincorporation au sol de la matière végétale produite pendant cette période.

4. CONCLUSIONS

Ces observations sont une première contribution à la connaissance des modalités qui gouvernent la minéralisation de l'azote en milieu semi-aride. Mais il faudra définir l'importance des transformations non biologiques de la matière organique, pouvant intervenir aussi bien dans le cycle de l'azote (ammonification physico-chimique) que dans le cycle du carbone (dégradation des polysaccharides). On constate que l'activité de minéralisation, intense dès les premières pluies, fléchit ensuite, peut-être par l'effet d'un épuisement rapide du sol en substances facilement métabolisées ; une partie des pluies de l'hivernage serait par conséquent peu efficace. Ainsi plusieurs facteurs interviennent, simultanément ou successivement. L'étude de leur rôle sera poursuivie et on essaiera en particulier de mettre en évidence l'influence du couvert végétal et du relief.

Manuscrit reçu au Service des Publications de l'ORSTOM le 15 février 1978

BIBLIOGRAPHIE

- BERNHARD-REVERSAT (F.), 1974. — L'azote du sol et sa participation au cycle biogéochimique en forêt ombrophile de Côte d'Ivoire. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, 11 : 263-282.
- BILLE (J. C.), LEPAGE (M.), MOREL (G.) et POUPON (H.), 1972. — Recherches écologiques sur une savane sahélienne du Ferlo septentrional, Sénégal : Présentation de la région, *La Terre et la Vie* 26 : 332-350.

- BOUDET (G.), 1972. — Désertification de l'Afrique Tropicale sèche. *Adansonia*, ser. 2, 12 : 505-524.
- BREMNER (J. M.), 1965. — Inorganic forms of nitrogen. in : *Methods of soil analysis*, part 2, C. A. Black ed., Amer. Soc. Agron., Madison : 1179-1237.
- DOMMERCUES (Y.), 1960. — Influence du rayonnement infra-rouge et du rayonnement solaire sur la teneur en azote minéral et sur quelques caractéristiques biologiques des sols. *Agron. Trop.*, 15 : 381-389.
- DOMMERCUES (Y.) et MANGENOT (F.), 1970. — Ecologie microbienne du sol. Masson et Cie, Paris.
- GARCIA-MOYA (E.) et MAC KELL (C. M.), 1969. — Contribution of shrubs to the nitrogen economy of a desert-wash plant community. *Ecology*, 51 : 81-88.
- GERAKIS (P. A.) et TSANGARAKIS (C. E.), 1970. — The influence of *Acacia senegal* on fertility of sand sheet (« Goz ») soil in the central Sudan. *Pl. Soil*, 33 : 81-86.
- JUNG (G.), 1969. — Cycles biogéochimiques dans un écosystème de région tropicale sèche : *Acacia albida* (Del.) sol ferrugineux tropical peu lessivé (dior). *Ecol. Plant.*, 4 : 195-210.
- JUNG (G.), 1970. — Variations saisonnières des caractéristiques microbiologiques d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé (dior), soumis ou non à l'influence d'*Acacia albida* (Del.), *Æcol. Plant.*, 5 : 113-136.
- LEMEE (G.), 1967. — Investigations sur la minéralisation de l'azote et son évolution annuelle dans des humus forestiers *in situ*. *Æcol. Plant.*, 2 : 285-324.
- ORCHARD (E. R.) et DARB (G. D.), 1956. — Fertility changes under continued wattle culture with special reference to nitrogen fixation and base status of the soil. 6^e *Congrès Sci. Sol., Paris*, Vol. IV : 305-310.
- RHAM (P. de), 1973. — Recherches sur la minéralisation de l'azote dans les sols de savanes de Lamto (Côte d'Ivoire). *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 10 : 169-196.