

Zeitschrift: Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Tech. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich
Herausgeber: Geobotanisches Institut, Stiftung Rübel (Zürich)
Band: 45 (1970)

Artikel: L'azote dans quelques forêts, savanes et terrains de culture d'Afrique tropicale humide (Côte-d'Ivoire)
Autor: Rham, Patrick de
Kapitel: VI: Discussion et conclusion
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-308346>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

VI. Discussion et conclusion

A. Discussion des résultats

1. Forêts tropicales et forêts de climat tempéré

Dans les trois stations strictement forestières (stations 1, 2 et 3), la minéralisation de l'azote est partout très active et complète. Les productions annuelles par unité de surface que nous avons pu calculer sont importantes. Cette production d'azote minéral est d'ailleurs appréciable sous tous les couverts forestiers étudiés.

En général, une teneur élevée en eau s'accompagne d'une forte minéralisation, ce qui donne naissance à un rythme saisonnier plus ou moins net. Particulièrement évident dans la station 3 au climat plus contrasté, le rythme est moins sensible dans la station 1 au climat presque équatorial.

Cette influence positive d'une augmentation de la teneur en eau sur le taux de minéralisation de l'azote des sols forestiers correspond à ce qui a été trouvé par ELLENBERG (1964) dans des forêts du Plateau et du Jura suisses. A ce propos, il est intéressant de noter que la production d'azote minéral peut très nettement être handicapée par manque d'eau. Ceci est particulièrement net dans le cas du sol de l'îlot forestier (Sg7, station 4) en savane guinéenne dont les teneurs en eau sont toujours très basses. L'apport d'eau aux échantillons de ce sol mis à incuber en chambre humide augmente considérablement sa production d'azote minéral.

D'après BERNHARD (1966–1967), qui a étudié la chute et la décomposition de la litière dans la forêt du Banco (station 1), les quantités d'éléments minéraux et d'azote rendus au sol seraient plus importants en février (période de chute maximale des feuilles, saison sèche), parfois en juin (début de la saison des pluies) et en novembre. Les taux de minéralisation de l'azote, que nous avons mesurés, ne semblent concorder que partiellement avec ces résultats puisque, au mois de février, nous n'observons pas d'accumulations particulièrement fortes. Par contre, dans plusieurs parcelles, on note une augmentation au début de la saison des pluies, suivie d'une diminution et d'une nouvelle augmentation en novembre. L'azote libéré pendant la saison sèche doit donc être stocké partiellement par les micro-organismes du sol; d'autre part, la disparition initiale de la litière peut s'expliquer par l'activité des arthropodes et des vers.

Il est très intéressant de noter que les accumulations d'azote minéral dans les échantillons de sols mis à incuber sur le terrain et en chambre humide se sont faites avant tout sous forme d'azote nitrique, ceci bien que certains de ces sols soient très acides. Jusqu'à maintenant, on considérait qu'un milieu acide

empêche le processus de nitrification. Cette opinion reposant aussi bien sur les faits observés dans la nature que sur les résultats de travaux de microbiologie. Plus récemment, certains chercheurs (ANTONIETTI 1968; RUNGE, KLÖTZLI, communications personnelles) ont mis en évidence des productions d'azote nitrique parfois importantes dans des sols acides de climat tempéré, mais celles-ci s'accompagnent en général d'une production d'azote ammoniacal considérable, ce qui n'est pas le cas, sauf exception, dans nos sols.

Tout se passe comme si les conditions favorables d'humidité, d'aération et de température assurant une nitrification rapide, expliquent les faibles quantités de NH₄ trouvées après incubation, ceci nonobstant un pH souvent très bas¹.

Les seuls cas, où nous avons relevé des accumulations d'azote ammoniacal importantes, se sont produits lorsque les échantillons ont été inondés sur le terrain et sont certainement liés à une fermentation anaérobie. Ceci est à rapprocher de la constatation identique faite par WILLIAMS (1968) à propos de sols extrêmement différents (sols de prairies fertilisées d'Europe occidentale); l'auteur remarque également que dans ces sols biologiquement très actifs, des accumulations de NH₄ n'ont lieu que dans les échantillons de terrain et pratiquement pas dans ceux de chambre humide. Or, les conditions régnant dans les «chambres humides» des Instituts européens recréent précisément un climat tropical humide (température constante de 20 ou 25 °C, humidité relative de 95 à 99%).

Une comparaison plus valable peut être faite entre le mode de minéralisation de nos sols forestiers et celui décrit par ANTONIETTI (1968) dans des associations riches et productives du Tessin méridional. La ressemblance entre nos résultats (production moyenne élevée, production répartie tout au long de l'année, accumulation d'azote minéral sous forme de nitrate avant tout) et ceux trouvés dans les différentes variantes de l'association de l'*Helleboro-Ornetum* décrite par l'auteur est frappante. Ceci s'explique par le climat humide et doux du Sottoceneri qui, comme il est bien connu, se rapproche un peu des conditions tropicales humides. Mais remarquons que le sol de l'*Helleboro-Ornetum* est riche en carbonates et de réaction neutre et légèrement alcaline. Comme nous l'avons déjà dit, ANTONIETTI a également relevé dans la même région des accumulations de nitrate importantes dans des échantillons de sols pauvres en calcaires et par conséquent acides, mais les accumulations d'ammoniaque sont également appréciables. On peut cependant admettre qu'il s'agit d'un cas intermédiaire par rapport aux sols forestiers de Côte-d'Ivoire et que les conditions climatiques encore plus favorables aux micro-organismes permettent une nitrification complète, telle que nous l'avons observée.

En effet, l'observation sur place montre que la minéralisation de la litière en situation drainée est rapide et complète, à tel point que l'accumulation d'humus

¹ La mesure du pH, telle que nous l'avons pratiquée, n'est qu'un pis-aller. Il est fort possible qu'il existe au sein d'un sol «acide» des microzones de réaction neutre ou alcaline, dont les bactéries nitrifiantes pourraient profiter.

est en général faible. MULLER (1965) considère même que l'absence complète d'humus est un des traits typiques des forêts climatiques équatoriales ou tropicales humides. Cette opinion nous paraît un peu absolue, car il y a incontestablement dans certaines de nos parcelles une tendance à l'accumulation superficielle d'humus. Ceci semble même être la règle dans le cas des sols sablonneux dérivant des sables tertiaires, comme le montrent les analyses et profits donnés par ROOSE (1968). Mais, sous couvert forestier, le rapport C/N des sols drainés reste toujours relativement bas, ceci surtout dans l'horizon superficiel, ce qui dénote une bonne minéralisation. Aussi, nous pouvons faire la même constatation que RICHE (1964) dans son étude sur les fractions de l'humus des sols forestiers de la Côte-d'Ivoire: ces sols, malgré leur acidité, se rapprochent beaucoup des mulls à minéralisation rapide de climat tempéré. A ce propos, il est intéressant de noter qu'en Côte-d'Ivoire la présence de podzols est extrêmement rare, alors que des sols de ce type paraissent relativement courants en zone néotropicale, si l'on se réfère aux publications de SCHULZ (1960) au Surinam, de KLINGE (1962) et d'ELLENBERG (1959) en Amazonie. Conséquence de ce fait: les cours d'eau ivoiriens sont toujours clairs ou boueux, mais on ne rencontre pratiquement jamais d'eaux noires comme celles décrites fréquemment de l'Amérique tropicale (BRAUN 1951, SIOLI et KLINGE 1961)^{1,2}.

En ce qui concerne les quantités totales d'azote minéral produites au cours de l'année, on voit que les estimations que nous avons pu faire donnent des chiffres en général supérieurs à ceux trouvés dans des forêts primaires ou secondaires anciennes de zone tempérée. On admet, en général, que la production dans ces dernières est voisine de 100 kg par année et par hectare (ELLENBERG 1964). Plus récemment, des productions supérieures ont été mesurées et actuellement ELLENBERG (1968) pense que celles-ci peuvent atteindre 200 kg par année et par hectare. Nos chiffres, qui sont la moyenne des résultats de 3 (2) parcelles par station, entrent dans ces limites. Mais certaines de nos parcelles ont une production supérieure et il est possible que parfois nos estimations soient un peu faibles. Bien qu'il y ait, comme nous l'avons vu, des variations saisonnières plus ou moins importantes, cette production élevée résulte surtout de la régularité des accumulations au cours de l'année. Les valeurs maximales, après six semaines d'accumulation, n'atteignent dans nos sols que rarement 10 mg pour 100 g de sol sec. La station 3 fait partiellement exception. Cette forte production d'azote minéral est fonction des grandes quantités de litière tombant annuellement sur le sol de ces forêts. BERNHARD (1966-1967) a trouvé respectivement 11,3 t et 9,6 t dans deux parcelles (par hectare) de la forêt du Banco (station 1) qu'elle compare aux 2,8 et 3,0 t mesurées en forêt

¹ Nous avons rencontré des eaux de ce type sur le cordon littoral entre la mer et la lagune Ebrié. C'est précisément de cette région que LENEUF et OCHS (1956) ont décrit des podzols de nappe établis sur sables quarténaires (quartz).

² LAMBERT (1956) a fait, à ce propos, une intéressante comparaison entre les eaux d'un pays limitrophe, la Guinée, et celle de la région amazonienne. Les eaux guinéennes, toujours claires ou boueuses, jamais noires, sont très semblables aux eaux ivoiriennes.

de Fontainebleau (Hêtraie) et aux 2 à 4 t citées par LUTZ et CHANDLER (1949) comme production moyenne de forêt tempérée. Des chiffres plus élevés sont donnés dans d'autres forêts équatoriales et tropicales humides par LAUDELOUT et MEYER (1954) et par NYE (1961). La production de litière dans les forêts de Yapo doit également être un peu plus élevée (station 1). Toujours dans la forêt du Banco, BERNHARD a trouvé des teneurs de 1,5 et de 1,83% d'azote dans la litière fraîche. On peut donc, dans ce cas, évaluer à environ 150 kg par hectare la quantité de N retournant ainsi au sol. Ce chiffre est du même ordre de grandeur que la production d'azote minéral calculée par nous. L'azote minéral du sol de ces forêts provient donc avant tout de la décomposition de la litière, cependant diverses sources d'azote primaire pourraient avoir une certaine importance. Ainsi, les feuilles des arbres tropicaux servent de support à des bactéries fixatrices d'azote atmosphérique (RUINEN, communication personnelle). S'il est probable qu'une partie de cet azote puisse être directement assimilée par les feuilles, une certaine quantité pourrait, par lessivage, gagner directement le sol. Le rôle joué par les bactéries fixatrices d'azote du sol non symbiotique ou symbiotique dans ces forêts est encore mal connu, mais relevons que les légumineuses (souvent de très grands arbres: cf. le Parkia bicolor de la parcelle Fa 2) sont très fréquentes dans ces forêts. Enfin, des quantités relativement importantes d'azote sont probablement apportées par les pluies. La teneur en azote de l'eau de pluie étant proportionnelle à l'activité biologique des sols d'une région (ELLENBERG, communication personnelle).

2. Savanes tropicales et prairies de climat tempéré

Comme nous l'avons vu précédemment, les sols de savanes que nous avons suivis se sont montrés particulièrement peu actifs au point de vue de la minéralisation de l'azote. Les sols de la savane prélagunaire (station 5) paraissent encore plus pauvre que ceux de la savane du V baoulé (station 4). Etant donné les résultats de nos expériences, on est en droit de se demander d'où la végétation graminéenne tire les quantités d'azote nécessaire à une croissance souvent exhubérante. En fait, comme l'a montré HEDIN en 1965, la teneur en azote diminue rapidement avec le vieillissement des tissus des graminées. Ainsi, quand surviennent les feux de brousse, les pertes d'azote par combustion sont probablement infimes, seuls des hydrates de carbone sont perdus, tandis que les sels minéraux sont rendus au sol sous forme de cendres¹. L'azote accomplirait donc une migration au sein de la plante qui vivrait en circuit (relativement) fermé. Les graminées peuvent donc se développer avec de très faibles apports d'azote minéral extérieur. Malgré ce mécanisme, que l'on peut considérer comme une adaptation au milieu, la teneur en azote des graminées de ces

¹ HEDIN estime entre 60 et 40 kg la quantité d'azote utilisée chaque année par hectare de savane, mais ceci ne veut pas dire que cette quantité soit perdue chaque année.

savanes est cependant remarquablement basse par rapport à celle trouvée dans les graminées fourragères des régions tempérées, et ceci même à un stade jeune. Dans son étude sur la valeur fourragère de la savane de Lamto (station 4), HEDIN compare la valeur fourragère de ces herbages à celle d'une paille d'avoine. Le rapport matière azotée totale/cellulose brute est très petit (0,19 pour *Hyparrhenia spec.* et 0,14 pour *Loudetia* après un mois de végétation seulement). La couleur toujours légèrement jaunâtre, même en pleine végétation des graminées, doit résulter d'un déséquilibre entre la croissance végétative rapide, favorisée par le climat, et la pauvreté en azote du sol¹. Il est intéressant de noter que ces mêmes espèces transplantées à Adiopo-Doumé en zone forestière changent complètement d'aspect. Leur port se modifie, leurs tissus devenant plus tendres et leurs feuilles plus larges, tandis que leur couleur passe du vert-jaune au vert glauque. La plante réagit donc positivement à un milieu plus riche, bien que la floraison semble se faire difficilement. Mais, pour des raisons de concurrence avant tout, comme l'a montré l'expérience d'ADJANOHOUN (essai de création d'une savane incluse en zone forestière cf. page 93), les espèces de savane ne peuvent se maintenir dans ce milieu édaphiquement plus riche². Ceci dans les conditions climatiques de la Basse-Côte-d'Ivoire tout au moins, les quelques expériences faites sur le sol de savane située au nord de la ville de Man (r.c. 4, page 95) nous incitant à la prudence. Mais, dans ce dernier cas, il convient de rappeler qu'il s'agissait d'une savane fortement arborée (arbres et arbustes de savane) et qu'à Lamto (parcelle Sg 1, station 4) le secteur le plus boisé montre également quelques velléités de production d'azote minéral.

¹ La savane n'est vraiment verte que pendant une courte période qui suit de peu les feux. C'est le seul moment où l'herbe pourrait nourrir du bétail. Le pourcentage de matière azotée totale peut dépasser légèrement 8 (moyenne de 5 à 6). Mais une exploitation régulière des graminées à ce stade ne peut certainement pas être poursuivie longtemps. On est, du reste, encore loin des pourcentages de matière azotée trouvés dans les graminées fourragères de climat tempéré qui atteignent 18%.

² Nous pensons même que le facteur azote minéral a été décisif dans l'échec (si l'on peut dire) de cette tentative. Les semis de plantes de savanes ont été fait directement après le défrichement et la préparation du sol. Ils ont donc coïncidé avec la phase de minéralisation «explosive» des réserves d'azote du sol. L'azote minéral libéré a favorisé la croissance des très nombreuses rudérales qui, si on ne les avait pas vivement combattues, auraient éliminé d'emblée les plantes savanicoles.

A notre avis, il serait intéressant de reprendre l'expérience après avoir au préalable épousé volontairement le terrain par des cultures répétées, exporté tout le matériel végétal produit, et main teno le sol exposé au soleil. Les graminées de savane mieux adaptées à un milieu aussi appauvri pourraient prendre le dessus et, peut-être grâce à l'établissement de feux saisonniers, se maintenir et former une savane «incluse».

Notons, en passant, qu'il existe une espèce de «savane» à Adiopo-Doumé. Il s'agit des pelouses (à *Chrysopogon aciculatus*) du centre ORSTOM. Elles sont régulièrement fauchées mais rarement (jamais) fertilisées. Du sol provenant de ces pelouses, soumis à l'analyse, s'est révélé complètement inactif.

Le dénuement des sols de savane en azote s'explique, bien entendu, par l'absence de la litière due¹ elle-même aux feux, ce qui ne permet pas la création d'un cycle «ouvert» de l'azote entre la plante et le sol, comme dans une forêt. Mais des chercheurs sud-africains auraient également mis en évidence un antagonisme entre les graminées (deux espèces d'*Hyparrhenia*) et les bactéries nitrifiantes du sol. Les premières secrétant des substances antibiotiques (dans BOUGHEY et coll. 1964). BERLIER (1956), microbiologiste, ayant travaillé longuement en Côte-d'Ivoire, tient pour évidente l'influence dépressive des graminées sur les bactéries du sol. La faible activité des bactéries fixatrices et transformatrices de l'azote en savane peut aussi s'expliquer par les fortes températures auxquelles ces sols sont soumis, ceci surtout après les feux (température atteignant 50° et plus en surface).

Quelles que soient les raisons principales responsables de cette production d'azote minéral si faible, il nous semble que ce facteur est une des caractéristiques majeures de ce type de végétation et est très probablement nécessaire à son maintien. Il vient donc s'ajouter aux facteurs «feu» et «eau disponible» plus généralement reconnus, pour maintenir l'intégrité et la compétitivité de la savane par rapport à la forêt dense. Ces trois facteurs sont, du reste, si intimement liés que l'on ne peut vraiment dire quel est le plus important, même si le feu est le plus apparent.

Cela revient à dire, en pratique, qu'il n'y a, à notre avis, guère moyen de simplement améliorer la savane au point de vue pâturage. La modification artificielle d'un des trois facteurs cités plus haut entraînant sa destruction et son remplacement par un autre type de végétation. C'est, du reste, vers un tel changement que l'on s'achemine de plus en plus, particulièrement dans les savanes prélagunaires qui sont, dès à présent, en grande partie transformées en plantations industrielles que l'on peut qualifier de forestières (Hévéa, palmier à huile)². Dans le V baoulé, la pluviosité plus faible ne permet déjà plus les mêmes cultures (les plantes se développeraient bien, mais les rendements ne seraient pas intéressants). Pour obtenir une pâture plus riche, il faudrait, comme le préconise HEDIN (1967), essayer d'enrichir la savane par le semis de légumineuses comme *Stylosantes gracilis* ou plutôt créer des prairies artificielles de graminées telles que *Panicum maximum*, *Pennisetum purpureum*³, etc. Un essai

¹ ADJANOHOUN (1964) dit à ce propos: «(Mais) le passage des feux a pour résultat d'empêcher l'incorporation au sol d'une grande quantité de matière organique indispensable à la création d'un complexe absorbant et, par conséquent, à la fixation de matières fertilisantes; son effet est d'autant plus marqué que la couverture est plus herbeuse.»

² Ces sols, initialement recouverts par les savanes prélagunaires, se sont révélés plus favorables à ces cultures arborées que les mêmes sols anciennement recouverts par la forêt. La pauvreté chimique des sols de savane étant plus que compensée par l'absence de maladies fongique d'origine forestière. Les déficiences chimiques sont facilement compensées par l'apport d'engrais chimiques et la plantation de plantes de couverture fixatrice d'azote.

³ Ces deux espèces sont typiques des friches forestières et demandent certainement un sol plus actif du point de vue de la minéralisation de l'azote.

plus révolutionnaire serait d'essayer d'introduire des arbustes dont le feuillage est apprécié par le bétail¹. De toute façon, il faudrait transformer les sols de la savane en sols biologiquement plus actifs, ce qui ne nous paraît pas impossible à réaliser.

Comme dans le cas des forêts, on peut faire d'intéressantes comparaisons avec certaines communautés végétales de la zone tempérée. Il est intéressant de noter la similitude qui existe entre le bilan d'azote des sols de savane et ceux d'une association peu productive et paraclimacique comme le *Molinietum*. Les résultats obtenus par LEON (1968) dans les *Molinietum* des environs de Zurich sont très semblables. Mais alors que les prairies à *Molinia* n'occupent que des surfaces réduites, relicttes de pratiques agricoles désuètes, les savanes préforestières ont une vaste étendue. Les facteurs influençant les *Molinietum* sont très voisins de ceux subis par la savane, et nous savons que la modification de l'un de ceux-ci entraîne la disparition de l'association². La comparaison serait, du reste, probablement plus valable avec certaines prairies à *Bromus erectus* pour des raisons édaphiques, particulièrement dans le cas de savanes dominées par les *Hyparrhenia*. Certains *Molinietum* rappelant plus particulièrement les zones à *Loudetia simplex* de la savane de Lamto (station 4). De même qu'il paraît inconcevable de transformer *Molinia coerulea* ou *Bromus erectus* en bonnes espèces fourragères, il nous paraît difficile d'élever à ce rang les *Hyparrhenia* et *Loudetia simplex*.

3. Terrains de culture et végétation secondaire

Nous avons été relativement surpris de constater que la production d'azote minéral est assez considérable dans toutes les parcelles examinées. Même le sol de terrains cultivés depuis quelques années déjà semble encore capable d'accumuler des quantités d'azote minéral assez importantes. Les résultats de ces expériences ne permettent donc pas de conclure à une véritable destruction du potentiel de minéralisation de l'azote du sol. Certes, la parcelle Fs6, la plus longtemps sous culture continue, montre des accumulations relativement faibles, mais cela tient probablement autant à la nature de la parcelle qu'au traitement qu'elle a subi. Par contre, la parcelle Fs5, qui a été défrichée pendant la saison sèche de 1964, a vu ses accumulations d'azote minéral rester élevées, même après deux ans de cultures. En fait, ce sol était plus productif d'azote minéral que celui de la parcelle Fs1, située dans une forêt secondaire vieille

¹ Cela ne semble guère être le cas des arbustes de la savane actuelle dont plusieurs seraient même toxiques. Mais HEDIN signale, à ce propos, le cas de la *Caatinga* brésilienne qui fournit un fourrage apprécié à base de feuilles d'arbustes.

² Le fauchage tardif du *Molinietum* joue le même rôle que le feu dans la savane. Il ne retire du milieu que des hydrates de carbone. Le facteur hydrique est ici renversé, c'est un dessèchement qui, en général, entraîne la disparition de *Molinia*, tandis que l'apport d'engrais a pratiquement toujours pour effet de détruire l'association.

d'environ trente ans. Il aurait été intéressant de pouvoir suivre la variation de la production de l'azote minéral du sol d'une parcelle de forêt primaire ou quasi primaire du type Banco avant et après sa mise en culture. Malheureusement, cela n'a pas été possible. Mais on voit, en comparant des résultats des parcelles cultures-formations secondaires avec ceux des parcelles de la forêt du Banco (station 1), ce qui doit se produire: Après la première ou les premières années, suivant le défrichement initial de la forêt, la production en azote minéral du sol doit baisser¹ rapidement, pour atteindre ensuite un nouvel état d'équilibre. Nos résultats semblent indiquer que ce nouvel état d'équilibre ne risque pas d'être détruit par le système traditionnel des cultures. Par contre, pour qu'un terrain ainsi défriché et cultivé retrouve sa productivité en azote minéral initiale, il faut certainement un très long laps de temps, soit le temps nécessaire à l'établissement d'une nouvelle forêt climacique. Ces conclusions rejoignent celles de JENNY qui pense également que l'état d'équilibre souvent moins défavorable que l'on aurait pu craindre s'établit dans le bilan d'azote d'un sol tropical cultivé. Des faits du même genre ont été constatés au Brésil (DOBEREINER 1967, COSTA VERDADE 1967). L'obligation de mettre un terrain en jachère après quelques années n'est probablement pas uniquement due à un manque d'azote.

La diminution de la teneur en matière organique, accompagnée d'une moins bonne texture de l'horizon superficiel, peut aussi expliquer l'abandon du terrain ainsi que la raréfaction d'autres éléments et oligo-éléments. Dans le cas des sols sur sables tertiaires, le manque de phosphore ne se ferait que rarement sentir; par contre, l'apport extérieur de potassium a permis dans certains cas de multiplier par sept la production de plantations de palmiers à huile. On voit donc que de nombreuses carences peuvent se produire. Ce mode de culture peut aussi s'expliquer par l'envahissement de quelques espèces de mauvaises herbes, contre lesquelles le cultivateur ne peut pas lutter, mais qui sont éliminées naturellement dans les jachères par la concurrence. On pourrait encore trouver des causes d'ordre phytopathologique, le manioc, par exemple, étant très souvent attaqué par des virus, et on connaît maintenant l'importance énorme des nématodes, parasites dont la densité doit probablement augmenter avec l'âge d'une culture.

Enfin, le défrichement de nouveaux terrains se justifie par le désir de profiter de l'enrichissement subit du sol en azote minéral et en autres éléments qui suit immédiatement le premier travail du sol et le brûlage de la végétation. Car, s'il n'y a pas, semble-t-il, d'augmentation dans la production d'azote minéral au cours d'une jachère normale, il y a, bien entendu, une augmentation du stock d'azote total du sol. Les plantes les plus exigeantes, par exemple l'Igname, ne se plantent guère que dans la saison qui suit le défrichement. Mais l'effet initial (minéralisation explosive), d'après nos expériences, est très fugace, les planta-

¹ Après avoir passé par un maximum correspondant à la minéralisation «explosive» des réserves d'azote du sol qui a lieu directement après un défrichement.

tions ultérieures d'espèces moins difficiles s'expliquent avant tout par le désir de profiter encore du travail de défrichage accompli¹.

Le maintien de la capacité de production d'azote minéral des terrains de culture est probablement dû à l'activité nitrofixatrice de micro-organismes non symbiotiques ou symbiotiques. DOBEREINER (1967) a, en effet, récemment montré que seule l'activité des micro-organismes non symbiotiques permet de comprendre les bilans d'azote de certains sols sous les tropiques (Brésil méridional). D'après cet auteur et COSTA VERDADE (1967), la production d'azote fixé par ces micro-organismes pourrait avoir une grande importance en zone tropicale, à la différence de ce qui a été constaté en zone tempérée.

Plusieurs de ces micro-organismes, qui ne se retrouvent pas en zone tempérée, peuvent fixer l'azote en milieu acide.

Il ressort de l'étude de BERLIER (1958) sur la nodulation chez les légumineuses de Basse-Côte-d'Ivoire que la fréquence des nodosités sur les racines varie suivant le milieu. L'auteur a particulièrement étudié le cas de *Baphia nitida*, petit arbre se trouvant aussi bien dans les jachères qu'en forêt climacique. Les individus se développant dans les jachères ont de nombreuses nodosités, tandis que ceux qui croissent en forêt en sont pratiquement dépourvus.

Ainsi donc, on peut faire l'hypothèse suivante qui demanderait à être vérifiée plus rigoureusement: La production d'azote minéral dans un terrain ayant été cultivé et retournant progressivement à la forêt est d'abord le fait de micro-organismes autotrophes ou symbiotiques, puis, avec l'augmentation de la litière, le rôle des organismes hétérotrophes s'accentue aux dépens des premiers. Pendant une période sans doute très longue, la production d'azote minéral n'augmente pas ou presque pas, ceci jusqu'à ce que la forêt climacique, avec son microclimat si particulier et sa forte production de litière, se soit reformée. Il est même possible qu'au cours de cette évolution la production d'azote minéral passe par un minimum qui correspondrait à un stade de forêt secondaire. JACQUEMIN et BERLIER (1956) ont, en effet, trouvé l'activité microbiologique maximale dans des sols de jachères, tandis qu'elle était relativement faible sous forêt. Ceci paraît ne pas cadrer tout à fait avec nos résultats, puisque les forêts climatiques sont incontestablement les plus productives d'azote minéral, mais les résultats obtenus par les méthodes microbiologiques ne peuvent, sans autre, être comparés à ceux relevés par notre méthode. D'autre part, la forêt dont le sol a été étudié par ces auteurs n'était pas climacique, il s'agissait d'une forêt secondaire ancienne. Enfin, dans les forêts climatiques, plusieurs indices montreraient que les champignons jouent un rôle aussi important que peu connu.

Le maintien d'une production d'azote minéral appréciable dans les terrains cultivés ne dépend pas moins de la manière peu intensive dont le sol est exploité.

¹ Chez les Guérés du Sud-Ouest ivoirien, en pleine zone forestière, l'assoulement traditionnel est le suivant: 1 an de riz et cultures associées, 5 ans de jachères. Chez les Bétés, les jachères subsistent plus longtemps, soit 1 an de cultures, 8 ans de jachères (GUILLAUMET 1967). Dans ces deux cas, il est intéressant de constater que la période de cultures est normalement limitée à 1 seule année.

BERLIER a constaté que dans un sol débroussé et conservé tout à fait nu, le nombre et l'activité des micro-organismes diminue fortement, mais, comme nous l'avons vu, ce cas extrême ne se présente pour ainsi dire pas dans la réalité.

4. L'importance du facteur azote dans la répartition forêt-savane

Nous avons vu que la répartition actuelle de la forêt dense et de la savane en Côte-d'Ivoire soulève un certain nombre de questions. Il nous est rapidement apparu que les différences considérables dans les bilans d'azote de ces deux formations, ainsi que les résultats obtenus dans les terrains de cultures, apportent quelques éléments nouveaux. Nos expériences ont, en effet, permis de dégager les trois points suivants :

- 1^o Les sols de forêt dense humide primaire ou peu dérangée ont une production d'azote minéral importante.
- 2^o Les sols de savane, à l'inverse, ont une très faible production d'azote minéral.
- 3^o La diminution de la production d'azote minéral dans les sols cultivés d'origine forestière n'est pas importante au point de provoquer l'implantation d'une savane. Les ressources azotées sont encore très supérieures à celles trouvées en savane et expliquent la repousse rapide d'une végétation forestière non combustible.

Ces trois points semblent bien confirmer que l'influence seule de l'homme est incapable de provoquer la transformation en savane d'un territoire forestier dans les conditions de climat actuelles, ce qui est même évident dans le cas des savanes prélagunaires. Sur la ligne de démarcation nord de la forêt/savane, on pourrait penser que les défrichements, en permettant la pénétration des plantes de savane (espèces de lumière), pourraient amener le recul de la végétation forestière. Or, la plupart des observations récentes montrent exactement le contraire, la végétation forestière est partout en progression et les défrichements, loin de l'entraver, l'accélèrent quand ils se font aux dépens de la savane, mais à proximité de la forêt¹. Ce cas est du reste rare, car lorsqu'il en a le choix, le

¹ N'ayant pas rencontré, dans les régions étudiées, de cultures établies aux dépens de la savane, nous n'avons pas pu y suivre la variation des quantités d'azote minéralisé dans le temps. Mais nous serions tenté de faire les hypothèses suivantes dans le cas d'un défrichement en savane :

1^o Activée par le travail du sol, débarrassée d'une éventuelle influence inhibitrice de la part des graminées, la microflore se met au travail, minéralisant d'une part le petit stock d'azote et de carbone du sol et fixant de l'azote atmosphérique. Si la culture n'est pas trop longue, le sol garde une teneur en azote minéral assez élevée qui permet l'installation de rudérales. Celles-ci contribuent à leur tour à l'enrichissement du sol. Ce sont, en effet, souvent des légumineuses, et leur présence de toute façon stimule les bactéries fixatrices d'azote. Dans le cas favorable où le groupement n'est pas complètement annihilé par les feux, celui-ci évolue vers une brousse forestière de moins en moins combustible ou va vers la forêt.

2^o Si, au contraire, les cultures se prolongent, le petit stock d'azote et de carbone du sol est détruit, donc plus d'ammonification et de nitrification, et les micro-organismes fixateurs d'azote, privés de leur substrat organique, régressent. Seule la savane considérablement

cultivateur établit toujours ses plantations à l'emplacement de communautés forestières, pour des raisons que nos résultats rendent faciles à comprendre. ADJANOHOUN (1965) a cependant observé plusieurs fois l'implantation d'une végétation forestière grâce au défrichement de la savane¹. Ce fait est à mettre en parallèle avec les constatations de BERLIER (1956), qui a démontré expérimentalement qu'un sol de savane débarrassé de sa végétation voit le nombre et l'activité de ses micro-organismes, surtout les bactéries nitrifiantes, augmenter dans une forte proportion. Nous retrouvons ici l'influence inhibitrice que les graminées de savane paraissent avoir sur les bactéries du sol. BERLIER a, du reste, relevé la grande différence d'ordre microbiologique existant entre sol de savane et sol de forêt de même origine (sables tertiaires). Le sol de savane est beaucoup plus pauvre en micro-organismes².

En conclusion, on voit que nos résultats, appuyés par les données de nombreux autres chercheurs, corroborent la théorie la plus admise aujourd'hui concernant la répartition forêt/savane, à savoir que le tracé de cette ligne de

appauvrie peut se réinstaller. Cette hypothèse, si mal étayée soit-elle, permet de tenir compte de deux faits apparemment un peu contradictoires : les défrichements en savane favorisent souvent la conquête de la forêt, mais, surtout dans les régions relativement peuplées (cf. la région de Bouaké), ils contribuent non moins souvent à créer une savane de plus en plus pauvre en espèces ligneuses. Enfin, pour qu'un terrain puisse se reboiser il faut, bien entendu, qu'il y ait à proximité des arbres porte-graines.

¹ BERGER (1964), comparant des sols de forêt à des sols de savane du centre de la Côte-d'Ivoire, constate les faits suivants :

a) Le taux de matière organique est sensiblement égal dans les deux cas, mais sous savane la matière organique est répandue sur une plus grande épaisseur et donne une couleur foncée au sol. L'activité biologique des sols de forêt est plus grande, la chute de litière étant beaucoup plus forte.

b) Les cultures établies aux dépens d'une forêt sont plus belles que celles remplaçant une savane où les plantes cultivées font souvent preuve, selon les termes de l'auteur, d'une véritable «faim d'azote». Le défrichement d'une forêt provoque une minéralisation «explosive» de l'azote, au contraire.

c) Après quelques années, la situation s'inverse, la matière organique de savane étant plus stable.

Ceci explique, à notre avis, pourquoi les cycles de cultures sont en général un peu plus longs en savane (2 à 3 ans de culture plus longue jachère) qu'en forêt (p. 110, remarque 1) où il n'y a guère que la première culture qui compte. En forêt, c'est surtout le coup de fouet de la minéralisation intense qui suit immédiatement le défrichement qui est mis à profit. Il est bien possible que dans le cas du sol de savane cultivé, la minéralisation explosive du début soit très faible ou inexistante et que la minéralisation de stock d'azote du sol, ainsi que la fixation d'azote atmosphérique ne soit que progressive. Cependant, si le support organique, à la suite de cultures trop prolongées ou trop souvent répétées, disparaît, la production finit aussi par baisser.

² BERLIER (1956) a constaté que le pouvoir ammonifiant des sols de savane était supérieur à leur pouvoir nitrifiant qui est pratiquement nul. Cependant, l'ammonification en valeur absolue est plus forte sous forêt où l'azote ammoniacal est utilisé rapidement par la microflore, tandis qu'en savane on note un dégagement de NH₃. Ceci cadre bien avec nos résultats à ceci près que les accumulations de NH₃ en savane sont, d'après nos mesures, toujours faibles, mais en effet plus constantes que celles de NO₃.

démarcation ne peut trouver son explication uniquement par une influence anthropique dans le contexte du climat actuel. Seule une ancienne période plus sèche permet de comprendre les particularités de cette limite et plus spécialement les savanes prélagunaires. Par contre, l'action de l'homme et, surtout, son facteur le plus important – le feu – retardent énormément la reconquête de la forêt. Mais il apparaît, à travers les résultats de nos expériences, que le facteur induit, constitué par les bilans d'azote si différents de ces deux formations, joue un rôle très important dans le maintien de leur position comme aussi de leur intégrité.

B. Conclusion

Ce travail n'a certes pas la prétention de résoudre complètement les problèmes posés par la minéralisation de l'azote dans les sols de l'Afrique tropicale humide. Bien des points seraient à revoir et à approfondir, et la question mériterait d'être étudiée à une échelle beaucoup plus grande. Ceci d'autant plus que les perfectionnements incessants des techniques ainsi que les laboratoires de mieux en mieux équipés que l'on trouve dans ces régions nous en donnent les moyens. Nous espérons seulement avoir partiellement démontré l'intérêt qu'une pareille étude peut avoir en zone tropicale. Nous croyons que les grandes différences constatées entre la forêt et la savane, ainsi que les enseignements encore trop limités que nous ont livrés les terrains cultivés et les formations secondaires, justifient suffisamment cette opinion.

Dans ce travail, nous avons dû généralement renoncer à étudier la minéralisation de l'azote dans tout ce que l'on peut appeler des cas particuliers. Pourtant, les marécages tourbeux, les podzols de nappe, le bush littoral, les forêts montagnardes, etc. fourniraient certainement des renseignements très intéressants et de portée générale sur les rapports climat-sol-végétation sous les tropiques. Nous avons dû également limiter nos investigations dans les savanes à deux points principaux, très voisins de la forêt dense. Mais ne serait-il pas très intéressant de savoir comment les choses se présentent plus au nord et notamment dans les forêts claires subsoudaniennes ? Ainsi profiterait-on pleinement, dans l'étude d'un phénomène, de la variation régulière des zones climatiques dont l'Afrique occidentale offre un exemple probablement inégalé.

Des études fondamentales plus poussées sur la minéralisation de l'azote apporteraient certainement, en plus de leur intérêt scientifique considérable, de nouvelles possibilités dans le domaine de la recherche appliquée. Ainsi pourra-t-on peut-être résoudre des problèmes tel que celui posé par la grande pauvreté de vastes zones de savane guinéenne. Les techniques d'apport d'engrais azotés, toujours coûteuses et si délicates sous les tropiques, où de nombreux échecs ont déjà été enregistrés, ne peuvent également qu'en bénéficier. On voit donc mieux tout l'intérêt qu'il y a à persévérer dans cette voie dans un pays qui, comme la Côte-d'Ivoire, va au-devant d'une véritable révolution agronomique, l'augmentation constante de la population exigeant tôt ou tard l'abandon des

cultures nomades pour une agriculture plus intensive. Or, les méthodes propres aux climats tempérés, encore souvent empiriques et fruits de siècles d'expériences, ne peuvent pas généralement être appliquées telles quelles dans un milieu si différent. Il faut les adapter et même partir de bases nouvelles qui ne peuvent être que scientifiques. Ceci nécessite, à notre avis, une meilleure connaissance des phénomènes naturels résultant d'un équilibre ancien et actuellement menacé, mais qui comporte souvent des aspects positifs indéniables. Leur étude, nous en sommes sûr, se révélera profitable et évitera le gaspillage de précieuses ressources.