

**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:** II: Méthodes  
**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:** 23.01.2026

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

## II. Méthodes

### 1. Généralités

Le but principal de ce travail était d'obtenir des renseignements sur la production d'azote minéral assimilable dans différents aspects de la végétation tropicale humide. Les autres mesures que nous avons été appelé à faire, telle la détermination de la teneur en eau, le pH, etc., ainsi que l'étude floristique des parcelles, n'ont qu'un caractère accessoire.

En général, nous avons cherché à opérer de manière aussi conforme que possible aux méthodes employées à l'Institut de Géobotanique de l'EPF par ELLENBERG et ses élèves<sup>1</sup>.

Comme nous le verrons plus en détail, la technique principale employée ici se distingue, ou plutôt est un développement de celle employée plus anciennement par le fait que l'on tient compte, avant tout, des résultats obtenus sur le terrain. En effet, dès 1917 HESSELMAN avait mis au point une méthode permettant de juger des capacités ammonifiantes et nitrifiantes d'un sol, ce qui lui avait permis de se rendre compte de l'influence de ce facteur sur la végétation. Par la suite, des techniques analogues ont été mises au point par plusieurs chercheurs, parmi lesquels nous retiendrons particulièrement ZÖTTL (1958). Elles consistent essentiellement à mesurer avant et après une période d'incubation (en général 3 ou 6 semaines) les teneurs d'azote ammoniacal ou nitrique se trouvant dans un échantillon de sol. Les échantillons sont gardés à une température et à une humidité constantes (le plus souvent 25 ou 20 °C, 50% de la capacité de rétention en eau du sol) très favorables à la minéralisation de l'azote. Ces conditions ont l'avantage expérimental d'être reproductibles mais sont, pour l'écologue en général, par trop différentes de celles régnant sur le terrain. Cette technique de laboratoire, à quelques modifications près, est toujours employée en parallèle avec la nouvelle méthode de terrain qu'elle complète.

### 2. Choix des stations et des parcelles

Les six stations ont été choisies dans les types de végétation que l'on peut considérer comme les plus caractéristiques et les plus généraux de la Basse- et Moyenne-Côte-d'Ivoire.

A l'intérieur de ces stations, un certain nombre de parcelles (de 3 à 8) ont été délimitées suivant des critères essentiellement topographiques et physio-

<sup>1</sup> Depuis 1965 le Professeur ELLENBERG est titulaire de la chaire de Botanique systématique et de Géobotanique à l'Université de Göttingen (Allemagne).

nomiques. Ces parcelles mesuraient environ 100 m<sup>2</sup> (10 × 10 m)<sup>1</sup>. Ces stations et parcelles sont décrites dans le chapitre suivant.

### 3. Prélèvements et analyses des échantillons de sol

#### a) Prélèvements et préparations des échantillons

Les échantillons destinés aux déterminations périodiques de la teneur et de la productivité du sol en azote minéral assimilable (azote nitrique et ammoniacal) ainsi qu'à la mesure du pH ont été récoltés et préparés de la manière suivante: une dizaine de prises sont prélevées entre 0 et 5 cm de profondeur dans la zone marginale des parcelles, en prenant soin de bouleverser le moins possible le sol et la végétation. La litière éventuelle a été préalablement balayée avec la main. Le sol ainsi obtenu est tamisé (tamis à mailles de 4 mm), soigneusement mélangé et débarrassé des dernières traces visibles de racines, rhizomes, etc.

Une partie de ce sol est alors mise dans un sac de plastique (environ 1 litre) pour être ramenée au laboratoire, le reste servant à remplir 2 godets (1 de sécurité) de plastique munis de couvercles<sup>2</sup>. Ces godets sont alors enterrés sur place pour 6 semaines et recouverts de 1 à 2 cm de sol ou par la litière s'il y en a<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Il était primitivement prévu de donner des relevés phytosociologiques complets de chaque parcelle. Nous y avons renoncé pour les raisons suivantes: La végétation des régions étudiées a en général fait l'objet d'études phytosociologiques détaillées, principalement par MANGENOT (1955) pour les forêts et par ADJANOHOUN (1962, 1964) pour les savanes guinéennes et prélagunaires. Les différentes associations décrites par ces auteurs couvrent en général des surfaces très importantes et sont suffisamment typiques pour que la position phytosociologique de la végétation des stations et parcelles ne puisse être mise à caution. Dans ces conditions, l'étude précise de la végétation de quelques parcelles n'aurait rien apporté de neuf. De plus, une étude phytosociologique, particulièrement en forêt dense, présume une connaissance approfondie de la flore que nous sommes encore loin de posséder et qu'à plus forte raison nous ne possédions pas à notre arrivée dans le pays. Pour ces raisons, l'accent a surtout été mis sur la physionomie de la végétation des stations et des parcelles, ce qui, dans le problème qui nous occupe, a probablement autant de valeur que des listes exhaustives d'espèces ou même que des relevés phytosociologiques. D'autre part, nous avons autant que possible soumis le choix des parcelles à l'avis de botanistes ayant une connaissance approfondie de la végétation locale. En ce qui concerne la taxonomie, nous nous référions à la *Flora of West Africa* de HUTCHINSON et DALZIEL et ses rééditions partielles, revues par KEAY et par HEPPE, ainsi qu'aux travaux d'AUBREVILLE (*Flore forestière de la Côte-d'Ivoire*).

<sup>2</sup> Grâce à l'utilisation de ces godets, on peut de faire incuber le sol dans les conditions de terrain mais en le soustrayant à l'action des racines, ce qui permet, après analyses, de calculer les quantités d'azote minéral assimilables par les plantes supérieures, produites dans le sol. Les godets sont munis d'un couvercle non hermétique et leur fond est perforé. Leur contenance est d'environ 200 cm<sup>3</sup>. Le sol, à l'intérieur de ces godets, garde une teneur en eau presque constante pendant les six semaines d'incubation, sauf en cas d'inondation.

<sup>3</sup> Les conditions se présentaient, en effet, assez différemment suivant la nature de la végétation et du sol des parcelles. En l'absence de litière, les couvercles transparents étaient recouverts d'un peu de terre pour éviter un «effet de serre» particulièrement à craindre en milieu découvert (savanes, cultures). Les prélèvements soulevaient aussi quelques problèmes

De retour au laboratoire, une partie du sol ramené sert à la mesure du pH et à la détermination de la teneur en eau (séchage à l'étuve à 105 °C jusqu'à poids constant). Cette dernière opération servant à calculer la quantité de sol frais à analyser équivalente à 5 g de sol sec. Le reste du sol est versé dans un bocal (½ litre) et stocké en chambre humide<sup>1</sup>.

Toutes les 6 semaines, les opérations qui viennent d'être décrites sont répétées et bien entendu les échantillons ayant incubé pendant 6 semaines sur le terrain et en chambre humide sont amenés au laboratoire pour analyses.

### *b) Analyse des échantillons*

Chaque sol a été l'objet d'une investigation périodique toutes les 6 semaines. L'échantillon correspondant à chaque prise d'essai est donc soumis à trois analyses: l'une effectuée immédiatement après la récolte, les deux autres 6 semaines plus tard après incubation dans les conditions de terrain et de chambre humide. Ceci nous renseigne sur les quantités d'azote minéral mises à la disposition des plantes dans le sol considéré<sup>2</sup>. Les quantités d'azote minéral accumulées pendant 6 semaines étant calculées en soustrayant des valeurs trouvées après incubation les valeurs initiales du sol frais. Les valeurs de l'accumulation en chambre humide doivent, dans notre cas, être considérées comme un contrôle des accumulations sur le terrain<sup>3</sup>.

suivant les endroits. Ainsi en forêt, il était parfois difficile de faire une distinction nette entre la litière et l'horizon A°; on a alors recouru à un léger balayage de la main qui écartait la litière non encore retenue par les radicelles. En savane, la difficulté provenait du recouvrement discontinu du sol par les graminées dominantes (voir description station 4). Nous avons, dans ce cas, systématiquement mélangé du sol provenant des plages nues et du sol se trouvant sous les touffes d'herbe en quantité approximativement égale.

<sup>1</sup> Notre «chambre humide» n'était évidemment pas très conforme à celle existant dans les instituts de recherches en zone tempérée. Elle consistait en une grande malle de bois (150 × 70 × 60 cm) doublée intérieurement de zinc et fermant presque hermétiquement. L'air de la malle était renouvelé quotidiennement et l'humidité de l'air, entretenue par un tissu imbiber d'eau, restait constamment voisine de la saturation. Cette malle était placée dans une petite pièce attenante au sous-sol du laboratoire du Centre suisse dont la température était très constante (24 à 25°). Cette pièce, située sous le laboratoire climatisé, était un peu plus fraîche en moyenne que la température extérieure, ce qui peut expliquer les accumulations d'azote minéral légèrement inférieures constatées dans les échantillons de chambre humide par rapport à ceux de terrain.

<sup>2</sup> Sans parler des causes physiques pouvant entraîner des pertes, lessivage par les eaux pluviales, etc., la totalité de l'azote minéralisé n'est, en effet, pas disponible pour les plantes supérieures. Celles-ci se trouvent concurrencées par des micro-organismes qui absorbent cet azote en l'incorporant à leur substance ou qui même, sous certaines conditions, le soustraient au milieu par dénitrification. ZÖTTL (1960) distingue donc une minéralisation brute (Brutto-minéralisation) et une minéralisation nette (Nettominéralisation). Seule cette dernière, utilisable par les plantes supérieures, est mesurée par notre méthode.

<sup>3</sup> Ceci est évidemment très différent avec ce que l'on observe en climat tempéré, où les accumulations en chambre humide sont en moyenne très supérieures à celles mesurées sur le terrain. En climat tempéré, on considère que les accumulations en chambre humide (humidité relative voisine de 100%, température de 20 ou 25°C) représentent la capacité potentielle de

### *c) Dosage du NH<sub>3</sub> et NO<sub>3</sub>*

Les analyses du NH<sub>3</sub> et NO<sub>3</sub> ont été effectuées suivant les méthodes adoptées par l’Institut de Géobotanique de l’EPF qui correspondent à celles développées par ZÖTTL (1958).

L’extraction a été faite en agitant une quantité de sol frais équivalente à 5 g de sol sec dans une solution aqueuse de KAl(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> pendant une heure. La détermination du NH<sub>3</sub> s’est faite suivant la méthode de CONWAY en utilisant de petites boîtes de microdiffusion (CONWAY 1947) et le réactif de NESSLER.

La détermination du NO<sub>3</sub> a été exécutée suivant le procédé du 2,4-xylénol (BARNES 1950, SCHAUER et SEIBL 1956) en employant l’appareil de distillation à la vapeur de PARNASS/WAGNER.

Les mesures photométriques ont été effectuées grâce à un spectrophotomètre (BECKMAN, modèle B).

### *d) Calcul de la production d’azote minéral pour une année et par hectare*

Pour pouvoir, à partir des accumulations d’azote minéral mesurées sur le terrain, faire une estimation de la production par unité de surface, il nous a fallu tout d’abord établir le rapport entre le volume et le poids (densité apparente) des sols considérés. Ceci a été fait grâce à l’emploi de cylindres métalliques (cylindres de BURGER), mais nous nous sommes heurtés à certaines difficultés. En effet, les valeurs obtenues variaient souvent considérablement sur une même parcelle, à des emplacements séparés parfois de quelques décimètres seulement<sup>1</sup>. Le volume trop important (1 litre) des cylindres employés n’a pas permis de répéter ces mesures un très grand nombre de fois. Aussi, nous avons tenu compte également des données provenant de différents auteurs ayant étudié des sols semblables à ceux de nos parcelles. Il subsiste néanmoins un facteur d’incertitude qui explique que nous ayons en général préféré exprimer les teneurs et les accumulations d’azote minéral en mg de N pour 100 g de sol sec. Dans ces conditions, les productions exprimées en kg/an/ha (ou g/an/10 m<sup>2</sup>) doivent être considérées comme des chiffres donnant surtout un ordre de grandeur.

### *e) Autres mesures*

*Teneur en eau du sol:* La teneur en eau du sol superficiel a été déterminée toutes les 6 semaines. Cet intervalle est trop important pour représenter fidèlement les variations d’humidité du sol. Cependant, ces valeurs sont acceptables si l’on prend garde de ne pas prélever de sol pendant ou après une pluie importante. Cette précaution a été prise à partir de 1965.

production d’azote minéral d’un sol, par rapport à la capacité réelle mesurée sur le terrain. Sous climat tropical humide, ces deux notions se confondent si l’on ne fait pas d’apport d’eau comme nous avons été parfois appelé à le faire (recherches complémentaires).

<sup>1</sup> Ceci doit probablement être attribué à la densité variable des galeries souterraines dues à la faune du sol.

Cette détermination a été faite en chauffant un échantillon de sol (20 cm<sup>3</sup> environ) à 105° en étuve jusqu'à poids constant. Les résultats sont exprimés en pour-cent du poids sec.

*pH*: Il a été déterminé en suspension aqueuse avec une monoélectrode de verre. 30 à 40 cm<sup>3</sup> de sol frais sont mélangés avec autant d'eau distillée nécessaire à l'obtention d'une pâte semi-fluide en remuant avec un agitateur mécanique. La pâte ainsi obtenue est laissée reposée pendant 5 heures<sup>1</sup> puis de nouveau agitée immédiatement avant la mesure. L'appareil utilisé était un pH-mètre BEKMAN, modèle N, à batterie.

#### 4. Discussion des méthodes

Depuis l'accomplissement des expériences (fin 1966) dont les résultats paraissent dans ce travail, les méthodes employées pour évaluer la production d'azote minéral d'un sol ont fait d'importants progrès. Parmi les chercheurs responsables de cette évolution, il convient de citer en premier lieu RUNGE de l'Institut de Géobotanique de l'Université de Göttingen.

Tous les prélèvements devraient se faire dorénavant sur une base volumétrique par l'emploi généralisée de cylindres métalliques de capacité relativement réduite (100 cm<sup>3</sup>). Les recherches sur le bilan d'azote en profondeur devraient être systématiques et poursuivies pendant un temps suffisant. Ceci nous semble particulièrement important pour obtenir une bonne appréciation des quantités d'azote réellement minéralisées par unité de surface. La production d'azote minéral a, en général, été calculée jusqu'à présent à partir des valeurs trouvées entre 0 et 5 cm de profondeur. Or, elle peut être encore relativement élevée jusqu'à un niveau sensiblement plus profond (voir à ce propos le travail d'ANTONIETTI 1968 sur les forêts du canton du Tessin)<sup>2</sup>.

En ce qui concerne l'exactitude des méthodes employées, ANTONIETTI (1968) a également donné d'intéressantes précisions dont il ressort principalement que les valeurs sont excellentes, surtout lorsque les quantités de N sont supérieures à 0,4 mg pour 100 g de sol sec. En général, on considère que 0,2 mg constituent la quantité la plus petite pouvant être mesurée avec exactitude (GIGON, cité par ELLENBERG 1968). La mesure du NH<sub>3</sub> a été jusqu'à récemment toujours considérée comme plus délicate que celle du NO<sub>3</sub>, car même en procédant très soigneusement, des impuretés faussent très souvent les résultats lors de l'emploi du réactif de NESSLER. Le remplacement de ce réactif par les produits azur-test<sup>3</sup> a depuis peu considérablement amélioré cette détermination.

<sup>1</sup> Simple mesure de précaution, les valeurs variant en fait très peu.

<sup>2</sup> Ainsi, dans le cas extrême d'un sol ayant une production d'azote minéral sensiblement égale entre 0 et 10 cm, la production calculée par unité de surface peut varier du simple au double suivant la hauteur du cylindre de sol prise en considération (5 ou 10 cm de haut, 20 ou 10 cm<sup>2</sup> de surface pour le même volume de 100 cm<sup>3</sup>).

<sup>3</sup> Ce produit (azur-test, Galenopharm, Genève) a été employé pour la détermination du NH<sub>3</sub> du sol la première fois par YERLY. Il est couramment utilisé maintenant par RUNGE au

Parmi les améliorations récentes de la méthode, et qu'il serait souhaitable d'appliquer à l'avenir, citons la découverte de RUNGE (communication personnelle) qui a montré que l'on pouvait avantageusement remplacer les godets d'incubation sur le terrain par des sacs en polyéthylène complètement fermés. Il a été prouvé expérimentalement que les échanges gazeux n'étaient pas entravés par le plastique et que le métabolisme du sol n'était pas plus dérangé que dans les anciens godets, tandis que la teneur en eau restait très constante<sup>2</sup>.

En résumé, cette méthode de détermination des quantités d'azote produites par le sol dans les conditions de terrain a déjà permis d'intéressantes comparaisons entre bilans d'azote de diverses communautés végétales sous des climats variés et elle a encore récemment fait l'objet de perfectionnements importants.

Laboratoire de Recherches écologiques de l'Institut de Botanique de Göttingen (RUNGE, communication personnelle).

<sup>2</sup> Il nous est arrivé plusieurs fois que les échantillons mis à incuber sur le terrain aient dû être abandonnés à la suite de la pénétration de racines dans les godets. Ceci particulièrement dans les savanes et les terrains de cultures. Grâce aux mesures de sécurité (doublage systématique des échantillons), les mesures ont quand même pu être effectuées, mais on se rend compte de l'amélioration qui aurait résulté de l'emploi de sacs en plastique.