

VARIATIONS SAISONNIÈRES DES CARACTÉRISTIQUES MICROBIOLOGIQUES D'UN SOL FERRUGINEUX TROPICAL PEU LESSIVÉ (DIOR), SOUMIS OU NON A L'INFLUENCE D'*ACACIA ALBIDA* (DEL).

Gérard JUNG

Laboratoire de Microbiologie des Sols, O.R.S.T.O.M., Dakar (Sénégal)

RÉSUMÉ

Cette étude porte sur les variations saisonnières de quelques caractéristiques physico-chimiques et de l'activité biologique d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé (DIOR), soumis ou non à l'influence d'une Légumineuse arborescente : *Acacia albida*.

Les caractéristiques étudiées, tant physico-chimiques que biologiques, sont, quel que soit l'environnement, sous la dépendance étroite des saisons et présentent, selon l'indice considéré, soit un maximum de saison sèche soit un maximum de saison des pluies. En règle générale on observe :

- en saison sèche : une augmentation de la teneur du sol en substances carbonées et en éléments fertilisants, et parallèlement une hausse de son activité potentielle ;
- en saison des pluies : une baisse de ces indices et une multiplication de la microflore du sol.

L'influence d'*Acacia albida* sur le sol se manifeste, quelle que soit la saison, par un relèvement général de l'activité biologique et des composantes de la fertilité qui, à son voisinage, se trouvent améliorées de façon très significative.

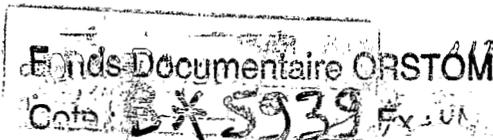
Il existe une interaction entre l'influence des saisons et l'influence d'*Acacia albida* sur les caractéristiques du sol ; elle se manifeste par des fluctuations de plus grande amplitude dans le sol soumis à l'action de l'arbre.

SUMMARY

This study concerns the seasonal variations of some physicochemical characteristics and of the biological activity of a weakly leached tropical ferruginous soil (DIOR), either (zones I and II) subjected to the influence of an arborescent legume-tree : *Acacia albida* or not (zone III).

The characteristics which are studied here, physico-chemical as well as biological, are whichever the environment, strictly related to the seasons and show, accordingly the characteristic studied, a maximum either in the dry or in the wet season. We generally observe :

- in the dry season : an increase of the amount of carbohydrates and fertilizing elements and simultaneously of its potential biological activity ;



— in the wet season : a decrease of these characteristics and an increase of the soil microflora density.

The influence of *Acacia albida* on the soil results, whichever the season, in a general increase of the biological activity and of the fertility, which in its neighbourhood improved very significantly.

There is an interaction between the influence of the seasons and the influence of *Acacia albida* on the characteristics of the soil ; this results in fluctuations of a higher range in the soil influenced by the tree.

ZUSAMMENFASSUNG

Diese Arbeit befasst sich mit den jahreszeitlichen Schwankungen einiger physikalisch-chemischen Eigenschaften und der biologischen Aktivität eines, wohl oder nicht dem Einfluss des baumartigen Hülsengewächses *Acacia albida* unterworfenen tropischen Diorbodens. Die erforschten physikalisch-chemischen und biologischen Eigenschaften hängen in beiden Fällen von den Jahreszeiten ab und weisen je nach dem betrachteten Faktor einen Trockenzeit- oder einen Regenzeitmaximum auf. Man beobachtet im allgemeinen :

— Eine Zunahme an kohlenstoffhaltigen Substanzen und an Pflanzennährstoffen und zugleich eine Erhöhung der potentiellen Aktivität des Bodens während der Trockenzeit.

— Eine Herabsetzung dieser Indizien und eine Vermehrung der Bodenmikroflora während der Regenzeit.

Der Einfluss von *Acacia albida* auf den Boden wirkt sich in jeder Jahreszeit in einer allgemeinen Erhöhung der biologischen Aktivität und in einer wesentlichen Verbesserung des Fruchtbarkeitszustandes in der Nähe dieser Pflanze aus.

Es besteht eine Wechselwirkung zwischen dem Einfluss der Jahreszeiten und jenem von *Acacia albida*, auf die Eigenschaften des Bodens. Unter diesem Baum sind die Böden grösseren Schwankungen unterworfen.

INTRODUCTION

L'*Acacia albida* est une Légumineuse Mimosée arborescente, présente dans toutes les contrées à longue saison sèche « depuis le Sud Algérien au Transvaal, de l'Atlantique à l'Océan Indien » (GIFFARD, 1964).

Cet arbre est très répandu au Sénégal, et surtout dans l'Ouest du pays où il forme de beaux peuplements, sur terrains sablonneux ou silico-argileux et en particulier sur les sols ferrugineux tropicaux, sols à sesquioxides et à matière organique évoluant rapidement, qui font l'objet de notre étude, à tel point que TROCHAIN (1940) a défini un « péniclimax à *Faidherbia albida* » (= *Acacia albida*).

Sa densité est très variable, de 10 à 30 et même 50 à l'hectare selon les régions et les conditions d'alimentation en eau.

La présence d'*Acacia albida*, dont la particularité est d'être couvert de feuilles en saison sèche et défeuillé en saison des pluies, est liée à la présence d'une nappe aquifère relativement proche de la surface.

L'intérêt de cet arbre est connu tant par sa valeur fourragère (GIFFARD, 1964) que par son action améliorante sur les sols et les cultures céréalières (CHARREAU et VIDAL, 1965) ; le but de la présente note est de compléter les études antérieures, portant sur les caractéristiques chimiques du sol, par une étude axée essentiellement sur son activité biologique ; en outre, grâce au dispositif expérimental mis en place, nous avons envisagé la possibilité de suivre les fluctuations saisonnières des caractéristiques biologiques dans le sol et de mettre en relief l'influence de l'arbre tout au long d'un cycle annuel.

I. — SITUATION — DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL — MÉTHODES ANALYTIQUES

1. SITUATION.

Les échantillons de sol ont été prélevés sur les terrains d'essais du Centre de Recherches Agronomiques de Bambey (lat. 14° 43' N, long. 16° 29' W, alt. 20 m) ; cette région se trouve en zone tropicale sèche de climat Shélo-Sénégalais, climat de transition entre le climat d'alizé maritime de la côte sénégalaise et le climat Sahélo-Soudanais (AUBREVILLE, 1949).

Le climat Sahélo-Sénégalais est caractérisé par une seule saison humide de cinq mois ; 85 % des pluies tombent durant les mois de juillet, août et septembre ; la pluviométrie est faible (500-900 mm) et l'indice des saisons pluviométriques d'AUBREVILLE (1949) est du type 3-2-7 (3 mois à pluviométrie supérieure à 100 mm — 2 mois à pluviométrie intermédiaire — 7 mois écologiquement secs).

Le régime thermique est du type Sahélo-Soudanais, avec 2 maxima et 2 minima ; pour la période 1953-1961, les maxima se situent en juin (28°3) et en octobre (28°2) et les minima en décembre-janvier (23°8) et en août-septembre (27°4).

Le sol se rattache à la classe des sols à sesquioxydes et à matière organique évoluant rapidement, il entre dans le groupe des sols ferrugineux tropicaux non ou peu lessivé (nom vernaculaire : DIOR) caractérisés par une teneur en colloïdes minéraux sensiblement constante dans tout le profil (AUBERT, 1962).

2. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL.

Le « péniclimax » de la zone étudiée était constitué par une jachère herbacée, sous *Acacia albida*, à l'abri des facteurs pouvant perturber l'analyse ; les accompagnatrices les plus fréquentes de la strate herbacée étaient : *Pennisetum pedicellatum*, *Andropogon gyanus*, *Andropogon pseudapricus*, *Tephrosia bracteolata*, *Alysi-*

carpus ovaliformis. Sur cette station, nous avons choisi six *Acacia* d'âge variable (30 à 80 ans) dont la superficie couverte (= projection de la couronne sur le sol) oscillait entre 80 et 300 m².

Sous chaque arbre nous avons distingué 3 zones :

- zone I = zone à proximité du tronc ;
- zone II = zone à la limite du couvert feuillu ;
- zone III = zone non soumise à l'influence de l'arbre.

Dans chaque zone nous avons effectué nos prélèvements suivant une même direction (Sud) et selon une technique, préconisée par DOMMARGUES (1962), consistant à prélever le sol d'une micro-parcelle (70 × 70 × 10 cm), à le tamiser à 2 mm, à l'homogénéiser à l'aide d'un échantillonneur diviseur, à le répartir en autant de sac de tulle de nylon à mailles, de 0,5 mm environ, que de prélèvements prévus au cours de l'année, à replacer ces sacs dans l'horizon de prélèvement 0-10 cm et à les recouvrir avec le sol et les débris organiques restants.

Dix séries de prélèvements, à raison de 18 échantillons par série, ont au total été effectuées entre les dates du 24-11-65 et du 11-01-67 ; les prélèvements ont été espacés durant la longue saison sèche et rapprochés pendant la saison des pluies (juillet à octobre).

3. MÉTHODES ANALYTIQUES.

Analyses physico-chimiques — richesse minérale.

- pH = suspensoin 1 : 2,5, mesuré au pH-mètre à électrode de verre ;
- *conductivité* = mesurée sur un extrait aqueux 1 : 5, exprimée en 10⁻⁶ · mhos cm⁻¹ ;
- C = carbone total en p. mille (méthode WALKLEY) ;
- N = azote total en p. mille (méthode KJELDAHL) ;
- *richesse minérale globale* = poids de mycélium d'*Aspergillus niger*, en mg/20 g de sol après 6 jours (MOUREAUX, 1956 et 1959) ;
- N *utilisable* = exprimé en ppm, déterminé à partir de la croissance d'*Aspergillus niger* sur solution nutritive sans N ;
- P₂O₅ *assimilable* = exprimé en ppm, déterminé à partir de la croissance d'*Aspergillus niger* sur solution nutritive sans P ;
- *hydrates de carbone* = exprimés en ppm de glucose, déterminés par la méthode à l'antrone (HELBERT *et al.*, 1957).

Tests respirométriques — Activité enzymatique — Microflore totale.

- CO₂ = CO₂ dégagé par 100 g de sol après 7 jours d'incubation au laboratoire, exprimé en mg de CO₂/100 g de sol (DOMMARGUES, 1960) ;

- *déshydrogénase* = activité déshydrogénasique résultant de la réduction du TTC en TPF, exprimé en $\mu\text{l H}/10\text{ g sol}/24\text{ h}$ à $37\text{ }^\circ\text{C}$ (SCHAEFER, 1963) ;
- *saccharase* = activité de la saccharase (= invertase) exprimée en mg de sucres réducteurs provenant du dédoublement de 10 g de saccharose sous l'action de l'enzyme contenue dans 100 g de sol (MOUREAUX, 1956 et 1957) ;
- *asparaginase* = activité asparaginase exprimée en ppm de N-NH_3 résultant de l'hydrolyse enzymatique de l'asparagine en 21 h à $49\text{ }^\circ\text{C}$ (MOURARET, 1965) ;
- *champignons* = densité au 5^e jour des champignons, en milliers/g de sol, sur milieu MARTIN au rose bengale (ALLEN, 1963) ;
- *actinomycètes* = densité au 14^e jour des actinomycètes, en milliers/g de sol, sur milieu BENEDICT modifié (PORTER *et al.*, 1960) ;
- *bactéries* = densité au 5^e jour des bactéries, en milliers/g de sol, sur milieu WAKSMAN ;
- $C\text{ du CO}_2/C \times 100$ = coefficient de minéralisation du carbone ou coefficient de biodégradation de la matière organique du sol, rapport du carbone du CO_2 dégagé après 7 jours d'incubation, en mg/100 g sol, au carbone total en mg/100 g sol, multiplié par 100 (DOMMERGUES, 1960) ;
- *déshydrogénase/g de C du sol* = indice d'activité déshydrogénasique, rapport de l'activité déshydrogénasique, par g de sol, au carbone total en p. cent, multiplié par 100.

Cellulolyse et minéralisation de l'azote.

- *cellulolytiques* = densité au 14^e jour des germes cellulolytiques/g de sol, sur silico-gel papier filtre (DOMMERGUES, 1952 et 1956) ;
- *pouvoir cellulolytique* = rapport du CO_2 dégagé par 100 g de sol enrichi en cellulose, à la concentration de 0,5 %, au CO_2 dégagé par 100 g de sol non enrichi ;
- N-NO_3 = azote nitrique au moment du prélèvement, en ppm, déterminé par colorimétrie ;
- N-NH_3 = azote ammoniacal au moment du prélèvement, en ppm, déterminé par distillation sous vide après extraction au KCl ;
- *azote nitrifiable* = différence entre l'azote nitrique déterminé après incubation du sol durant 4 semaines et l'azote nitrique au moment du prélèvement (DROUINEAU *et al.*, 1949) ;
- *azote ammonifiable* = pouvoir ammonifiant du sol, exprimé en mg d'azote ammonifié en 24 h à $30\text{ }^\circ\text{C}$ par 100 g de sol enrichi à raison de 3 p. mille d'urée ;
- *nitreux* = densité au 21^e jour des germes nitreux/g de sol, sur silico-gel émaillé (WINOGRADSKY, 1949).

Remarques

- les incubations ont été faites, sauf cas particulier, à 30 °C ;
- les échantillons de sol, mis à incuber, ont été humidifiés à 60 % de la capacité de rétention maximale, déterminée selon la méthode de BOUYOCOS ;
- les analyses ont été faites en double exemplaire et au plus tard 24 h après le prélèvement, notamment en ce qui concerne les dosages d'azote minéral.

II. — RÉSULTATS

Pour l'année considérée (1966 à 1967), les pluies se répartissent comme suit : 22 mm en juin, 3,7 mm en juillet, 14,9 mm en août, 216,8 mm en septembre, 142,5 mm en octobre, soit au total 531,9 mm (données fournies par C. DANCETTE, C.R.A. de Bambey).

Les caractéristiques physico-chimiques et biologiques du sol étudié sont soumises à l'influence simultanée de deux facteurs :

- *le facteur temps* (date de prélèvement) ;
- *le facteur site*, relatif au lieu de prélèvement par rapport à *Acacia albida*.

Sur le graphique 1, nous avons représenté, pour chaque zone (I, II et III), les variations annuelles des caractéristiques étudiées ; ces variations sont de même sens et sensiblement parallèles dans les trois zones, et présentent, quelle que soit la caractéristique envisagée, physico-chimique ou biologique, un gradient très net quand on passe de la zone située hors du couvert à la zone soumise à l'influence de l'arbre.

L'étude qui suit a pour but de mettre en relief l'influence de ces deux facteurs (temps et site), et éventuellement celle de leur interaction, sur la richesse minérale et l'activité biologique du sol ferrugineux tropical peu lessivé (DIOR) étudié.

IIa. — Influence de la date de prélèvement (facteur temps) sur les caractéristiques physico-chimiques et biologiques d'un sol DIOR.

Les tableaux I et II rapportent les variations, au cours d'un cycle annuel, des caractéristiques physico-chimiques et biologiques étudiées. Chaque résultat est la moyenne des analyses effectuées sur 18 échantillons de sol provenant des zones I, II et III. Ces données ont été discutées statistiquement par la méthode des plans

factoriels, ce qui nous a permis de faire figurer pour chaque indice, les valeurs du critérium F (SCHWARTZ, 1964) ainsi que la plus petite différence qui doit exister entre deux résultats pour qu'elle soit significative à 5 %.

1) *Variations saisonnières des caractéristiques physico-chimiques et de la richesse minérale du sol* (tableau I).

— Le pH du sol, constant en saison sèche et au début de la saison des pluies (6,4), baisse de 0,9 unité pH de façon très significative en septembre (5,5), puis croît, parallèlement à la dessiccation du sol, jusqu'à atteindre un pH sensiblement identique au pH initial. La baisse de pH au cours de la saison des pluies, signalée également par FAUCK (1956) dans les sols beiges et rouges de Casamance, est vraisemblablement due surtout au lessivage des basses échangeables et en particulier du calcium (MOUREAUX et FAUCK, 1966), et à la libération d'acides organiques consécutive à la décomposition du stock organique du sol.

— La *conductivité*, fonction de la teneur en éléments minéraux de la solution du sol, augmente significativement en saison sèche, passe par un minimum en fin de saison sèche - début des pluies, puis décroît jusqu'en fin de saison des pluies par suite du lessivage des éléments minéraux et de leur exportation par les végétaux supérieurs.

— Le *carbone et l'azote total* sont très peu marqués par les variations saisonnières, sauf en fin de saison des pluies - début de saison sèche, où l'on note une baisse significative de 15 à 20 %, qui coïncide avec la production minimale de matière végétale par *Acacia albida* (JUNG, 1969).

— La *richesse minérale globale* du sol, ainsi que les quantités d'*azote utilisable* et de *phosphore assimilable* sont sensiblement constantes en saison sèche, elles passent, tout comme la conductivité, par un maximum en fin de saison sèche - début des pluies, puis accusent une baisse significative dès les premières fortes pluies ; cette baisse est respectivement de 20,48 et 10 % selon l'indice considéré.

— La *teneur du sol en hydrates de carbone* augmente en saison sèche, passe par un maximum de fin de saison et décroît de 38 % dès les premières pluies ; ces résultats confirment les observations de BIRCH (1958 et 1959), établissant que la dessiccation du sol entraîne une solubilisation du carbone organique et une augmentation de la teneur du sol en substances facilement métabolisables.

En résumé, l'on peut dire que la *saison sèche* est caractérisée par l'accumulation d'éléments fertilisants et de substances facilement métabolisables, favorisée par l'absence de lessivage et par le déficit hydrique du sol, alors que la *saison des pluies* est marquée au contraire par une baisse généralisée de tous les indices, baisse consécutive à la reprise de la végétation et à l'entraînement en profondeur des éléments solubles.

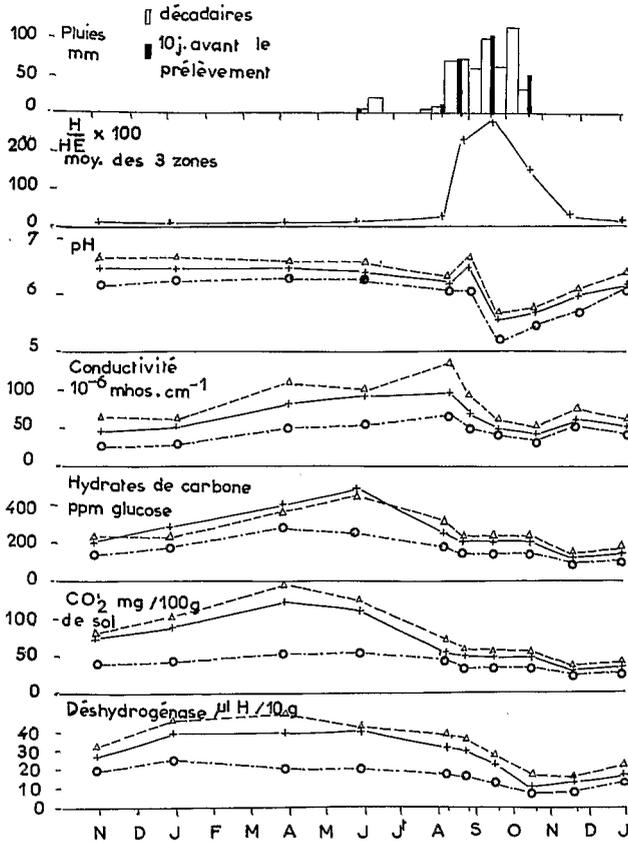


FIG. 1. — Variations saisonnières des caractéristiques microbiologiques d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé (DIOR) soumis (zones I et II) ou non (zone III) à l'influence d'*Acacia albida*.

Seasonal variations of the microbiological characteristics of a weakly leached tropical ferruginous soil (DIOR) either subjected (zones I and II) to the influence of Acacia albida or not (zone III).

- △---△ Zone I (à proximité du tronc) ;
- +---+ Zone II (à la limite du couvert feuillu) ;
- Zone III (hors de la zone d'influence de l'arbre)..

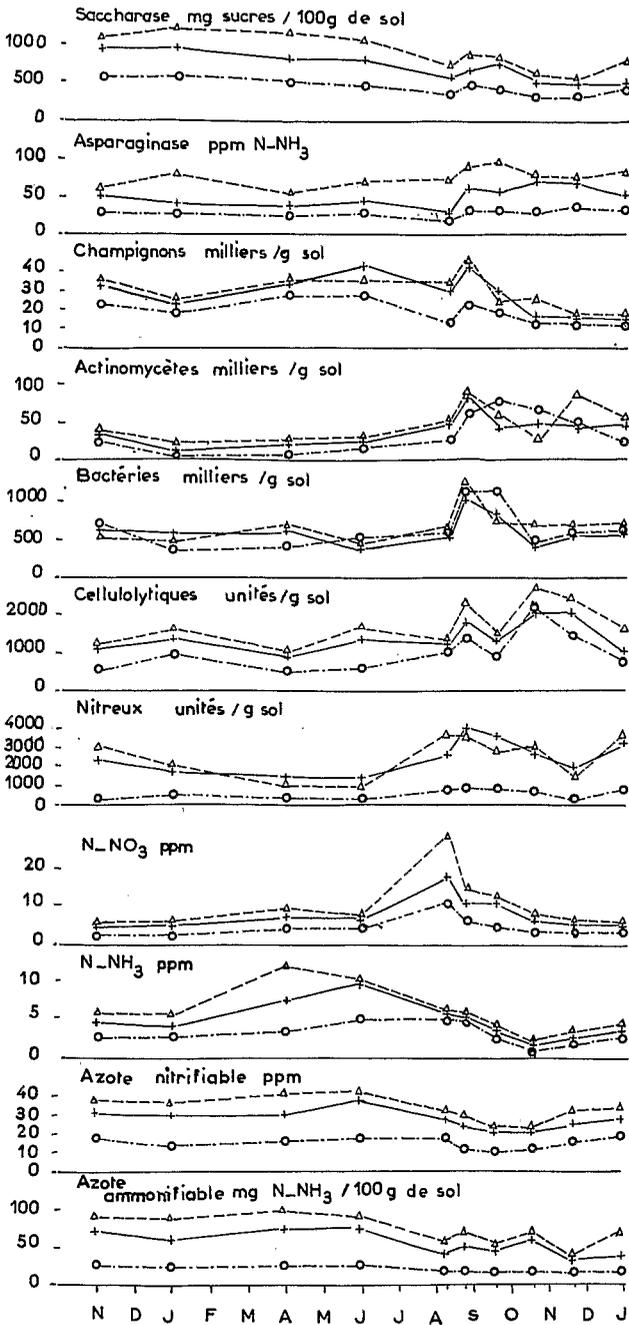


TABLEAU I
*Influence de la date de prélèvement (facteur temps)
 sur les caractéristiques physico-chimiques d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé.*

Dates	H %	$\frac{H}{HE} \times 100$	pH 1 : 2,5	Conductivité (10^{-6} mhos.cm ⁻¹)	C (°/oo)	N (°/oo)	Richesse minérale globale (mg mycélium /20 g sol)	N utili- sable (ppm)	P ₂ O ₅ assimi- lable (ppm)	Hydrates de carbone (ppm glucose)
24-11-65	0,60	14	6,46	47,0	5,90	0,65	217	34	29	203
25-01-66	0,40	9	6,46	48,6	6,50	0,66	215	37	29	243
22-04-66	0,44	10	6,46	81,6	6,73	0,64	214	45	29	345
14-06-66	0,52	12	6,43	82,3	6,90	0,65	203	119	30	392
11-08-66	0,90	21	6,20	101,0	6,36	0,66	228	135	40	245
24-08-66	9,21	217	6,43	71,0	6,63	0,59	236	71	36	193
21-09-66	1,26	264	5,50	52,0	6,70	0,66	186	22	34	191
19-10-66	8,97	132	5,66	48,5	6,43	0,63	185	25	32	197
24-11-66	1,13	26	5,93	65,6	5,26	0,53	199	27	29	127
11-01-67	0,54	12	6,26	50,3	5,21	0,52	192	42	32	150
F calculé	-	-	56,5	8,8	6,3	8,6	2,9	16,4	2,6	15,6
Différence significa- tive à 5 %	-	-	0,14	18,5	0,71	0,05	36,3	21	16,9	62

F table — à 5 % : 2,46
 — à 1 % : 5,56

Chaque résultat est la moyenne des analyses effectuées sur 18 échantillons de sol.
 H % = teneur en eau du sol, en p. cent de terre sèche à 105 °C, au moment du prélèvement.
 $(H/HE) \times 100$ = teneur en eau du sol en p. cent de l'humidité équivalente mesurée à pF=3.

2) *Variations saisonnières des caractéristiques biologiques du sol* (tableau II).

a) *Tests respirométriques — Activité enzymatique — Microflore totale.*

Le *dégagement de CO₂ du sol* (mesuré dans des conditions optimales de température et d'humidité, 30 °C et 60 % de la capacité de rétention maximale), et l'*activité déshydrogénasique* (qui est une mesure des processus d'oxydation biologique dans le sol à saturation et soumis à une température de 37 °C), sont marqués par un maximum de fin de saison sèche, suivi d'une baisse significative, respectivement de 46 et 16 %, dès les premières pluies. Ces deux tests respirométriques sont étroitement liés puisqu'ils constituent tous deux une mesure de la teneur du sol en composés facilement biodégradables. Cette liaison se trouve confirmée par la corrélation positive très hautement significative existant, d'une part entre le dégagement de CO₂ et l'activité déshydrogénasique ($r = 0,86$, liaison significative à 1 %), d'autre part entre le dégagement de CO₂ et la teneur du sol hydrates de carbone ($r = 0,88$, liaison significative à 1 %).

Le *coefficient de minéralisation du carbone*, ainsi que l'*indice d'activité déshydrogénasique*, exprimé en fonction du carbone du sol, baissent également de façon significative en saison des pluies.

La *teneur du sol en saccharase* (dont l'estimation permet le dosage d'une manifestation globale d'activité puisque ces enzymes sont grandement répandues dans tous les groupes microbiens et fongiques) a tendance à diminuer en saison sèche et cette diminution s'accroît de façon significative dès les premières pluies ; on constate cependant, à partir du mois d'août, une reconstitution du stock de saccharase dans le sol.

La *teneur du sol en asparaginase* est sensiblement constante durant toute la période comprise entre novembre et début août (saison sèche à début des pluies), mais elle augmente de façon significative dès la fin du mois d'août, après les premières fortes pluies.

Les variations de la teneur du sol en saccharase et en asparaginase paraissent présenter un certain parallélisme ; dans les deux cas, il semble qu'à partir du mois d'août il y ait une reconstitution du stock d'enzymes dans le sol, reconstitution qui serait cependant moins rapide pour la saccharase ; en cours de saison sèche, la légère diminution de la saccharase pourrait s'expliquer par la plus grande sensibilité de cette enzyme à la dessiccation, alors que l'asparaginase serait plus résistante. Ces observations ne reposent que sur une période relativement courte, aussi est-il difficile de donner une interprétation définitive de ces modifications au cours des saisons, cependant, elles paraissent rejoindre les observations de DOMMERMUES (1962) et de MOURARET (1965). Signalons enfin qu'il existe une corrélation significative et positive entre le dégagement de CO₂ et la saccharase

TABLEAU II
*Influence de la date de prélèvement (facteur temps)
 sur les caractéristiques biologiques d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé.*

Dates	CO ₂ mg/100 g de sol	Déshydrogénase	Saccharase	Asparaginase	Champignons (milliers/g de sol)	Actinomycètes (milliers/g de sol)	Bactéries (milliers/g de sol)	$\frac{C \text{ du } CO_2}{C \text{ total}} \times 100$	Déshydrogénase/g de carbone du sol
24-11-65	68,3	26,3	890	49,6	31	38,3	657	3,1	450
25-01-66	81,6	37,0	950	50,3	24	17,6	493	3,4	582
22-04-66	111,0	37,6	830	39,0	34	22,0	592	4,3	539
14-06-66	98,0	36,0	803	47,0	36	28,3	502	3,8	515
11-08-66	53,0	29,3	543	35,6	26	46,6	601	2,2	453
24-08-66	40,0	28,0	673	63,6	37	80,3	1144	1,6	418
21-09-66	38,0	20,6	660	59,3	24	64,3	876	1,6	311
19-10-66	34,0	11,6	483	59,0	17	48,6	531	1,4	180
24-11-66	35,0	14,3	450	65,0	16	60,3	641	1,9	272
11-01-67	33,3	17,6	556	54,0	15	43,6	691	1,7	343
F calculé	12,3	14,6	14,0	3,0	13	5,6	11,0	29,4	33,1
Différence significative à 5 %	24,3	7,2	138	16,9	8	24,6	176	0,6	65

F table — à 5 % : 2,46
 — à 1 % : 5,56

Chaque résultat est la moyenne des analyses effectuées sur 18 échantillons de sol.

TABLEAU II (suite)

Dates	Cellulolytiques (unités/g de sol)	Pouvoir cellulolytique	N-NO ₃ (ppm)	N-NH ₃ (ppm)	Azote nitrifiable (ppm)	Azote ammonifiable (mg N-NH ₃ /100 g de sol)	Nitreux (unités/g de sol)
24-11-65	957	1,97	4,5	4,4	29,6	63,3	1930
25-01-66	1342	1,63	5,9	4,1	26,6	59,6	1548
22-04-66	826	1,72	7,0	7,4	30,0	65,5	969
14-06-66	1212	1,91	6,8	8,3	33,0	67,7	779
11-08-66	1243	3,46	19,4	5,7	25,6	40,0	2193
24-08-66	1851	2,75	11,0	5,0	22,0	47,0	2737
21-09-66	1833	2,46	9,5	3,2	19,0	40,0	2371
19-10-66	2272	2,27	6,0	2,7	18,0	47,6	2194
24-11-66	2022	2,22	5,6	2,8	23,6	33,3	998
11-01-67	1144	2,19	4,6	3,4	25,3	42,0	2662
F calculé	28,3	18,6	9,0	5,4	8,8	4,6	5,0
Différence significative à 5 %	266	0,37	4,5	2,5	4,8	17,0	954

F table — à 5 % : 2,46

— à 1 % : 5,56

Chaque résultat est la moyenne des analyses effectuées sur 18 échantillons de sol.

($r = 0,78$, liaison significative à 1 %), ce qui confirme la liaison existant entre cette enzyme et la teneur du sol en substrats hydrocarbonés, et une corrélation significative mais négative ($r = -0,68$, liaison significative à 1 %) entre le dégagement de CO_2 et l'asparaginase, corrélation pour laquelle nous n'avons pas trouvé d'hypothèse explicative satisfaisante.

La densité de la microflore totale (Bactéries, Actinomycètes, Champignons) est sensiblement constante durant toute la saison sèche, mais elle augmente de façon significative en saison des pluies (de 673 à 1 220 milliers de germes/g de sol). Le calcul montre : qu'il n'y a aucune corrélation entre le dégagement de CO_2 et la densité de la microflore totale ($r = -0,47$, liaison non significative), mais que cette corrélation présente une tendance à être négative, et qu'il y a par contre une corrélation significative entre la densité de la microflore et la teneur en eau du sol ($r = 0,64$, liaison significative à 5 %). La corrélation inverse apparaissant entre le dégagement de CO_2 et la densité des micro-organismes s'explique par le fait que la dessiccation du sol en saison sèche a deux conséquences opposées :

- enrichissement du sol en carbone facilement métabolisable, ce qui entraîne une augmentation du dégagement de CO_2 mesuré au laboratoire ;
- effet létal de la dessiccation sur la microflore du sol.

L'absence de corrélation entre la teneur du sol en saccharase ou la densité de la microflore et le dégagement de CO_2 mesuré au laboratoire, signalée par de nombreux auteurs (KOSLOV, 1962 ; VIRO, 1963 ; HILGER, 1963) se trouve confirmée dans cette étude ; les corrélations existant entre le dégagement de CO_2 et la teneur du sol en hydrates de carbone, ainsi qu'entre la microflore du sol et sa teneur en eau, semblent indiquer que les substances facilement fermentescibles, accumulées en saison sèche, ne peuvent être métabolisées par la microflore hétérotrophe du sol que lorsque les conditions d'humidité « in situ » sont optimales ; c'est ce qui explique la multiplication de la microflore en saison des pluies et la baisse du CO_2 mesuré au laboratoire.

b) Cellulolyse.

La densité des germes cellulolytiques et le pouvoir cellulolytique du sol croissent respectivement de 70 et 45 %, de façon significative, en saison des pluies ; les fluctuations saisonnières suivent celles de la microflore totale et de l'activité de l'asparaginase ; ce parallélisme se traduit par une corrélation positive, significative à 1 %, entre l'activité de l'asparaginase et la densité des cellulolytiques ($r = 0,71$) ; il pourrait donc exister une certaine liaison entre l'activité de l'asparaginase et le pouvoir cellulolytique du sol, bien que les microorganismes responsables de la dégradation de la cellulose ne paraissent pas impliqués dans la synthèse d'asparaginase (MOURARET, 1965).

c) *Minéralisation de l'azote.*

Les variations annuelles d'azote minéral ($N-NO_3 + N-NH_3$) sont identiques à celles observées par différents auteurs en région tropicale (HAGENZIECKER au Tanganyika, 1957 ; SAUNDER en Rhodésie, 1959 ; GHILDYAL à Kanpur, 1963 ; MOORE et JAIYEBO au Nigeria, 1963) : l'azote nitrique oscille entre 4,5 et 7,0 ppm en saison sèche, passe par un maximum (19,4 ppm) après les premières pluies, puis décroît de façon significative pendant la saison des pluies — l'azote ammoniacal augmente significativement en saison sèche, de 4,4 à 8,3 ppm, passe par un maximum en fin de saison sèche et décroît dès les premières pluies.

Le seuil d'ammonification, supérieur au seuil de nitrification (DOMMERMUES, 1962) permet l'accumulation, en saison sèche, d'azote ammoniacal alors que la nitrification par voie biologique est négligeable.

Dès les premières pluies, suffisantes pour humecter le sol, on assiste à une minéralisation très forte de l'azote, se traduisant par une augmentation fugace des nitrates, puis l'azote est entraîné en profondeur ; les quantités d'azote lessivées peuvent être très importantes, puisque en l'espace de 40 jours, l'on retrouve en profondeur jusqu'à 75 kg d'azote nitrique et 89 kg d'azote ammoniacal par hectare (BLONDEL, 1967).

L'azote nitrifiable, tout comme l'azote ammonifiable, varient très peu en saison sèche, mais accusent une baisse, respectivement de 40 et 37 %, dès les premières pluies, qui est due à la forte minéralisation de l'azote organique « in situ ».

La densité des germes nitreux décroît de façon significative en saison sèche, passe par un maximum en fin de saison (779 colonies/g de sol en juin), triple dès les premières pluies (2 193 colonies/g de sol début août) et reste constante durant toute la saison pluvieuse. Ces variations sont identiques à celles observées par JACQUEMIN et BERLIER (1956) en Côte-d'Ivoire, GHILDYAL (1963) à Kanpur.

L'étude statistique de l'influence de la date de prélèvement sur ces caractéristiques, nous a permis de mettre en évidence : — qu'il y a une corrélation hautement significative entre le dégagement de CO_2 et l'azote ammonifiable ($r = 0,88$, liaison significative à 1 %), et une corrélation significative, mais négative, entre le dégagement de CO_2 et la densité des germes nitreux ($r = -0,71$, liaison significative à 1 %) ainsi qu'entre l'azote nitrifiable et la densité des germes nitreux ($r = -0,64$, liaison significative à 5 %) ; ces relations nous permettent de penser que le pouvoir ammonifiant du sol et sa teneur en azote nitrifiable, qui, tout comme le dégagement de CO_2 mesuré au laboratoire, décroissent en saison des pluies, reflètent le niveau énergétique du sol.

— qu'il n'y a aucune corrélation entre la teneur du sol en azote nitrique et sa densité en bactéries nitreuses ($r = 0,29$, liaison non significative), ce qui laisse

supposer que l'estimation des germes nitreux est un meilleur critère de la nitrification brute « in situ » que celle de sa teneur en nitrates.

IIb. — INFLUENCE DE LA ZONE DE PRÉLÈVEMENT (FACTEUR SITE) SUR LES CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES D'UN SOL DIOR.

Dans les tableaux III et IV figurent :

— pour chaque zone : la valeur des différentes caractéristiques étudiées, chaque valeur étant la moyenne des analyses effectuées sur 60 échantillons de sol prélevés pendant la période considérée, ainsi que les résultats bruts obtenus sous *Acacia* (zones I et II) en p. cent de ceux obtenus dans la zone témoin située hors du couvert végétal de l'arbre (zone III) ;

— les valeurs du critérium F pour chaque indice ;

— la plus petite différence devant exister entre les caractéristiques de deux zones pour qu'il y ait un « facteur site » significatif à 5 %.

La majorité des caractéristiques physico-chimiques (tableau III) et biologiques (tableau IV), sont liées de façon hautement significative à la présence de l'arbre, et ce, quelle que soit la date de prélèvement. Cette liaison se manifeste par un gradient très net quand on passe de la zone non soumise à l'influence de l'arbre à la zone sous couvert. Il est à remarquer cependant que le coefficient de minéralisation du carbone ($C \text{ du } CO_2 / C \text{ total} \times 100$) ainsi que l'indice d'activité déshydrogénasique (déshydrogénase exprimée en fonction du carbone du sol), sont du même ordre de grandeur dans les trois zones, ce qui tendrait à montrer que la stabilité de la matière organique n'est pas influencée par la présence de l'arbre.

L'étude de l'influence du pH et de la teneur du sol en matière organique, en calcium, en phosphore et en argile sur l'ammonification et la nitrification en sol DIOR (JUNG, 1966) nous a permis, par le calcul des corrélations partielles, de confirmer d'une part que la densité et l'activité des micro-organismes du sol sont fonction avant tout de sa teneur en substrat énergétique, d'autre part que les caractéristiques physico-chimiques sont étroitement liées à l'activité biologique du sol, mais elles ne le sont pas toujours par l'intermédiaire de la matière organique. Comme le montre l'étude des cycles biogéochimiques dans l'écosystème : *Acacia albida* — sol ferrugineux tropical peu lessivé (JUNG, 1969), l'arbre constitue une réserve importante d'éléments minéraux dont une partie est retournée au sol par l'intermédiaire des retombées annuelles :

— la quantité de N, P, K, Ca et Mg stockée par *Acacia* a été estimée respectivement à 1489, 132, 1231, 699 et 230 kg/ha ;

TABLEAU III

Influence de la zone de prélèvement (facteur site)
sur les caractéristiques physico-chimiques d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé.

Site Caractéristique	Résultats bruts*			Résultats en % III			F calculé	Différence significative à 5 %
	I	II	III	I	II	III		
pH 1 : 2,5	6,36	6,20	5,99	106	104	100	49,9	0,075
Conductivité 10 ⁻⁶ mhos.cm ⁻¹	81,6	65,5	47,2	173	139	100	25,2	32,1
C (‰)	8,12	6,52	4,13	196	157	100	233,3	0,39
N (‰)	0,82	0,65	0,38	215	171	100	468,5	0,030
Richesse miné- rale globale (mg mycélium/20 g)	248	200	176	141	113	100	30,1	20,0
N utilisable (ppm)	58,3	55,1	30,5	191	181	100	15,5	11,3
P ₂ O ₅ assimi- lable (ppm)	45,8	29,0	22,0	208	132	100	90,6	3,8
Hydrates de carbone (ppm glucose)	260	254	173	150	146	100	16,0	34,0

F table — à 5 % : 3,55
— à 1 % : 6,01

* Chaque résultat est la moyenne des analyses effectuées sur 60 échantillons de sol.

I : zone à proximité du tronc ;

II : zone à la limite du couvert feuillu ;

III : zone hors de la zone d'influence d'*Acacia albida*.

— les retombées annuelles s'élèvent à 11583 kg/ha/an de matière sèche à 105 °C, et la quantité de N, P, K, Ca et Mg impliquée dans ces retombées est respectivement de 186,5 — 3,9 — 75,6 — 22,0 et 38,3 kg/ha/an.

Ces apports annuels de matière organique fraîche au sol, d'éléments minéraux et d'énergie sous forme de substrats carbonés expliquent :

— l'enrichissement relatif très important observé dans l'horizon superficiel du sol soumis à l'influence de l'arbre ; cet enrichissement se traduit en particulier par une augmentation du pH et une augmentation de plus de 100 %, de la somme des bases échangeables et de la capacité d'échange du sol (JUNG, 1966) ;

— l'intense activité biologique du sol sous *Acacia*, activité qui est toujours de deux ou trois fois supérieure à celle du sol situé hors de la zone d'influence

TABLEAU IV

Influence de la zone de prélèvement (facteur site)
sur les caractéristiques biologiques d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé.

Site Caractéristique	Résultats bruts*			Résultats en % III			F calculé	Différence significative à 5 %
	I	II	III	I	II	III		
CO ₂ (mg/100 g)	78,3	64,3	34,8	225	184	100	24,1	13,4
Déshydrogénase	33,1	28,0	16,6	199	168	100	38,5	4,0
Saccharase	900	690	450	200	153	100	76,5	75,0
Asparaginase	76	53	29	262	182	100	56,4	9,0
Champignons (milliers/g de sol)	30	29	19	157	152	100	15,6	4,3
Actinomycètes (milliers/g de sol)	50,8	43,3	41,0	124	105	100	1,3	13,3
Bactéries (milliers/g de sol)	706	631	682	103	92	100	1,4	97,8
$\frac{C \text{ du } CO_2}{C \text{ total}} \times 100$	2,6	2,6	2,3	112	112	100	3,0	0,31
Déshydrogénase /g de carbone du sol	400	423	386	101	107	100	1,41	35
Cellulolytiques (unités/g de sol)	1733	1426	1062	163	134	100	46,7	146,0
Pouvoir cellulolytique	2,27	2,26	2,23	102	101	100	0,09	0,2
N-NO ₃ (ppm)	10,8	8,3	5,0	216	164	100	12,5	2,4
N-NH ₃ (ppm)	5,7	5,0	3,2	178	156	100	7,9	1,4
Azote ntri- fiable (ppm)	33,5	27,3	15,1	221	180	100	110,9	2,6
Azote ammoni- fiable (mgN-NH ₃)	73	56	23	317	243	100	66,3	9,3
Nitreux (unités/g de sol)	2532	2466	516	490	477	100	42,3	523,0

* Chaque résultat est la moyenne des analyses effectuées sur 60 échantillons de sol.

F table — à 5 % : 3,55
— à 1 % : 6,01

I : zone à proximité du tronc ;

II : zone à la limite du couvert feuillu ;

III : zone hors de la zone d'influence d'*Acacia albida*.

de l'arbre (cf. tableau IV), dont une des conséquences directes est la vitesse d'évolution de la matière organique puisque, en moins d'une année, la totalité des retombées annuelles est décomposée.

IIc. — INFLUENCE DE L'INTERACTION ENTRE LA ZONE ET LA DATE DE PRÉLÈVEMENT (INTERACTION : SITE \times TEMPS) SUR LES CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES D'UN SOL DIOR.

Les variations saisonnières des caractéristiques physico-chimiques et biologiques étudiées sont de même sens dans les trois zones considérées (cf. graphique 1), mais elles ne présentent pas toujours la même intensité, surtout en saison des pluies entre juin et septembre ; cette différence est mise en relief par l'étude de l'influence de l'interaction entre la zone et la date de prélèvement sur quelques indices.

Dans le tableau V, figurent les résultats d'une expérience factorielle 2^2 , interaction de premier ordre (MASSIBOT, 1946, p. 76), où chaque « traitement », date et zone de prélèvement, comporte deux niveaux :

— pour la date de prélèvement (facteur temps) : les dates du 14-06-66 (fin de saison sèche) et du 21-09-66 (saison des pluies, précipitations 330 mm) ;

— pour la zone de prélèvement (facteur site) : les zones I (à proximité du tronc) et III (hors de la zone sous couvert).

Les résultats obtenus montrent qu'il existe, en règle générale, une interaction significative site \times temps ; cette interaction se traduit sur les caractéristiques physico-chimiques et biologiques étudiées par des fluctuations de plus grande amplitude dans le sol sous *Acacia* que dans le sol situé hors du couvert végétal. En d'autres termes, plus le sol est pauvre en matière organique, c'est le cas de la zone III, plus les fluctuations saisonnières de l'activité biologique sont atténuées.

CONCLUSION

Les variations saisonnières de quelques caractéristiques physico-chimiques et de l'activité biologique d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé (DIOR), soumis ou non à l'influence d'*Acacia albida*, sont sous la dépendance étroite des conditions climatiques et de l'environnement.

Les variations saisonnières, abstraction faite de l'influence de l'arbre, présentent les particularités suivantes :

— processus se déroulant en saison sèche : durant la saison sèche, caractérisée par un déficit hydrique considérable puisque l'humidité du sol en place

TABLEAU V

*Influence de l'interaction entre la zone et la date de prélèvement
(facteur site × facteur temps)
sur les caractéristiques physico-chimiques et biologiques d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé*

Constituants de la variation Caractéristique	F calculé				Ecart entre les dates		Différence significative à 5 %
	Variation totale des traitements	Site	Temps	Interaction Site × Temps	Zone I	Zone III	
pH 1 : 2,5	53,5	20,6	139,5	20,5	0,93	1,06	0,24
C (‰)	26,5	79,4	0,1	19,8	0,05	0,32	1,56
Hydrates de carbone	34,7	38,0	54,5	31,6	233	100	64,5
CO ₂ mg/100 g	18,5	22,2	11,8	21,5	78,9	29,1	30,1
Déshydrogénase	21,3	40,0	18,0	25,9	15,6	7,4	7,9
Asparaginase	7,4	19,7	1,7	20,7	25,5	5,1	6,6
Azote nitrifiable (ppm)	33,8	38,0	11,0	72,4	14,3	5,3	9,9
Nitreux (unités /g de sol)	26,5	42,0	26,6	32,7	1856	357	633

Pour P = 1 % :

- F table = 4,94 : pour la variation totale des traitements ;
- F table = 8,10 : pour les variations Site, Temps et Interaction.
- I : zone à proximité du tronc ;
- III : zone hors de la zone d'influence d'*Acacia albida*.

oscille entre 2 et 5 % de la capacité de rétention maximale, on observe une augmentation significative de la teneur en éléments fertilisants de la solution du sol, de la teneur du sol en hydrates de carbone et en azote ammoniacal, ainsi que du dégagement de CO₂ (mesuré au laboratoire) et de l'activité déshydrogénasique ; toutes les autres caractéristiques sont sensiblement constantes au cours de la saison ;

— *processus apparaissant en début de saison des pluies* : les premières pluies, suffisantes pour humecter l'horizon superficiel du sol, mais insuffisantes pour provoquer des phénomènes de lessivage, entraînent : une augmentation de la richesse minérale du sol et de sa teneur en éléments fertilisants, la minéralisation de l'azote organique « in situ » ce qui conduit à la hausse du taux des nitrates du sol, favorise la multiplication des micro-organismes et la reconstitution du stock enzymatique du sol. Les autres indices, mis à part le pH, le carbone et l'azote total, décroissent de façon significative ;

— *processus se développant en cours de saison des pluies* : la densité de la microflore hétérotrophe du sol, des germes nitreux, des cellulolytiques, ainsi que l'activité de l'asparaginase restent élevées et varient très peu en saison des pluies ; le lessivage des bases échangeables, des substances hydrosolubles, des nitrates, leur exportation par les végétaux supérieurs ou leur blocage par la microflore, entraînent une baisse généralisée de toutes les autres caractéristiques étudiées.

L'influence d'*Acacia albida* se traduit, quelle que soit la saison, par un gradient de fertilité et d'activité biologique très significatif quand on passe de la zone témoin, non soumise à l'influence de l'arbre, à la zone sous couvert. Mise à part la particularité de l'arbre du point de vue phénologique, particularité qui peut contribuer à intensifier l'activité biologique du sol, il semble que ce soit l'apport d'énergie sous forme de substrats carbonés et d'éléments fertilisants par l'intermédiaire des retombées annuelles, qui soit le facteur essentiel de l'effet améliorant de l'arbre.

L'interaction entre l'influence simultanée des saisons et de l'arbre sur les caractéristiques du sol, se traduit en règle générale par des fluctuations de plus grande amplitude dans la zone sous couvert et semble étroitement liée à la teneur du sol en matière organique.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN O. N., 1953. — *Experiments in soil bacteriology*. Burgess Publishing, Minneapolis, Minnesota.
- AUBERT G., 1962. — La classification des sols. La classification pédologique française. *Cahiers de Pédologie, ORSTOM*, 3, 1-7.
- AUBREVILLE A., 1949. — *Climats, forêts et désertification de l'Afrique Tropicale*. Société d'éditions géographiques, maritimes et coloniales, Paris.
- BIRCH H. F., 1958. — The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. *Plant and soil*, 10, 9-31.
- BIRCH H. F., 1959. — Further observations on humus decomposition and nitrification. *Plant and soil*, 11, 262-270.
- BLONDEL D., 1967. — Premiers résultats sur la dynamique microbienne de l'azote dans deux sols du Sénégal. *Rap. IRAT, Bambey*, 51 p.
- CHARREAU C. et VIDAL P., 1965. — Influence de l'*Acacia albida* sur le sol. Nutrition minérale et rendements des mils *Pennisetum* au Sénégal. *L'agronomie tropicale*, 600-625.
- DOMMERMUES Y., 1952. — L'analyse microbiologique des sols tropicaux acides. *Mém. Inst. Sci. Madagascar, D*, 4, 2, 170-181.
- DOMMERMUES Y., 1956. — Numération des germes telluriques sur milieu électif au silicogel. *C. R. 6^e Cong. Int. Sci. sol, Paris, C*, 393-398.

- DOMMERMUES Y., 1960. — La notion de coefficient de minéralisation du carbone dans les sols. *L'agronomie tropicale*, **15**, 1, 54-60.
- DOMMERMUES Y., 1962. — *Contribution à la dynamique microbienne des sols en zone semi-aride et en zone tropicale sèche*. Thèse, Paris, 1962.
- DROUINEAU G. et LEFEVRE G., 1949. — Première contribution à l'étude de l'azote minéralisable dans les sols. *Ann. Agron.*, **19**, 518-536.
- FAUCK R., 1956. — Etude de l'évolution des sols sous culture mécanisée, le problème du pH et sa correction. *C. R. 6^e Congr. Int. Sci. Sol, Paris, D*, **4**, 379-382.
- GHILDYAL B. P., 1963. — Influence of tropical season on carbon and nitrogen transformations; nitrite and nitrate formers and bacterial plate count. *Soil Sci. Plant Nut.*, Japan, **9**, 2, 70-76.
- GIFFARD Ph., 1964. — Les possibilités de reboisement en *Acacia albida* au Sénégal. *Bois et Forêts des Tropiques*, **95**, 22-23.
- HAGENZIECKER F., 1957. — Soil nitrogen studies at Urambo, Tanganyika, Territory East Africa. *Plant and Soil*, **9**, 2, 97-113.
- HILGER S., 1963. — Activité respiratoire de sols équatoriaux. Application de la méthode respirométrique *in situ*. *Bull. Inst. Agr. Stat. Rech., Gembloux*, **31**, 2, 154-182.
- HELBERT J. R. et BROWN K. D., 1957. — Color reaction of anthrone with monosaccharide mixtures and oligo and polysaccharides containing Hexuronic acids. *Anal. Chem.*, **29**, 1464-1466.
- JACQUEMIN H. et BERLIER Y., 1956. — Evolution du pouvoir nitrifiant d'un sol de Basse Côte d'Ivoire sous l'action du climat et de la végétation. *C. R. 6^e Congr. Int. Sci. Sol, Paris, C*, **3**, 58, 343-347.
- JUNG G., 1966. — Etude de l'influence de l'*Acacia albida* (Del.) sur les processus microbiologiques dans le sol et sur leurs variations saisonnières. *Rapp. ORSTOM, Dakar*, 49 p.
- JUNG G., 1969. — Cycles biogéochimiques dans un écosystème de région tropicale sèche : *Acacia albida* (Del.), sol ferrugineux tropical peu lessivé (Dior). Sous presse.
- KOSLOV K. A., 1962. — Study of the biological activity of soils in eastern Siberia. *Soviet Soil Sci.*, **4**, 381-397.
- MASSIBOT J. A., 1946. — *La technique des essais culturaux et des études d'écologie agricole*. Georges Frères, Tourcoing.
- MOORE A. W. et JAIYEBO E. D., 1963. — The influence of cover on nitrate and nitrifiable nitrogen content of the soil in a tropical rain forest environment. *Emp. J. Exp. Agron., Oxford*, **31**, 123, 189-198.
- MOURARET M., 1965. — *Contribution à l'étude de l'activité des enzymes du sol : l'asparaginase*, Mémoires ORSTOM, Paris, 111 p.
- MOUREAUX Cl., 1956. — La microbiologie dans l'étude des sols. *Le Naturaliste Malgache*, **8**, 2, 165-177.
- MOUREAUX Cl., 1957. — Tests biochimiques de l'activité biologique de quelques sols malgaches. *Mém. Inst. Sci. Madagascar, D*, **8**, 225-241.
- MOUREAUX Cl., 1959. — L'activité microbologique et ses variations dans l'année en divers sols des Hauts plateaux malgaches. *Mém. Inst. Sci. Madagascar, D*, **9**, 109-120.

- MOUREAUX Cl. et FAUCK R., 1967. — Influence d'un excès d'humidité temporaire sur quelques sols de l'Ouest Africain. *Cahiers ORSTOM, Série Pédologie*, **5**, 1, 103.
- PORTER J. N. et coll., 1960. — Method for the preferential isolation of actinomycetes from soils. *Applied microbiology*, **8**, 3, 174-178.
- SAUNDER D. H., 1959. — Laboratory incubation studies to determine rates of mineralisation of nitrogen and carbon in Rhodesian soils. *3^e Congr. Interafricain des Sols, Dalaba*, **1**, 501-511.
- SCHAEFER R., 1963. — L'activité déshydrogénasique comme mesure de l'activité biologique globale des sols. *Ann. Inst. Pasteur*, **105**, 326-331.
- SCHWARTZ D., 1964. — *Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes*. Ed. Médicales, Flammarion, Paris.
- TROCHAIN J., 1940. — *Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal*. Larose, Paris.
- VIRO P. J., 1963. — Factorial experiments on forest humus decomposition. *Soil Sci.*, **95**, 24-30.
- WINOGRADSKY S., 1949. — *Microbiologie du sol*. Masson, Paris.