(1)

O R S T O M

INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

Centre de Pointe-Noire (Rép. Pop. du Congo)

Etude des solutions du sol sous forêt dense équatoriale
Bilan d'un an de collecte à Dimonika (Mayombe, Congo)
Mars 1989 - Mars 1990

Alain MONIMEAU
Laboratoire de Pédologie

V.S.N.

AVRIL 1990

rapport ORSTOM

Congo Afrique · pédologie solution du sol forêt
sol ferrallitique chimie du sol · cation.
bougie poreuse.

ORSTOM Fonds Documentaire
N° : 34.816 ex 1
Cote : B M 74
21 OCT. 1991

INTRODUCTION

La composition chimique des solutions de sol a été étudiée dans deux parcelles de la forêt du Mayombe à proximité de Dimonika. Les sols sont des sols ferrallitiques moyennement à fortement désaturés formés sur des schistes et grès altérés.

Ce programme a été mis en place à partir de Mars 1989. Cette étude est originale par le fait que les solutions du sol ont été prélevées selon deux méthodes :

- la majorité des échantillons à l'aide de capteurs en céramique poreuse selon une périodicité de 15 jours ;
- l'autre partie représente des échantillons d'eau libre recueillis dans des fosses pédologiques selon un dispositif particulier.

Parallèlement, la pluviométrie ainsi que la composition chimique des eaux de pluie sous forêt ont été étudiées.

Ce programme constitue un des volets des travaux du laboratoire de Pédologie sur la dynamique des sols forestiers.

Chapitre I

MILIEU D'ETUDE

A. LE MAYOMBE

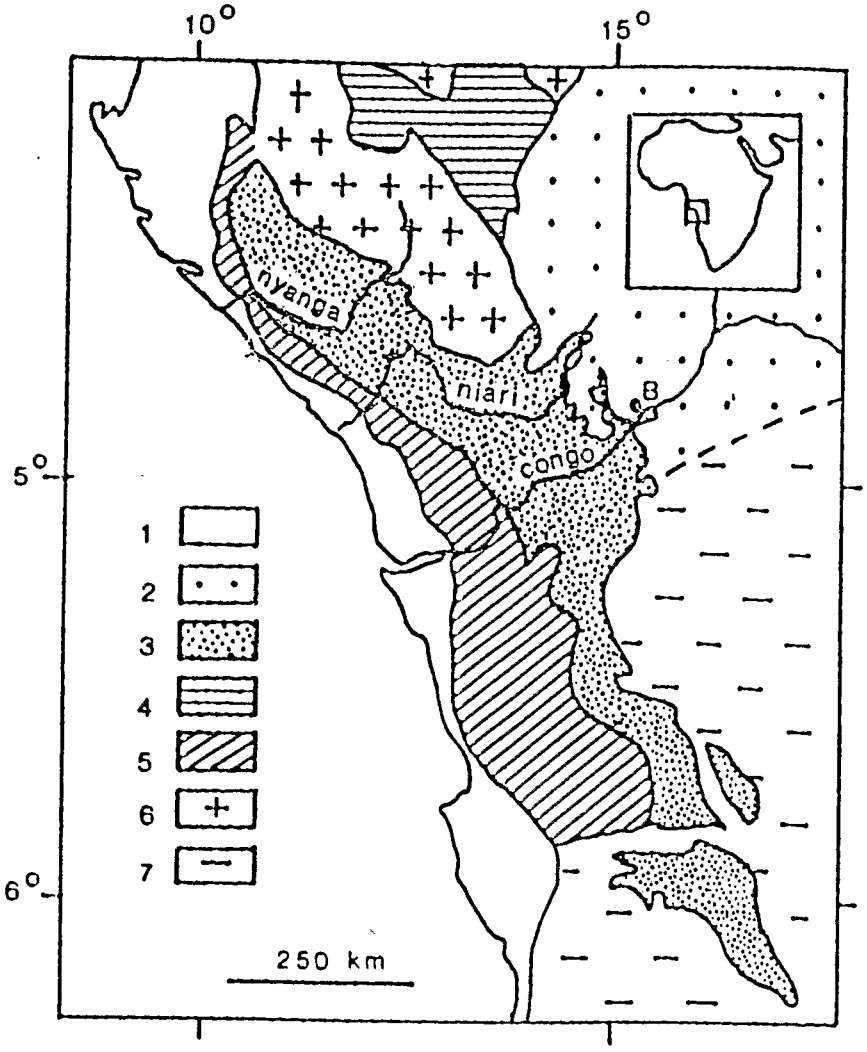
1. Géographie.

Le Mayombe est une chaîne de moyenne montagne (altitude max. 930 mètres) qui s'étend sur plus de 1000 km de long parallèlement à la côte depuis le Gabon jusqu'en Angola (figure 1). De direction nord-ouest/sud-est elle est étroite au Gabon puis s'élargit vers le sud ; au Congo sa largeur varie entre 30 et 60 km et la superficie atteint 2000 km2.

2. Géologie.

De façon schématique la région du Mayombe est constituée par 4 ensembles géologiques parallèles à la côte (figures 1 et 2). On distingue d'ouest en est :

- la plaine côtière, qui s'étend jusqu'aux premiers contreforts de la chaîne, est formée par des séries sédimentaires cretacés et pliopléistocènes. Les séries, constituées de grès et calcaires alternes reposent en discordance sur la chaîne
- l'axe mayombien proprement dit est composé de terrains métamorphiques et éruptifs précambiens on y distingue 7 séries . Notre zone d'étude est placée sur ces terraains. Cet axe est essentiellement formé de roches schisteuses et gréseuses, avec des inclusions variées telles les dolérites, gabbros, épidotites, amphibolites, diorites et granites.
- les séries d'avant pays de la chaîne âgées du Précambien supérieur et de nature épicontinentale, elles reposent en discordance sur l'axe mayombien et constituent les bassins de la Nyanga et du Niari, ainsi que le bassin de Franceville. On observe des séries schisto-gréseuses et schisto-calcaires.



1 : plaine côtière

2 : séries du Protérozoïque supérieur masquées par les terrains récents de la Cuvette congolaise

3 : séries du Protérozoïque supérieur de l'avant-pays

4 : bassin de Franceville

5 : axe mayombien

6 : socle du Chaillu

7 : socle du Kasaï le plus souvent masqué par les terrains récents de la Cuvette congolaise

FIGURE 1.- Le Mayombe

- Les socles du Chaillu et du Kasaï d'âge Archéen (plus de 2500 millions d'années) sur lesquels reposent en discordance les sédiments de la bordure orientale des bassins d'avant-pays.

3. Géomorphologie

Le Mayombe, d'origine précambrienne, a subi un rajeunissement assez récent sous la forme d'une réactivation au Miocène.

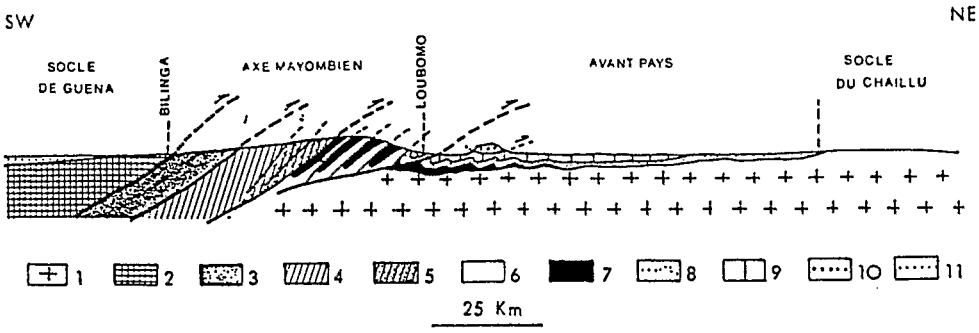
Ce soulèvement est la cause d'une érosion géologique importante conférant à la chaîne un aspect jeune : des pentes de 40 à 60 % (Jamet et Rieffel, 1976) sont fréquentes.

On observe une dissymétrie marquée entre les flancs ouest et est de la chaîne (figure 3). Sur le flanc occidental les crêtes et collines, plutôt basses, diminuent progressivement vers la plaine côtière ; le passage forêt-savane est progressif. A l'opposé sur le flanc oriental le contact forêt-savane est brutal. Les crêtes constituées de roches dures (grès, quartzites) sont plus hautes et les vallées, creusées dans les schistes, plus profondes. Ce paysage accidenté cède rapidement la place aux vallées de la Nyanga et du Niari.

4. Climat.

Le climat est de type bas-Congolais ; il est lié à la position géographique et à la proximité de la mer et plus spécifiquement au relief et à la couverture végétale.

Il comprend une saison des pluies de 7 à 8 mois (septembre - octobre à mai) et une saison sèche de 4 à 5 mois pendant laquelle les pluies sont rares mais cependant les brouillards sont abondants. L'humidité est mêmer plus élevée qu'en saison des pluies, (moyenne journalière 89% par rapport à 86 % en saison des pluies). Les températures moyennes mensuelles sont peu élevées (25-26°) avec un minimum en saison sèche (20-21°). La pluviométrie est très variable selon les années dans leur répartition mensuelle. En moyenne elle est de 1500 mm. D'un point de vue géographique, elle croît de l'ouest (1250 mm) jusqu'aux plus hautes crêtes



1 : socle du Chaillu
2 : socle de Guéna
3 : série de la Bikossi
4 : série de la Loukoula
5 : série de Mvouti
6 : série de la Moussouva
7 : Tillite inférieure
8 : série de la Louila (sud-ouest) et de la Bouenza (nord-est)
9 : Tillite supérieure et série schisto-calcaire
10 : série de la Mpioka
11 : couverture crétacée et tertiaire

FIGURE 2.- Coupe géologique schématique de la chaîne du Mayombe.

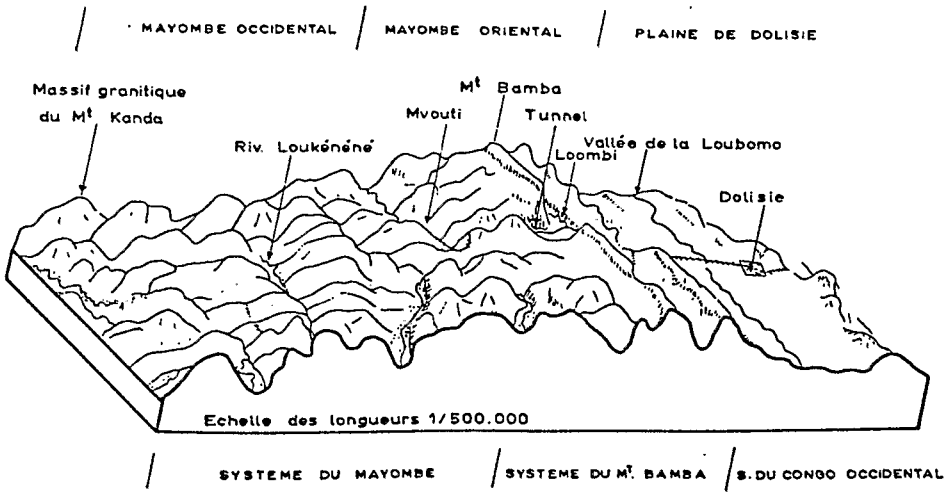


FIGURE 3.- Bloc diagramme du Mayombe (d'après Gras, 1970).

(1980 mm) et décroît vers Loubomo (1250 mm). Les crêtes étant la plupart perpendiculaires aux mouvements de l'atmosphère, la variabilité climatique locale est tout à fait normale.

5. Pédologie.

Les sols du Mayombe sont relativement variés. Deux facteurs sont la cause de cette variabilité :

- la topographie mouvementée :

Une forte érosion en bas de pente et sur des pentes fortes empêche le développement normal des sols. Ainsi la plupart des sols sont peu épais. La roche mère, altérée, apparaît souvent à moins de 1,5 m de la surface du sol. De plus, la profondeur utile des sols est souvent limitée par la présence d'une stone-line d'épaisseur variable. Sols rajeunis par l'érosion, sols remaniés et sols ferrallitiques typiques coexistent sans qu'il soit toujours facile de mettre en évidence les rapports entre la géomorphologie et leur répartition (Jamet et Rieffel, 1976).

- la nature de la roche mère :

Le Mayombe est constitué surtout par des schistes et des grès. Le métamorphisme ayant affecté les roches à des niveaux divers, entraîne donc une hétérogénéité des soubassements géologiques et aussi dans la distribution des sols. Des schistes faiblement métamorphisés ou chloriteux, avoisinent des roches plus marquées (micaschistes, chloritoschistes et paragneiss).

La plupart des sols sont des sols ferrallitiques plus ou moins désaturés et plus ou moins appauvris en argile. Tous ces sols sont chimiquement pauvres. Ils sont acides, le pH peut être très bas en surface (3,5).

La cartographie de ces sols s'avère difficile, en relation bien sûr avec les facteurs qui régissent leur distribution spatiale.

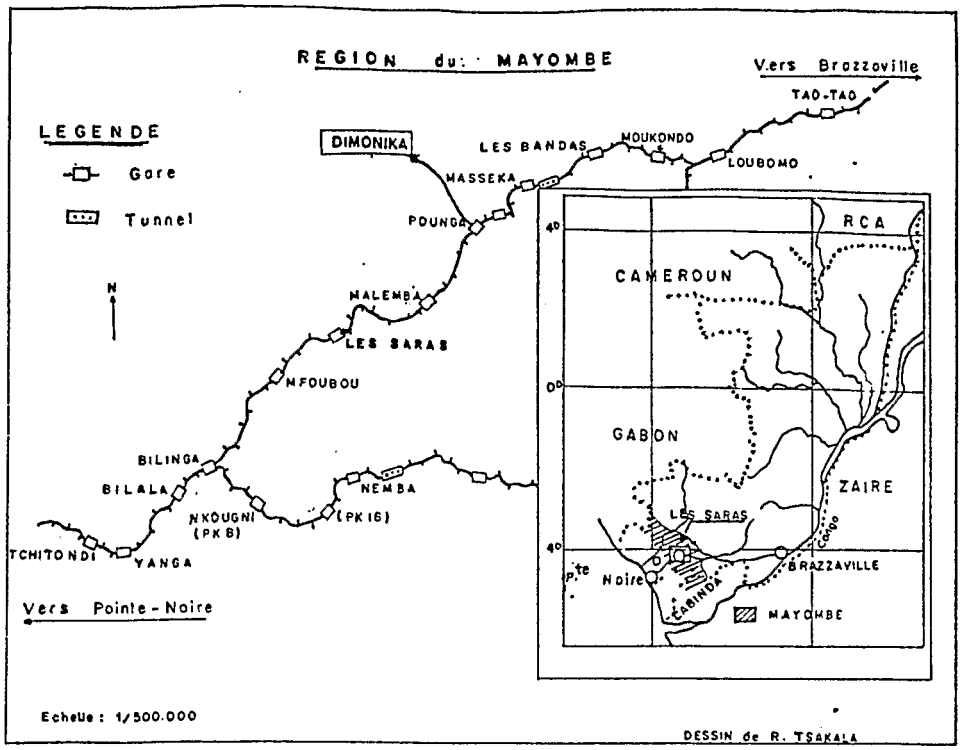


FIGURE 4.- Localisation de la zone d'étude.

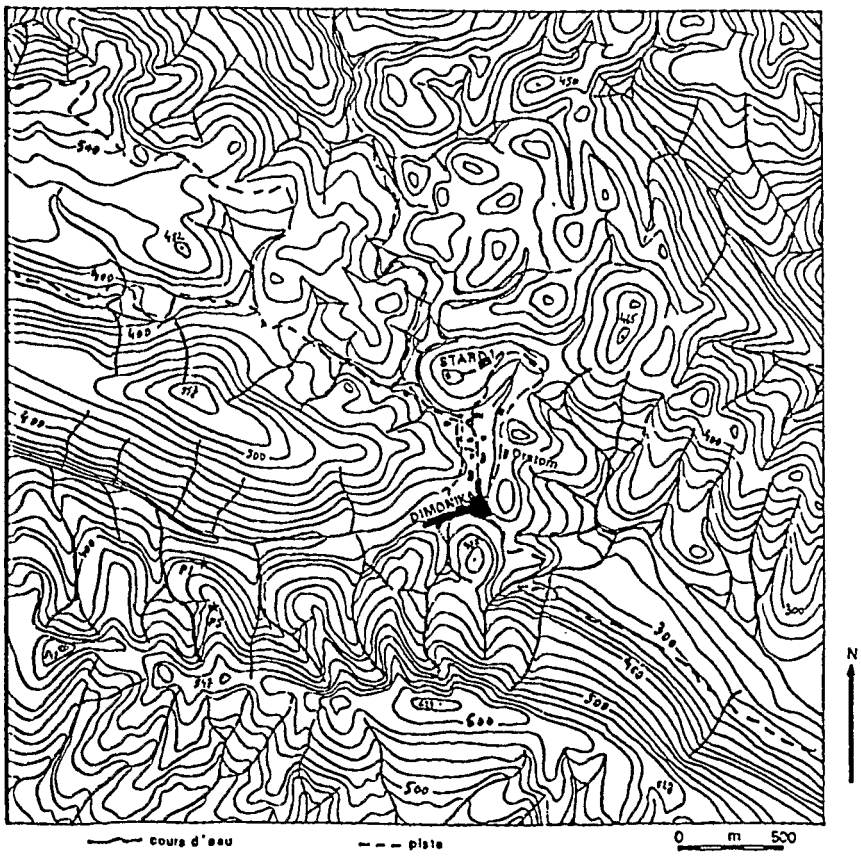


FIGURE 5.- La station de Dimonika : Localisation des Parcelles.

PI : Parcelle inférieure
PS : Parcelle supérieure

6. Végétation.

La forêt du Mayombe est quasiment dans sa totalité, de type dense humide (sempervirente). Cependant on trouve des espèces caducifoliées qui lui confèrent un caractère de transition. Schématiquement cette végétation est caractérisée par une forêt primaire ombrophile équatoriale et des forêts secondaires fréquentes le long des axes de communication.

B. DIMONIKA : LES PARCELLES EXPERIMENTALES.

1. Localisation.

La station de recherches de Dimonika, la STARDI, est située à 7 km de Pounga, gare la plus proche et 11 km de M'Vouti (fig. 4) sur le versant occidental du Mayombe non loin du Mont Bamba, point culminant. Le village de Dimonika se situe à une altitude de 360 m environ, encadré par des crêtes culminants entre 450 m et 627 m.

Les solutions de sol ont été étudiées sur 2 parcelles sous forêt ombrophile situées sur le même versant non loin du village (fig. 5). Une étude floristique a déjà été réalisée (De NAMUR) ; la production de litière est aussi étudiée sur ces terrains par D. SCHWARTZ depuis 1987. La parcelle du bas est située au 1/3 inférieur de la pente (PI) la 2e est située à l'aplomb (60 m au dessus) au tiers supérieur de la pente (P5).

2. Données pluviométriques.

Depuis 1979 la station météorologique de la STARDI enregistre les différents paramètres climatiques (T°, précipitation, ensoleillement, humidité, évaporation).

Afin d'assurer la fiabilité de notre étude, 6 pluviomètres ont été installées sur la parcelle inférieure. La moyenne est alors calculée, car la pluviométrie sous forêt est très variable, puis comparée au résultat obtenu au pluviomètre de la STARDI sous ciel ouvert. Il existe aussi des différences notables entre la pluviométrie sous forêt et sous ciel ouvert (fig. 6). Ainsi pour le mois de Mai, il y a 45 mm de différence entre les

Tableau I. Caractéristiques physico-chimiques des sols de Dimonika.
Parcelle inférieure.

Caractéristiques	Horizons (cm)		
	15-30	40-60	80-100
Granulométrie			
Argile	27,3	31,4	34,9
Limon fin	13,9	16,1	13,0
Limon grossier	9,4	9,0	8,4
Sable fin	27,8	25,3	23,0
Sable grossier	21,0	18,1	20,7
Matière organique			
M.O. %	1,83	1,03	0,60
Carbone %	1,06	0,60	0,35
Azote total %	0,10	0,07	0,05
C/N %	11	9	7
Complexe absorbant			
Ca meg/100 g	0,60	0,89	1,32
Mg	0,04	0,03	0,17
K	0,20	0,11	0,11
Na	0,31	0,29	0,24
BE = S	1,15	1,32	1,84
CEC = T	9,6	7,90	9,80
S/T	12,0	16,7	18,7
Acidité			
pH eau	3,2	4,2	4,3
pH Kcl	3,9	3,9	4,1

Tableau II. Caractéristiques physico-chimiques de sols de Dimonika.
Parcelle supérieure.

Caractéristiques	Horizons (cm)		
	15-30	40-60	80-100
Granulométrie			
Argile	43,40	42,10	41,5
Limon fin	9,50	11,30	11,9
Limon grossier	4,10	4,00	4,7
Sable fin	17,40	17,8	16,7
Sable grossier	25,50	24,8	25,2
Matière organique			
Matière organique	3,91	3,19	1,45
Carbone %	2,27	1,85	0,84
Azote total %	0,14	0,12	0,08
C/N %	16	15	10
Complexe absorbant			
Ca mg/100 g	0,92	1,35	1,75
Mg	0,08	0,08	0,15
K	0,11	0,06	0,06
Na	0,07	0,08	0,09
BE = S	1,18	1,57	2,05
CEC = T	16,10	11,50	6,0
S/T	7,3	13,6	34,2
Acidité			
pH eau	4,3	4,2	4,4
pH Kcl	4,1	4,0	4,2

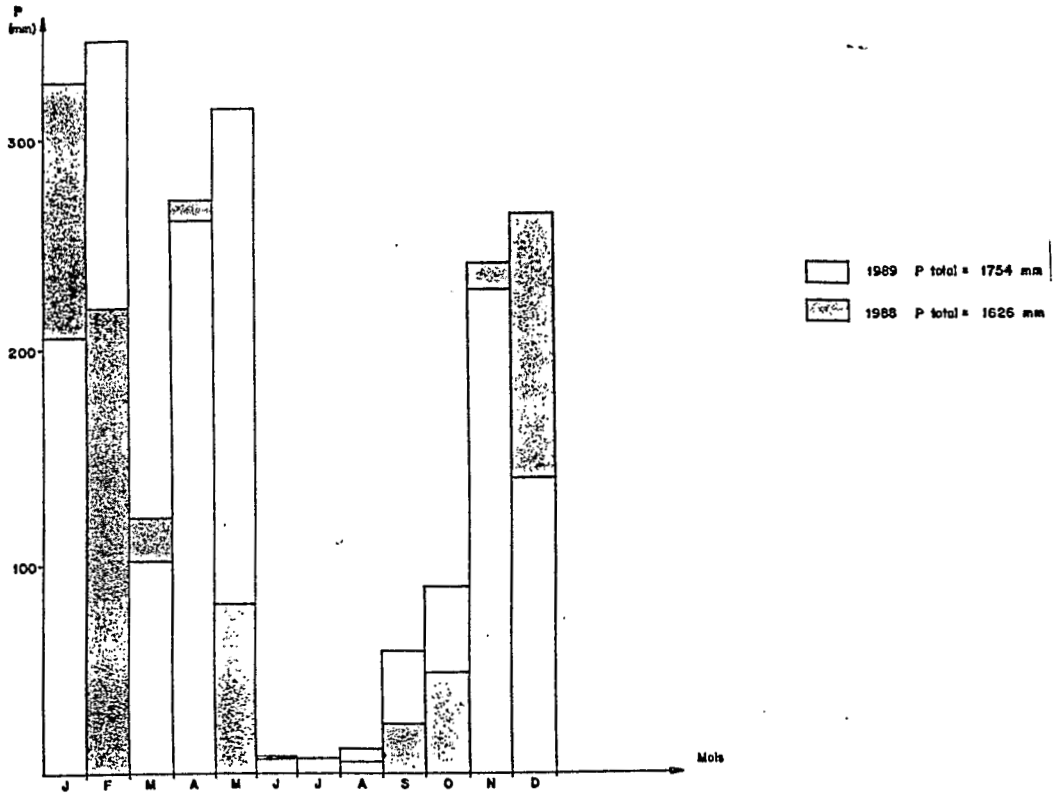


FIGURE 6.- Comparaison de la pluviométrie à Dimonika sous forêt et à la station STARDI sous ciel ouvert (1989).

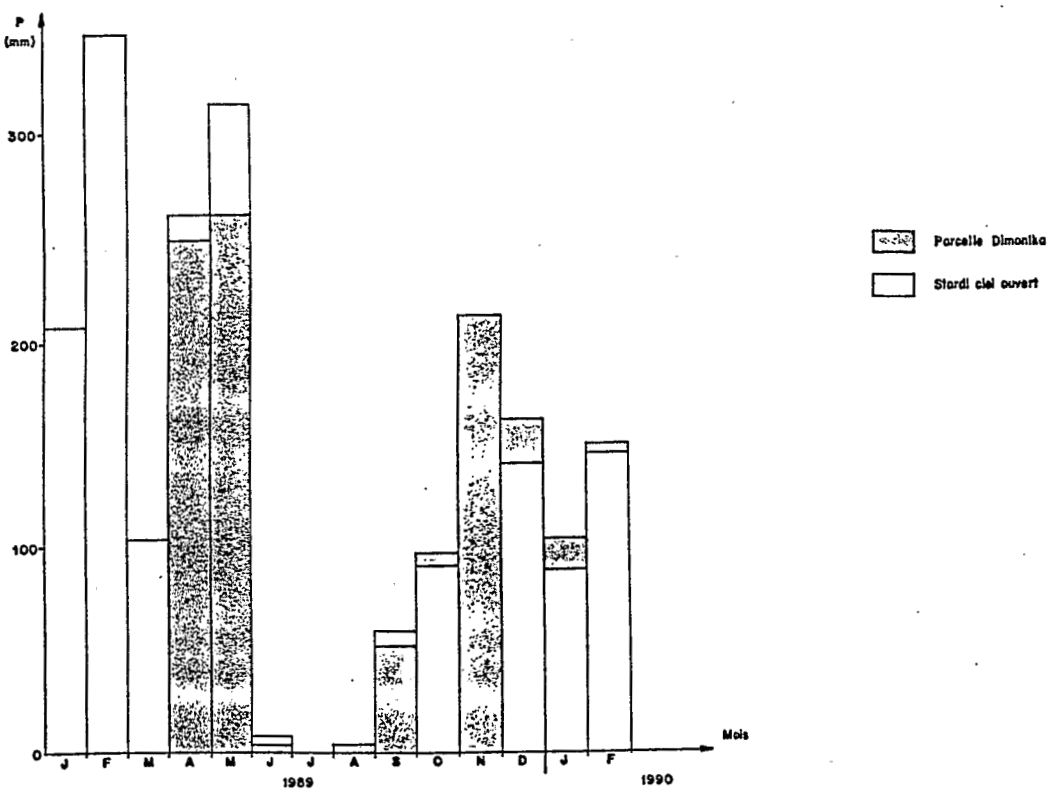


FIGURE 7.- Comparaison de la pluviométrie des années 1988 et 1989 (station STARDI).

deux résultats. La quantité d'éléments chimiques apportés par les eaux de pluie sera calculée à partir de la pluviométrie sous forêt.

Il est aussi important de souligner la variation de pluviométrie d'une année sur l'autre (fig. 7), il y a 72 mm d'écart entre 1988 et 1989. En 1988 le mois de Mai marquait le début de la saison sèche (82,4 mm) alors qu'en 1989 il y a eu 314,5 mm de précipitation soit un écart de 232 mm d'une année à l'autre ! La variabilité de la pluviométrie aura sans doute une influence sur l'évolution de la composition de la solution du sol au cours de l'année.

3. Pédologie.

Parcelle inférieure (tableau I).

Le sol de la parcelle inférieure est un sol jaune, dont la profondeur est limitée à 80 cm par la présence d'une stone-line comprenant des quartz, quartzites, plaquettes de schistes et grès quartzites allochtones. La ferrallitisation n'est pas complète ; il subsiste en effet dans le profil des minéraux primaires (micas blancs).

La litière, constituée de feuilles entières ou très peu fragmentées, est de faible épaisseur. L'horizon A1 n'a que 4 à 6 cm d'épaisseur. De 15 à 20 en surface, le C/N passe à 11 à 15 cm de profondeur. L'humus a une morphologie et des caractéristiques de mull forestier. Le taux de matière organique varie de 7 à 14 % dans l'horizon A1.

La couleur jaune du sol est sans doute liée à la présence de goethite en plus de l'hématite. Situé au tiers inférieur de la pente, le sol présente une humidité (mesurée chaque semaine) variant peu avec les saisons, ce qui peut expliquer la formation de la goethite.

La teneur en bases est faible, inférieure à 2 meq/100g. Le taux de saturation dans l'horizon B est inférieur à 30 %, et la capacité d'échange cationique inférieure à 10 meq/100g. On constate un léger appauvrissement en argile (indice d'appauvrissement : 1/1,28). La texture est de type argilo-sableuse jusqu'à 80 cm de profondeur, où le taux d'argile atteint 35 %. La structure du sol est bonne. Elle est de type polyédrique fine à microagrégé ("fluffy"). Une approche de l'humidité à la capacité de

rétention a été faite en mesurant l'humidité après un ressuyage de 48 heures succédant à la saturation du sol. Les mesures donnent 28 % à 30 cm de profondeur, 29 % à 50 cm et 24 % à 90 cm.

En résumé, il s'agit d'un sol ferrallitique fortement désaturé, remanié, légèrement appauvri, sur schistes.

Parcelle supérieure (tableau II).

Le sol de cette parcelle diffère sur plusieurs points du précédent. Tout d'abord il est de couleur rouge vive en relation avec la présence dominante d'hématite. Ce sol étant situé en haut de pente le drainage est important et le milieu est soumis à des contrastes d'humidité plus importants que dans la parcelle inférieure. Ceci explique la formation d'hématite qui cristallise rapidement dans des pédoclimats de ce type.

Ce sol est plus profond. L'horizon gravillonnaire n'est pas continu, seuls quelques éléments épars (grès quartzites en provenance des hautes crêtes voisines, quartz) la soulignent. La roche mère, ferruginisée, est constituée, semble-t-il, par les schistes sériciteux de la série de M'Vouti. On la trouve vers 200 cm de profondeur.

La litière fait plus de 5 cm d'épaisseur, avec des feuilles progressivement fragmentées. De nombreuses racines ramifiées constituent un important chevelu racinaire en surface du sol, voire immédiatement sous les feuilles les plus récentes. Cet humus a une morphologie de dysmoder. De 20-25 en surface, le C/N passe à 16 vers 15 cm de profondeur. Le taux de matière organique varie de 17 à 35 % dans l'horizon A1.

La texture est de type argilo-sableuse ; le taux d'argile dépasse 40 %. Il n'y a pas d'appauvrisement, contrairement au sol précédent. La structure est également de type microagrégée à polyédrique fine ("fluffy"). La capacité de rétention en eau, mesurée dans les mêmes conditions que pour la parcelle précédente, est de 44 % à 30 et 50 cm de profondeur, de 32 % à 90 cm. Ces différences sont sans doute liées à une plus grande richesse en matière organique.

La teneur en bases échangeables est inférieure à 2 meq/100g. Dans la partie supérieure du sol la capacité d'échange cationique est assez importante (15 meq/100g à 15 cm de profondeur), liée à la richesse en matière organique. Il en suit un taux de saturation faible. Cependant, dans les horizons B ce taux de saturation est plus élevé, et permet de classer ce sol en sol ferrallitique moyennement désaturé, humifère, sur schistes.

Chapitre II.

MATERIEL ET METHODES

Les parcelles sont équipées de plusieurs dispositifs permettant :

- de recueillir les eaux de pluie sous forêt afin de quantifier l'apport en éléments minéraux par l'atmosphère ;
- de prélever les solutions de sol, aussi bien l'eau libre de drainage que la solution "retenue" par le sol ;
- de connaître l'humidité du sol pendant les périodes de prélèvement des solutions.

A. PRELEVEMENT DES EAUX DE PLUIES SOUS FORET.

On appelle ces eaux de pluie pluviolessivats car les gouttes d'eau tombent d'abord sur les feuilles et s'enrichissent à leur contact.

1. Matériel.

Un appareil a été installé sur chaque parcelle (fig. 8). Monté sur un pied d'1,50 mètres, il est constitué par une surface de réception de 400 cm2 en dessous de laquelle est fixé un flacon de prélèvement. Cette surface de réception des eaux de pluie est fermée par un couvercle. Un cône de réception au fond duquel est placé un contact électrique relié à une batterie permet l'ouverture de l'appareil dès les premières gouttes. Le dispositif est relié à une gouttière de 10 m de long afin de prélever un échantillon moyen.

2. Prélèvements et analyses.

On procède à un prélèvement par semaine maximum sur les deux parcelles. Les appareils équipés de batteries pour le système d'ouverture

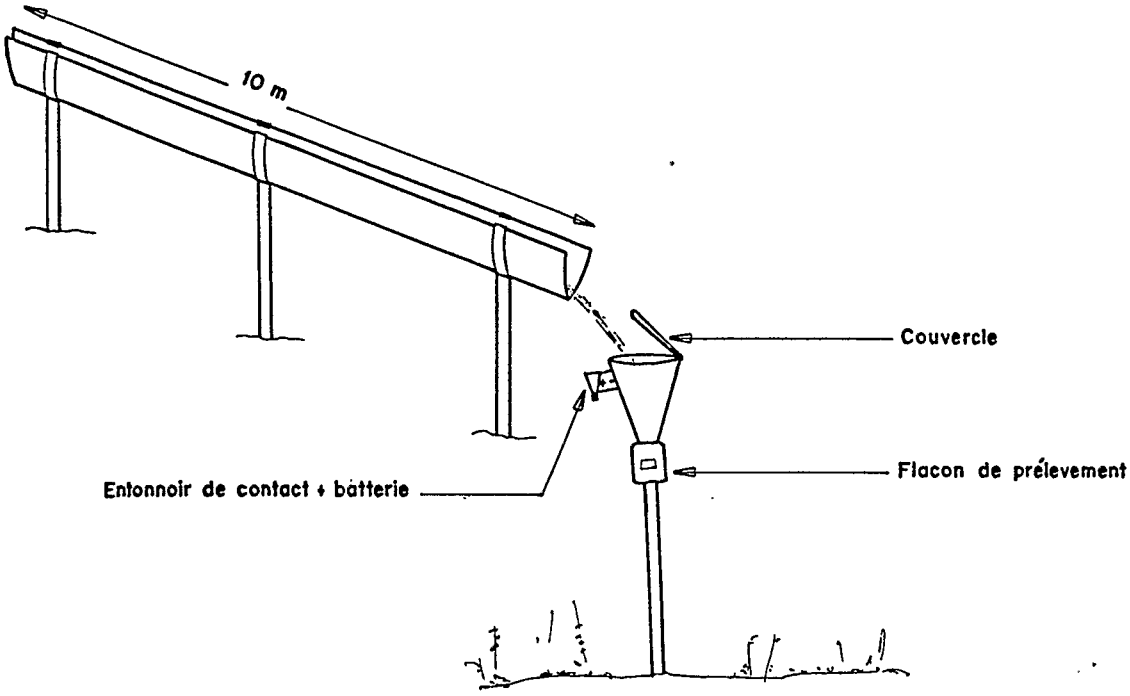


FIGURE 8.- Dispositif de prélèvement des pluviolessivats.

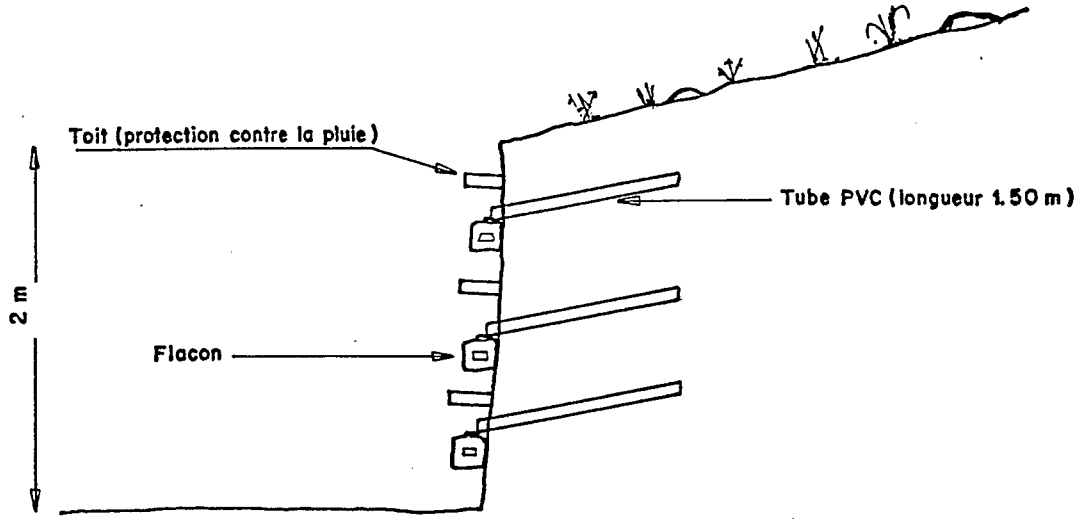


FIGURE 9.- Fosse de prélèvement de l'eau libre, vue de profil.

montrent une trop grande sensibilité à l'humidité ce qui empêche parfois le bon fonctionnement du système.

Après une filtration lente on analyse les solutions. Chaque prélèvement fait l'objet d'un dosage des cations (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, Na^+) et aussi des nitrates (NO_3^-). Ca^{2+} et Mg^{2+} sont dosés par absorption atomique, K^+ et Na^+ en émission de flamme sur le spectromètre GBC. NO_3^- est dosé par colorimétrie à l'acide phénoldisulfonique. Une fois analysés les échantillons sont conservés au refrigérateur pour d'éventuels contrôles.

B. DISPOSITIF DE MESURE ET PRELEVEMENT DES SOLUTIONS DE SOL.

1. Prélèvement de l'eau libre.

Une fosse large de 2 m sur 1,50 m et profonde jusqu'à 2,50 m a été respectivement creusée dans chaque parcelle (fig. 7).

Après forage à la tarière parallèlement à la pente du sol, des tubes PVC coupés en 2 dans leur longueur (1,50 m) ont été placés pour recueillir l'eau de drainage oblique et vertical circulant à travers les macropores. Trois tubes ont été installés dans chaque fosse à 15-25 cm de profondeur, 50-60 et 90-100 cm. (Les trous faisant presque 10 cm de diamètre). Ce dispositif bien que sommaire par rapport à un lysimètre (plus difficile à installer) a permis de prélever plusieurs échantillons d'eau libre (31 échantillons).

Parallèlement aux eaux de pluie les cations et nitrates vont être dosés par spectrométrie et colorimétrie. Les échantillons d'eau libre sont prélevés en continu dans la mesure où le sol est suffisamment saturé en eau.

2. Prélèvement de la solution du sol par bougies poreuses.

2.1. Dispositif expérimental, préparation.

Le matériel retenu correspond à des capteurs de solution du sol Nardeux DTS 2000.

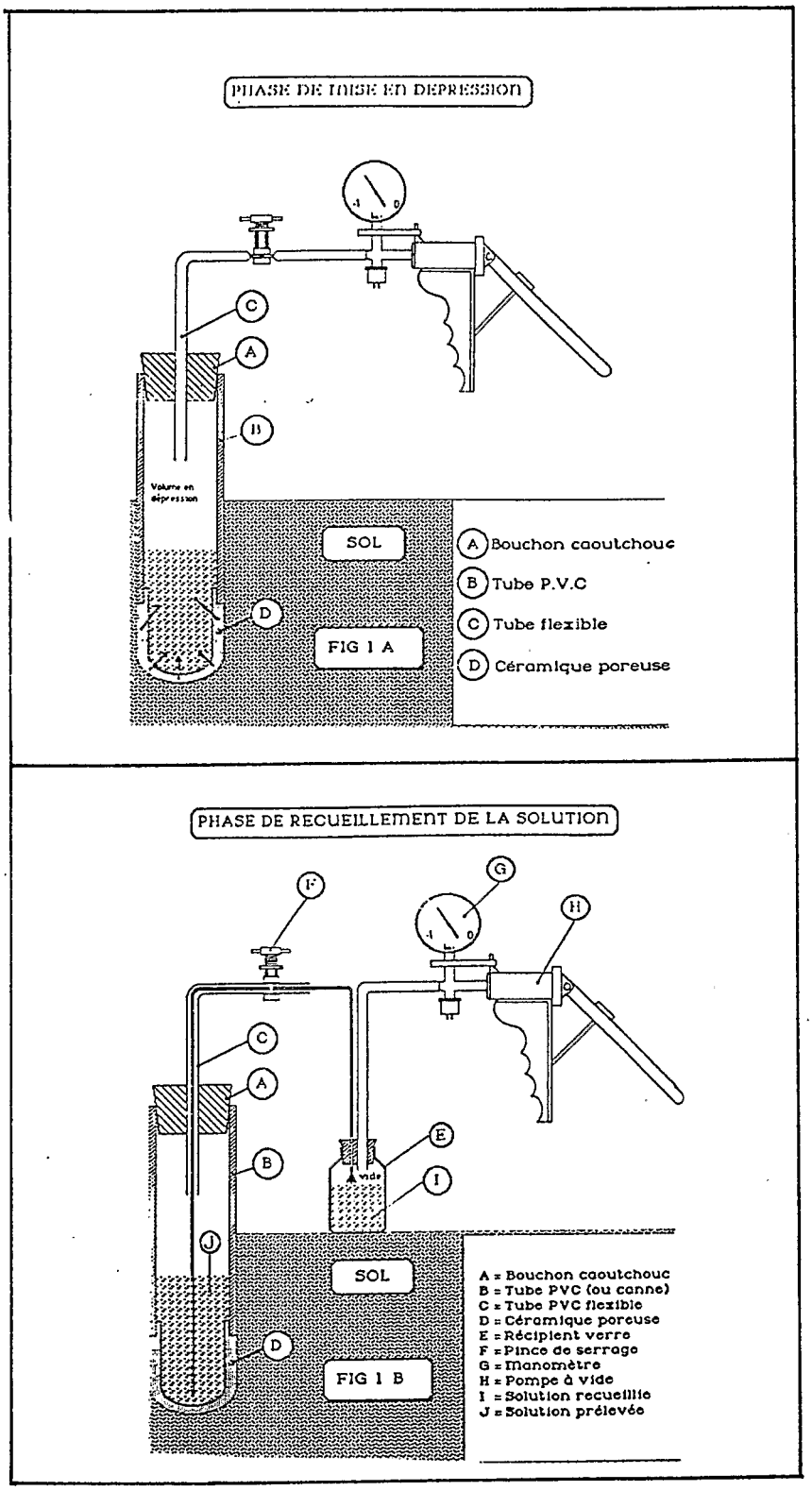


FIGURE 10.- Méthode de prélèvement de la solution du sol par bougie poreuse.

Une cellule poreuse en céramique (micropores 1 à 5 um) est collée, de façon étanche sur un tube en PVC. Nous appelerons ces capteurs bougies poreuses pour plus de simplicité. Avant l'installation sur le terrain, il est nécessaire tout d'abord de laver la céramique avec de l'acide dilué puis ensuite de la saturer afin qu'elle devienne étanche à l'air. Ce dégazage se fait selon plusieurs étapes.

- Il faut d'abord tremper les bougies dans un récipient contenant de l'eau distillée ou déminéralisée. Par capillarité l'eau pénètre dans la bougie. On vide alors la bougie et on achève le dégazage en exerçant une dépression à l'intérieur de la bougie ou canne.
- On laisse la bougie dans l'eau jusqu'à sa pose sur le terrain.

2.2. Installation sur le terrain, prélèvements.

Sur les 2 parcelles 23 bougies au total ont été installées (1 bougie ayant été cassée).

. 11 dans la parcelle inférieure
. 12 dans la parcelle supérieure.

On répartit les bougies sur 3 profondeurs (30 cm, 60 cm, 90 cm) avec 4 bougies par niveau. En ce qui concerne la parcelle inférieure, il n'y a que 3 capteurs à 60 cm de profondeur. On creuse un trou de diamètre légèrement inférieur à celui de la céramique ; dans le cas présent, on a utilisé une tarière de 60 mm. La bougie est ensuite enfoncée en force afin d'assurer une bonne cohésion sol-bougie pour éviter les écoulements préférentiels le long de tube des eaux de la surface qui fausseraient les résultats.

Les bougies sont ensuite mises en dépression l'après-midi du jour précédent le prélèvement. Au moyen d'une pompe à vide on exerce une dépression d'au moins 800 millibars. Le vide créé dans la bougie va forcer la solution du sol à pénétrer à travers les pores de la céramique.

On procède au prélèvement de la solution 24 heures plus tard (fig. 10). On introduit un tube capillaire jusqu'au fond de la céramique et avec la pompe à vide on exerce une dépression afin de recueillir la solution. Les échantillons sont gardés au frais puis ramenés le plus vite

possible au laboratoire pour être analysés comme vu précédemment. Les prélèvements sont réalisés tous les 15 jours pour des raisons pratiques (la distance des parcelles par rapport au Centre ORSTOM, 150 km). En saison sèche il est nécessaire de maintenir la dépression de 800 millibars pendant 48 à 72 heures avant d'effectuer le prélèvement.

Remarque : Type d'eau prélevée.

Quelle que soit l'humidité du sol on soumet la bougie à une dépression constante de 800 millibars, soit l'équivalent d'un potentiel capillaire (pF) de 2,9. L'eau libre est aussi prélevée, bien sûr, ainsi qu'une partie de l'eau liée, retenue par le sol, qui correspond à une partie de la réserve facilement utilisable. Avec une telle dépression les liens capillaires ne sont pas rompus selon les valeurs du modèle reconnu :

pF	Dépression mbars	Eau
1,0	-10	- Capacité max. de rétention
1,8	-63	- Capacité au champ
2,5	-320	- Capacité de rétention
3,4	- 2500	- Rupture des liens capillaires
4,2	- 15000	- Point de flétrissement
4,7	- 50000	- Eau hygroscopique.

C. HUMIDITE DU SOL

Parallèlement aux prélèvements de solution des mesures d'humidité de sol ont été faites hebdomadairement dans les deux parcelles. Ces mesures d'humidité sont réalisées à partir de prélèvements de sol à la tarière ce qui implique de changer de place à chaque fois et empêche une évolution du stock d'eau. Une sonde à neutrons permettrait le calcul du bilan hydrique.

Néanmoins ces mesures sont utiles car elles pourront être correlées avec la pluviométrie afin d'estimer la vitesse d'infiltration de l'eau. Les taux d'humidité nous permettront de comprendre le bon fonctionnement des bougies poreuses et des tubes PVC recueillant l'eau libre.

Chapitre III

RESULTATS ET DISCUSSION

A. HUMIDITE DU SOL (fig. 11 et 12).

1. Evolution de l'humidité.

Les courbes d'humidité montrent bien la distinction saison des pluies - saison sèche. La saison sèche est ressentie au niveau du sol vers le 28 juin, décalée de 20 jours par rapport à la pluviométrie. Même en pleine saison sèche les taux sont très rarement inférieurs à 10 %.

La saison des pluies débute progressivement vers la mi-septembre ; au niveau du sol elle commence 10 jours plus tard. L'augmentation est brutale, surtout dans la parcelle supérieure, où le drainage est important. Ceci confirme le fait que le ruissellement sous forêt est quasiment nul.

Les sols des deux parcelles montrent des comportements hydriques légèrement différents. Les courbes d'humidité de la parcelle inférieure sont plus "resserrées" entre elles, et fluctuent moins que celles de la parcelle supérieure.

La courbe 0-10 cm de la parcelle supérieure montre aussi de grandes variations : valeurs très élevées (80-75 %) en saison des pluies et basses en saison sèche (20 %).

Cela s'explique par l'existence d'une litière épaisse, le taux élevé en matière organique est responsable d'une grande capacité de rétention (44 % PS et 29 % PI à 40-50 cm). La forte décroissance du taux en saison sèche est dûe à la position topographique du sol : étant placé dans le tiers supérieur de la pente le drainage est meilleur par rapport à la parcelle inférieure où les apports obliques sont importants. Cependant, quelle que soit la parcelle les courbes à différentes profondeur montrent les mêmes formes. Les variations sont néanmoins amorties avec la profondeur.

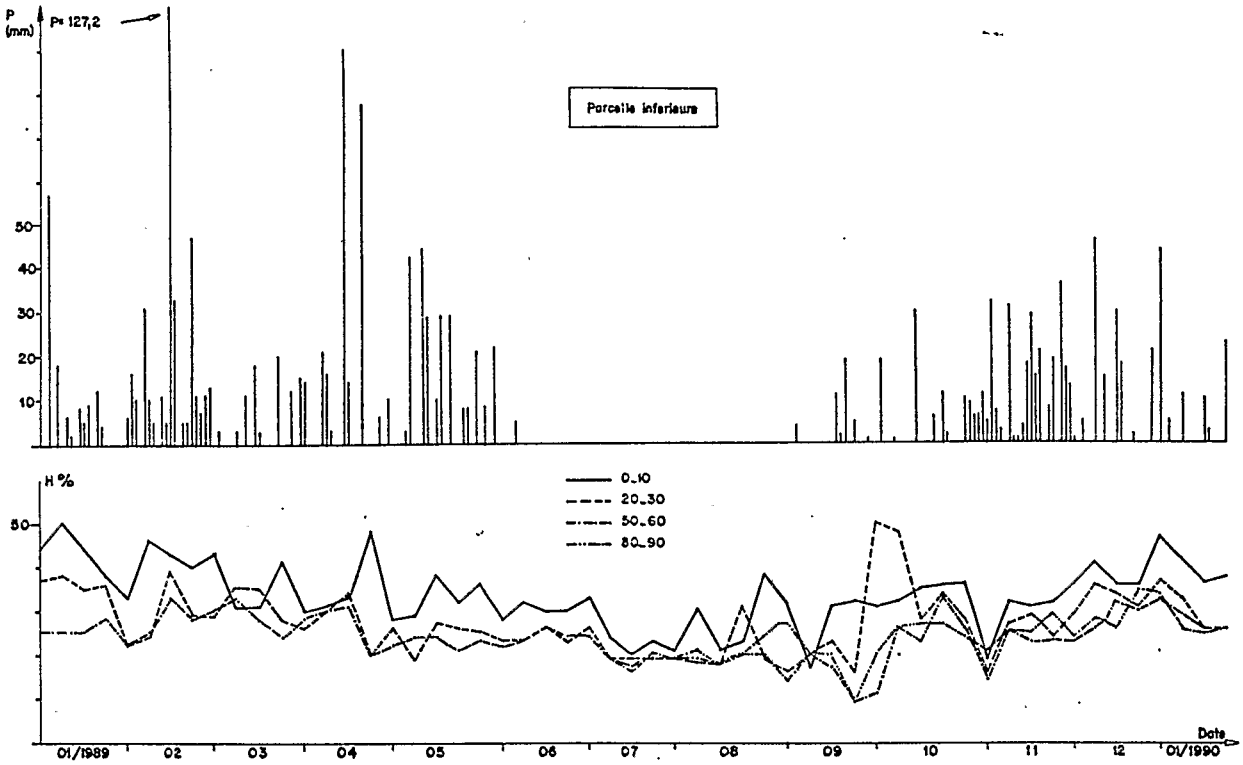


FIGURE 11.- Corrélation entre humidité du sol et pluviométrie journalière (parcelle inférieure).

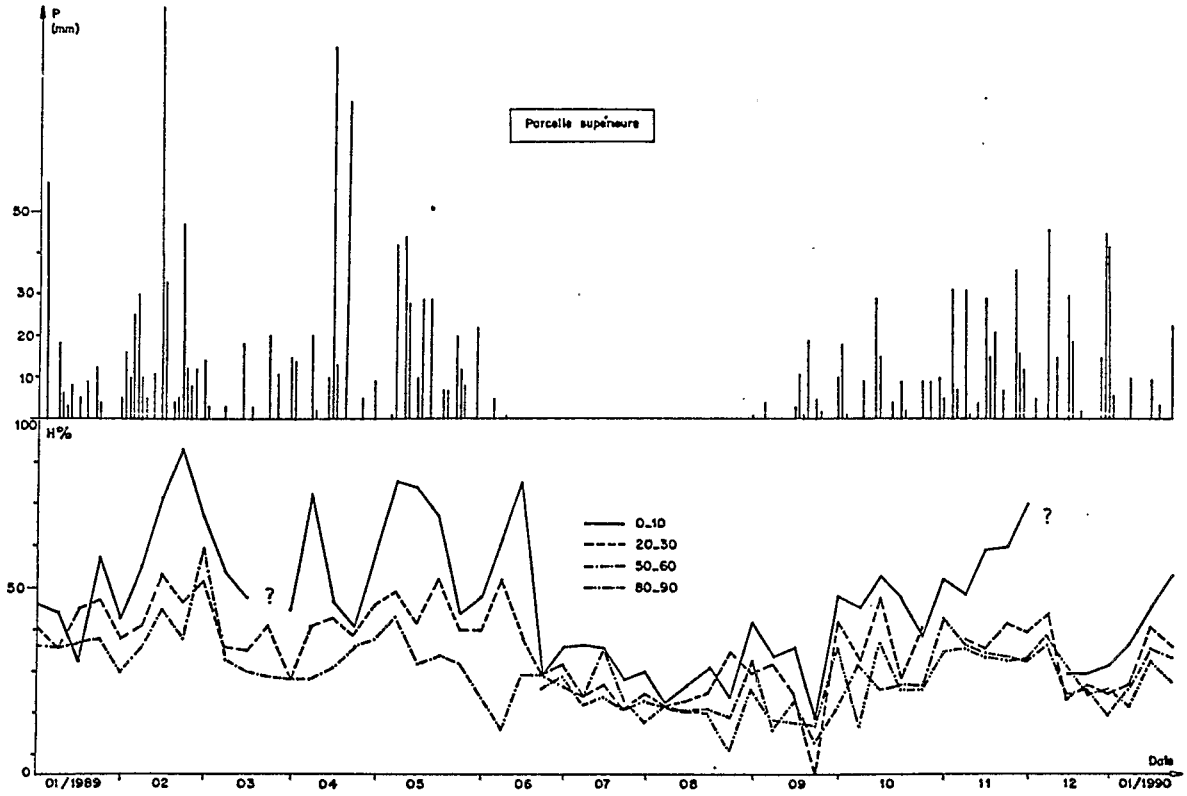


FIGURE 12.- Corrélation entre humidité du sol et pluviométrie journalière (parcelle supérieure).

2. Corrélation humidité - prélèvements.

En ce qui concerne le prélèvement par bougies poreuses, il est important de noter que des solutions ont été recueillies à une profondeur de 80 cm jusqu'au 13 août, c'est à dire en pleine saison sèche (64 jours sans précipitation). A cette profondeur l'humidité pondérale est alors de 20 %. La dépression exercée était toujours de 800 mbars, mais a duré 72 heures au lieu de 24 heures. Au mois de septembre aucun prélèvement n'a pu être effectué ; les sols des deux parcelles voient leur humidité diminuer jusqu'à 10 %. Des solutions peuvent être de nouveau recueillies début octobre sur les 60 premiers centimètres du sol.

Les prélèvements d'eau libre ou de drainage sont, bien sûr, moins fréquents et ne couvrent pas les mêmes périodes. A partir du mois de juin ce type de solution ne peut plus être recueillie : il n'y a plus d'eau libre dans le sol même si l'humidité est encore forte (30 %).

Dès le retour des pluies, même de faible intensité (le 19 septembre), des eaux libres sont prélevées alors que l'humidité du sol n'atteint pas 20 %. En effet, pour une même valeur d'humidité, les forces de rétention (le pF) d'un sol qui s'humidifie sont moins fortes que pour un sol qui s'assèche. On peut remarquer aussi que l'eau libre est très rarement recueillie en dessous de 50 cm de profondeur. Il faut toutefois souligner que le système de prélèvement est rudimentaire et que le nombre de tubes est insuffisant.

B. APPORTS MINERAUX PAR LES PLUVIOLESSIVATS (tableau III).

Ces résultats sont à prendre avec réserve car ils sont déduits d'un nombre d'échantillons peu élevé. On observe de fortes teneurs en K+ et Na+ que l'on peut comparer avec les teneurs d'eau de pluie citées par SARAGONI et POSS (1988) :

Dimonika	SARAGONI POSS
(K+) = 2,30 mg/l	(K+) = 0,69 mg/l
(Na+) = 2,90 mg/l	(Na+) = 0,30 mg/l

Eléments	Ca	Mg	K	Na	NO3
Teneurs (mg/l)	0,6	0,2	2,3	2,9	0,38
Apports minéraux (kg/ha/an)	10,4	3,3	38,5	48,1	6,3

Tableau III. Teneurs et apports minéraux par les pluviolessivats (Année 1989 - 1673 mm).

Prof.	Parcelle	Ca2+	Mg2+	K+	Na+	NO3-
15-30 cm	bas	0,33	0,47	0,07	0,14	0,07
	haut	0,34	0,53	0,05	0,13	0,10
40-60 cm	bas	0,40	0,27	0,06	0,15	0,03
	haut	0,51	0,86	0,04	0,04	0,08
80-100 cm	bas	0,73	0,70	0,07	0,20	0,04
	haut	0,90	0,63	0,04	0,18	0,10

Tableau IV. Teneur moyenne en éléments minéraux de la solution prélevée par bougies poreuses (teneurs en meq/l).

Cet enrichissement en K+ est sans doute dû à la végétation mais celui en Na+ est plus difficilement explicable.

C. CONCENTRATION DES SOLUTIONS PRELEVEES.

1. Concentrations moyennes

Le nombre d'échantillons d'eau libre (notés PVC) est trop faible pour donner une interprétation fiable. Néanmoins ils donnent une indication.

Les teneurs moyennes des solutions prélevées par bougies poreuses montrent pour la plupart des éléments et quelle que soit la parcelle une augmentation avec la profondeur. Seul le K+ et à un degré moindre le Na+ ont des teneurs constantes. Ils sont à priori peu lessivés par rapport au Ca2+ et Mg2+. Les teneurs de ces derniers éléments sont largement supérieures à celles en K+, Na+ et NO3- (tableau IV).

La parcelle du haut est plus riche en Ca2+ et Mg2+ et NO3- que celle du bas. En ce qui concerne les nitrates l'explication réside dans la différence d'humus (dysmoder dans la parcelle du haut et mull dans la parcelle du bas).

On a essayé de comparer les teneurs en éléments des eaux libres (PVC) aux solutions prélevées par bougies poreuses (BP) (tableaux V et VI).

Quelle que soit la parcelle, les eaux libres ont des teneurs en éléments minéraux très largement supérieures à celles des solutions par bougies. De plus ces teneurs augmentent avec la profondeur, surtout Ca2+ et Mg2+. Même Na+ (parcelle bas) et K+ (parcelle haut) ont des teneurs croissantes avec la profondeur.

Ceci met en évidence un lessivage des bases, en particulier du du Ca2+ et Mg2+, ce qui est surprenant.

La parcelle inférieure montre des teneurs en Mg2+, K+ et surtout NO3- supérieures à celle de la parcelle du haut. Les schistes sont plus altérés dans cette parcelle en raison de l'accumulation des eaux de pluie en bas de pente. Les fortes teneurs en magnésium et potassium sont

Prof.	Méthode	Ca2+	Mg2+	K+	Na+	NO3-
15-30 cm	PVC	0,68	0,49	0,58	0,27	0,53
	BP	0,39	0,47	0,17	0,14	0,07
40-60 cm	PVC	0,67	0,46	0,60	0,24	0,80
	BP	0,40	0,27	0.06	0,15	0,03
80-100 cm	PVC	2,09	0,68	0,56	0,45	0,80
	BP	0,73	0,70	0,07	0,20	0,04

Tableau V. Comparaison de la composition de eau libre (PVC) par rapport à la solution prélevée par bougies poreuses (BP) (teneurs en meq/l). Parcelle inférieure.

Prof.	Méthode	Ca2+	Mg2+	K+	Na+	NO3-
15-30 cm	PVC	0,41	0,06	0,19	0,21	0,09
	BP	0,34	0,53	0,05	0,13	0,10
40-60 cm	PVC	0,41	0,05	0,29	0,16	0,16
	BP	0,51	0,86	0,04	0,14	0,08
80-100 cm	PV	1,72	0,34	0,41	-	-
	BP	0,96	0,63	0,14	0,08	0,10

Tableau VI. Comparaison de la composition de l'eau libre (PVC) par rapport aux solutions prélevés par bougies poreuses (BP) (teneurs en meq/l). Parcelle supérieure.

sans doute liées à cette altération plus poussée. Quant aux nitrates, la teneur est 5 fois supérieure à celle de la parcelle du haut. Ceci semble lié à la différence d'humus, et à l'activité minéralisatrice de la matière organique plus importante en bas. Il y a un lessivage important des nitrates dans la parcelle du bas.

2. Evolution saisonnière des moyennes et de la variabilité des teneurs de la solution du sol (tableaux VII, VII bis).

En saison des pluies il y a une plus grande dilution des éléments, donc une plus faible concentration. Cette baisse de la teneur avec la pluviométrie est nette pour le calcium, le magnésium et à un degré moindre pour le sodium, phénomène constaté aux 3 profondeurs. Le potassium ne montre aucune réponse vis à vis de la pluviométrie.

La variabilité, estimée à travers l'écart type, est moins importante en saison des pluies qu'en saison sèche, ceci pour tous les éléments. La variabilité est forte en surface en raison de l'hétérogénéité du milieu dûe aux racines. Elle devient plus faible dans l'horizon moyen et augmente à nouveau vers 80-100. Ceci est sans doute lié à la roche mère qui entraine une hétérogénéité. Ces fluctuations d'écart type sont surtout visibles pour le calcium et magnésium.

3. Evolution saisonnière des teneurs en éléments minéraux dans la solution du sol.

a)Solutions prélevées par bougies poreuses (fig. 13, 14, 15).

Les courbes de teneur montrent des analogies en ce qui concerne les cations. Les premières valeurs du mois de mai sont certainement faussées par l'installation récente des bougies : les concentrations de ce mois semblent trop élevées par rapport au mois de septembre alors que la pluviométrie est la même. Au mois de juin, c'est à dire juste avant la saison sèche,la concentration augmente fortement mais baisse ensuite brutalement début juillet

Parcelle	Prof.	Ca2+				Mg2+				NO3-			
		SS		SP		SS		SP		SS		SP	
		M	6	M	6	M	6	M	6	M	6	M	6
PI	15-30	0,80	0,31	0,24	0,08	0,55	0,38	0,40	0,24	0,27	0,05	0,18	0,05
	40-60	0,86	0,13	0,25	0,03	0,37	0,21	0,23	0,08	0,03	0,01	0,03	0,01
	80-100	1,23	0,42	0,53	0,11	1,20	0,51	0,54	0,36	0,07	0,03	0,03	0,01
PS	15-30	0,53	0,17	0,29	0,14	0,57	0,22	0,50	0,32	0?06	0,06	0,06	0,04
	40-60	0,76	0,30	0,44	0,09	0,14	0,42	0,80	0,17	0,24	0,10	0,05	0,01
	80-100	1,48	0,24	0,68	0,19	0,74	0,57	0,57	0,34	0,16	0,05	0,08	0,03

TABLEAU VII.- Evolution saisonnière de la moyenne (M) et de la variabilité (6 = écart type) de la teneur en Ca2+, Mg2+ et NO3- de la solution prélevée (en meq/l). SS = saison sèche ; SP = saison des pluies.

Parcelle	Prof.	K+				Na+			
		SS		SP		SS		SP	
		M	6	M	6	M	6	M	6
PI	15-30	0,07	0,01	0,07	0,02	0,22	0,07	0,11	0,04
	40-60	0,07	0,04	0,05	0,01	0,28	0,07	0,11	0,03
	80-100	0,06	0,08	0,07	0,02	0,27	0,05	0,18	0,05
PS	15-30	0,06	0,03	0,05	0,01	0,15	0,03	0,13	0,05
	40-60	0,06	0,04	0,04	0,01	0,18	0,10	0,13	0,03
	80-100	0,05	0,01	0,04	0,01	0,20	0,06	0,17	0,04

TABLEAU VIIbis.- Evolution saisonnière de la moyenne et de la variabilité de la teneur en K+, Na+ des solutions prélevées (en meq/l). SS = saison sèche ; SP = saison des pluies.

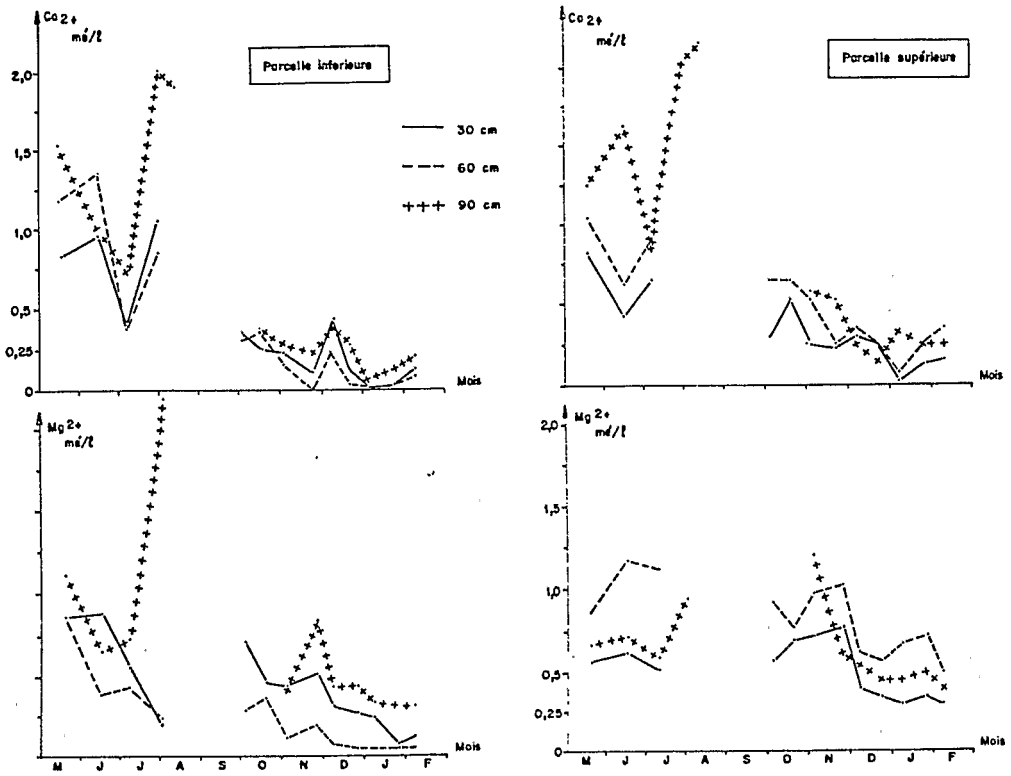


FIGURE 13.- Evolution des teneurs en Ca2+ et Mg2+ de la solution du sol.

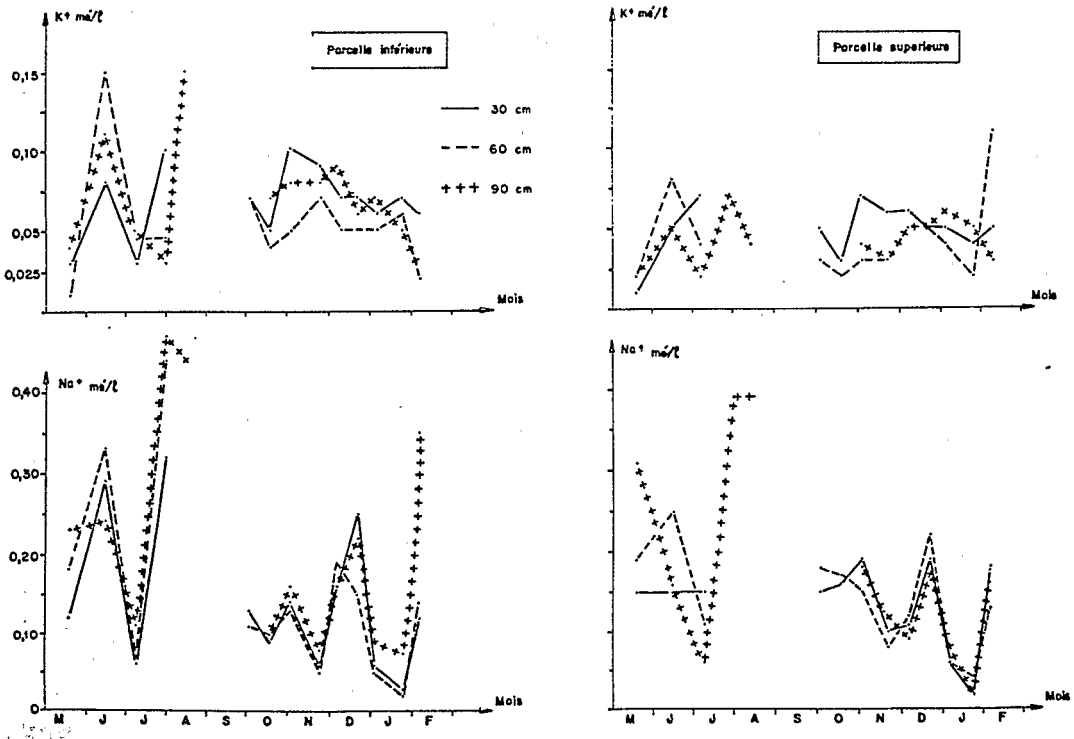


FIGURE 14.- Evolution des teneurs en K+ et Na+ de la solution du sol.

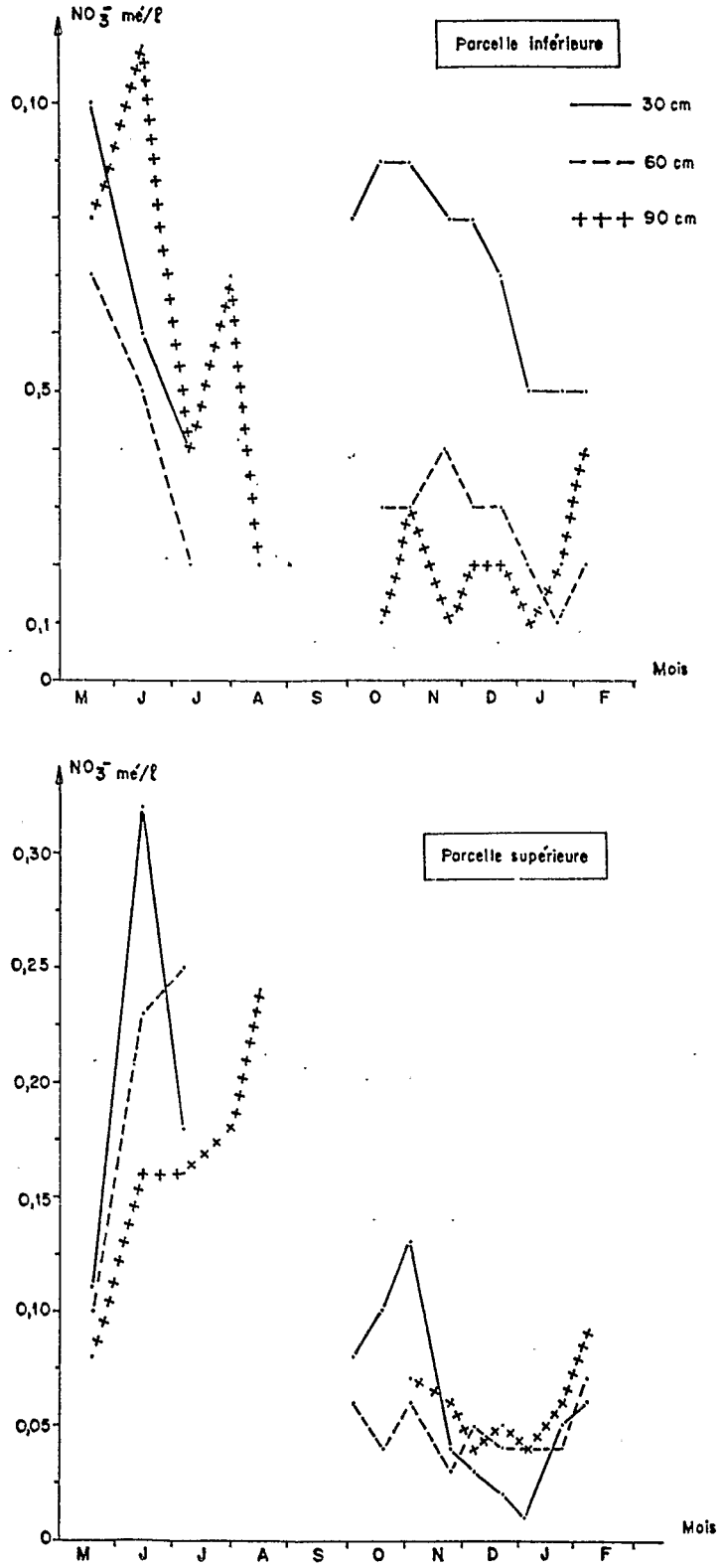


FIGURE 15.- Evolution de la teneur en NO3- de la solution du sol.

alors qu'il n'y a aucune pluie. Ceci est peut être dû aux demandes nutritives des plantes plus importantes en début de saison sèche. Les concentrations augmentent ensuite jusqu'aux derniers prélèvements du mois d'août. Les solutions recueillies en début de saison des pluies ont des concentrations déjà faibles. Ces concentrations montrent plusieurs pics en relation avec la pluviométrie, ou plutôt avec l'humidité du sol. La "petite saison sèche" du mois de janvier se fait ressentir en février par une augmentation uniquement sur le sodium et les nitrates. Les courbes de concentration des nitrates sont plus complexes aussi dans la parcelle inférieure ; il n'y a pas d'augmentation de la concentration au mois d'août dans la parcelle du haut, alors qu'elle est visible dans la parcelle inférieure. L'influence de la petite saison sèche est visible sur les deux parcelles.

b) Eaux libres

Comme nous l'avons dit le nombre d'échantillons est insuffisant. Il semble cependant qu'en début de saison des pluies (mi-septembre) les concentrations sont assez élevées dans l'eau libre. (figure 16).

4. Corrélation entre les éléments minéraux de la solution prélevée par bougies poreuses. (tableaux VIII, IX, X et XI).

Pour comparer les éléments deux à deux on a calculé le coefficient de corrélation, ainsi que l'équation de la droite de régression. Le calcium et le magnésium semblent, toute proportion gardée, montrer une corrélation meilleure dans la parcelle inférieure.

Il semblerait aussi qu'il y ait corrélation entre calcium et nitrates, toujours dans la parcelle inférieure, et aussi en profondeur dans la parcelle supérieure.

En ce qui concerne les autres éléments, il semblerait qu'il n'y ait pas de corrélation, surtout entre le magnésium et le nitrate.

Ces résultats gagneront cependant à être enrichis par de nouvelles mesures afin de pouvoir en donner une interprétation correcte.

Parcelle	Horizon	Corrélation		
		r	n	Y (Ca2+) = A x (Mg2+) + B
PI	15-30	0,64	46	Y = 0,58 x + 0,17
	40-60	0,68	35	Y = 1,09 x + 0,08
	80-100	0,73	40	Y = 0,72 x + 0,06
PS	15-30	0,54	42	Y = 0,39 x + 0,13
	40-60	0,40	34	Y = 0,40 x + 0,15
	80-100	0,40	41	Y = 0,59 x + 0,44

Tableau VIII. Relations entre les teneurs en Calcium et Magnésium de la solution du sol. r = coefficient de relation ; n = nombre d'échantillons.

Parcelle	Horizon	Corrélation		
		r	n	Y (Ca2+) = A x (NO3-) + B
PI	15-30	0,10	46	Y = 0,50 x + 0,26
	40-60	0,55	32	Y = 11 x - 0,02
	80-100	0,66	37	Y = 9,53 x + 0,16
PS	15-30	0,30	38	Y = 0,74 x + 0,26
	40-60	0,34	40	Y = 1,32 x + 0,36
	80-100	0,70	42	Y = 6,96 x + 0,10

Tableau IX. Relations entre les teneurs en Calcium et Nitrates de la solution du sol. r = coefficient de relation ; n = nombre d'échantillons.

Parcelle	Horizon	Corrélation		
		r	n	Y Mg1+ = A (NO3-) + B x
PI	15-30	0,02	45	Y = 0,14 x + 0,46
	40-60	0,57	34	Y = 6,40 x - 2,12
	80-100	0,46	37	Y = 6,77 x + 0,36
PS	15-30	0,18	40	Y = 0,25 x + 0,50
	40-60	0,1	41	Y = 0,42 x + 0,78
	80-100	0,17	41	Y = 1,24 x + 0,46

Tableau X. Relations entre les teneurs en Magnésium et Nitrates de la solution du sol. r = coefficient de relation ; n = nombre d'échantillons.

Parcelle	Horizon	Corrélation		
		r	n	Y K+ = A (Na+) + B x
PI	15-30	0,50	47	Y = 0,13 x + 0,05
	40-60	0,37	36	Y = 0,12 x + 0,03
	80-100	0,36	40	Y = 0,12 x + 0,05
PS	15-30	0,06	40	Y = 0,02 x + 0,05
	40-60	0,79	42	Y = 0,21 x + 0,01
	80-100	0,04	40	Y = 0,01 x + 0,04

Tableau XI. Relations entre les teneurs en Potassium et Sodium de la solution du sol. r = coefficient de relation ; n = nombre d'échantillons.

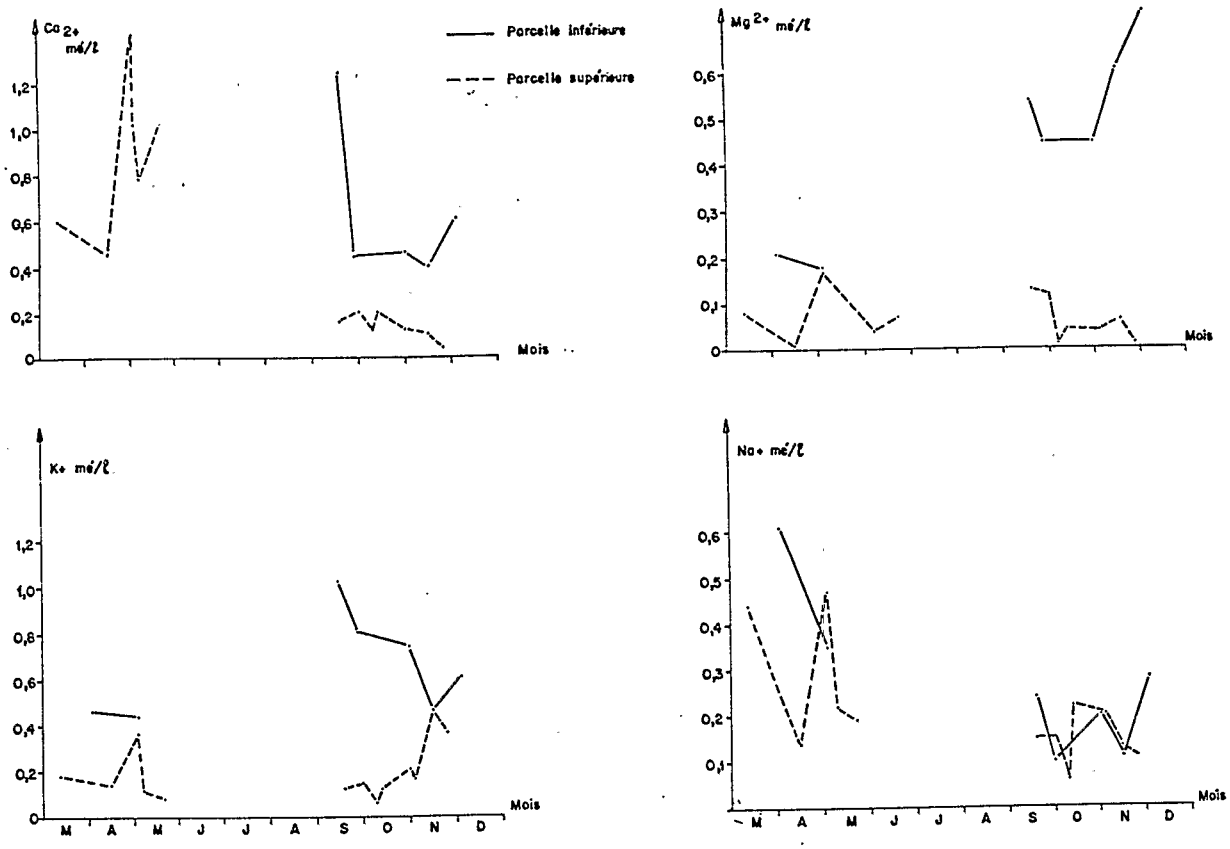


FIGURE 16.- Evolution des teneurs en Ca2+, Mg2+, K+ et Na+ des échantillons d'eau libre.

CONCLUSION

Cette étude de la solution du sol comprend, à peine 1 an de récolte d'échantillons. Il serait risqué d'en tirer des conclusions trop hâtives.

Cependant, il faut souligner le bon fonctionnement des dispositifs mis en place et leur complémentarité ; les solutions du sol sont rarement étudiées selon deux dispositifs différents et simultanés. Le système de prélèvement d'eau libre dans les fosses demande à être "enrichi" par de nouveaux tubes de prélèvements aux mêmes profondeurs. Ces premières données bien que partielles laissent apparaître quelques idées :

-Les pluviolessivats sont dans notre cas enrichis fortement en K^+ et Na^+ par rapport aux eaux de pluie à ciel ouvert.

- La teneur en éléments minéraux des eaux de drainage est largement supérieure à celle des solutions prélevées par bougies poreuses qui représentent une partie de l'eau de rétention.

- Il apparaît nettement un lessivage en Ca^{++}, Mg^{++} et aussi en nitrates ; Na^+ et surtout K^+ ne semblent pas être lessivés.

- Les résultats actuels ne montrent pas de franche corrélation entre les éléments.

Les résultats à venir devraient apporter de nouvelles informations et sans doute confirmer ces premières constations.

>>><<<

BIBLIOGRAPHIE

BENIANS G. (1985). The solubility of cations in sol. Journ. of Soil Science, 36, 231-238.

BERNHARD C. et SCHENK C. (1986). Utilisation des bougies poreuses pour extraire la solution du sol dans le nord central de l'ILL en Alsace. Bull. GFHN, n° 20, Nov. 1986.

BOISSEZON P. de. (1970). Etude du complexe absorbant des sols ferrallitiques forestiers de Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, série Pédologie, VIII, 4, 391-418.

BONNEAU M. et SOUCHIER B. (1979). Constituants et propriétés du sol. Masson, Paris, 459 p.

BOYER J. (1978). Le Calcium et Magnésium dans les sols des régions tropicales humides et subhumides. IDT, n° 35, ORSTOM. Paris, 173 p.

CHATELIN Y. (1972). Les sols ferrallitiques. Tome I. Historique, développement des connaissances et formations des concepts actuels. IDT, n° 20, ORSTOM, Paris, 98 p.

CHATELIN Y. (1974). Les sols ferrallitiques. Tome III. L'altération. IDT, n° 24, ORSTOM, Paris, 144 p.

CHEVERRY C. (1983). L'extraction de la solution du sol par le biais des bougies poreuses. Synthèse bibliographique. Bull. GFHN n° 14, Nov. 1983.

DUCHAUFOUR P. (1983). Pédogenèse et classification. Masson, Paris, 2e édition, 493 p.

GAUDIN R., DUPUY J. et RANAIVO J. (1985). Les bougies poreuses, un outil pour suivre NH4+, NO3- en solution dans les sols de rizières. Agro Trop. 40, 1, 33-39.

JAMET R. (1974). Etude pédologique avec carte au 1/200.000°. Les Saras. ORSTOM, Brazzaville, 207 p.

JAMET R. (1975). Pédogenèse sur roches cristallophylliennes et argileuses en milieu équatorial congolais. ORSTOM, Brazzaville, 7 fascicules.

JAMET R. et RIEFFEL J.M. (1976). Notice explicative n° 65. Carte pédologique du Congo à 1/200.000. Feuille Pointe-Noire, feuille Loubomo. ORSTOM, Paris, 167 p. + 2 cartes h.t.

PIERI C. (1979). Etude de la composition de la solution du sol sableux cultivé du Sénégal à l'aide de capteurs en céramique poreuse. Agro. Trop., 34, 1, 9-22.

PINTA M. Spectrométrie d'absorption atomique. p. 1-24. ORSTOM.

PNUD-UNESCO (1989). Revue des connaissances sur le Mayombe. UNESCO, Paris, 343 p.

POSS R. (1988). Quelques voies d'étude actuelle de la dynamique de l'eau en zone intertropicale. ORSTOM, Lomé.

POSS R. et SARAGONI H. (1989). Dynamique de l'eau et des éléments minéraux au Togo méridional. ORSTOM, Lomé, 6 p.

ROOSE E. (1968). Un dispositif de mesure du lessivage oblique dans les sols en place. Cah. ORSTOM, série Pédologie, VI, 2, 235-249.

ROOSE E. (1970). Importance relative de l'érosion, du drainage oblique et vertical dans la pédogenèse actuelle d'un sol ferrallitique de moyenne Côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM, série Pédologie, VIII, 4, 469-482.

SARAGONI H. et POSS R. (1988). Etude de la composition de la solution du sol des Terres de Barre du Sud Togo à l'aide de capteurs en céramique poreuse. Rapport ORSTOM.

SCHWARTZ D. et TONDO F. (1988). La production de litière en forêt dense équatoriale. Bilan d'un an de collecte à Dimonika (Mayombe), février 1987 - février 1988. ORSTOM, Pointe-Noire, 14 p.

TSAKALA R. (1988). Etude de la variabilité spatiale des caractéristiques analytiques du sol de deux parcelles sous forêt et sous bananiers dans le Mayombe. ORSTOM, IDR, Pointe-Noire et Brazzaville, 85 p.

UNESCO/PNUD/AUPELF. (1988). Facteurs et conditions de maintien de la fertilité du milieu tropical humide. Rapport du séminaire international de Pointe-Noire. UNESCO, Paris, 230 p.