

## INFLUENCE DE DEUX ROCHES-MÈRES DE COMPOSITION VOISINE SUR LES ALTÉRATIONS ET LES SOLS. UN EXEMPLE SUR LE SOCLE CRISTALLIN AU SÉNÉGAL-ORIENTAL

A. BLOT, J.C. LEPRUN

*Centre ORSTOM de Dakar (Sénégal)*

### RÉSUMÉ

Au Sénégal-Oriental, les altérations et les sols d'une tranchée recoupant deux faciès d'une même roche basique sont étudiés. Les méthodes d'étude sont les suivantes : observations de terrain, analyses géochimiques et pédologiques, traitement statistique des analyses et raisonnements isovolumétriques et isoéléments.

Elles aboutissent à l'évaluation des facteurs possibles de différenciation de deux altérations fort différentes à partir de caractères pétrographiques proches.

### SUMMARY

In Eastern Senegal, studies were made concerning the alterations and the soils of a ditch recutting two facies of the same basic rock. The study methods were the following : ground observations, geochemical and pedologic analyses, statistical treatment of the analyses, volumetric reasonings and isoelements.

These studies lead to an evaluation of the possible differentiation factors of two very different alterations originating from close petrographic characteristics.

### ZUSAMMENFASSUNG

In Ostsenegal wurden die Verwitterungen des Bodens eines Grabens, der zwei Fazies des selben basischen Gesteins durchschneidet, untersucht. Die Untersuchungsmethoden sind folgende : Gelände-

beobachtungen, geochemische und bodenkundliche Analysen, statistische Verarbeitung der Analysen, massanalytische Beweisführung und Isoelemente.

Sie führen zur Bestimmung der möglichen Spaltungsfaktoren von zwei sehr verschiedenen Verwitterungen von nahen petrographischen Merkmalen ausgehend.

### РЕЗЮМЕ

*В восточном Сенегале, были изучены выветривания и почвы в канаве перерезающей две фации одной и той-же основной породы. Методы исследования следующие: полевые наблюдения, геохимические и почвенные анализы, статистическая обработка анализов, волюметрические выводы и изоэлементы.*

*Методы эти приводят к оценке возможных факторов дифференцирования двух весьма различных выветриваний, исходя из близких петрографических признаков.*

### I — INTRODUCTION

Les études des altérations des roches du socle cristallin de l'Afrique de l'Ouest tendent à prouver une certaine dépendance du sol vis-à-vis du sous-sol.

Cette dépendance ressort notamment des études de corrélations géochimiques en dehors des zones de vieilles altérites (BLOT, PION et WACKERMANN, 1973). La possibilité de recherches géochimiques de surface

en recherche minière est largement attribuable à cette filiation roche-altération-sol (PEDRO et DELMAS, 1970).

En pédologie, il est classique, toutes autres conditions pédogénétiques étant semblables, de relier à certains grands types de roches de grandes familles de sols, ainsi les vertisols sur roches basiques, les sols ferrugineux tropicaux sur roches acides ou sur grès par exemple.

Cette liaison valable pour de grands ensembles géologiques, l'est-elle encore au niveau de l'affleurement, et que devient-elle dans le cas de deux roches de composition très voisines ?

## II — LES OBSERVATIONS

### *Le cadre physique* (fig. 1, 2)

Une tranchée de 14 m de long a été creusée à proximité du village de Laminia (coordonnées 12° 01' 45" long W ; 12° 36' 05" lat N).

Le climat est de type soudanien avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1 000 mm, concentrée en une saison des pluies estivale de quatre mois. La température moyenne annuelle est de 29 °C.

La surface plane où est située la tranchée fait partie d'une plaine granitique de 50 m d'altitude bordée à l'est par la rivière Falémé et dominée vers l'ouest par une vaste étendue de reliefs cuirassés d'altitude supérieure à 150 m issue de roches basiques birrimiennes.

La végétation est une formation de savane arborée lâche qui sur les enclaves de roches basiques passe à une formation plus dense d'épineux.

La carte pédologique à 1/200 000 (KALOGA, 1966) de la feuille Dalafi couvre la zone intéressée d'une association de vertisols lithomorphes sur matériau argileux gonflant et de sols halomorphes à alcalis, non lessivés, non ou peu salés, sur matériau argilo-sableux plus ou moins riche en minéraux 2/1.

La région peut être caractérisée par une granitisation généralisée des formations existantes (BASSOT, 1963 - WITSCHARD, 1965). Les roches basiques sont transformées et apparaissent en lambeaux ou enclaves dans les granites calcoalcalins et granodiorites (massif de Kakadian). Les granitisations ont transformé les diabases de manière plus ou moins intensive et les reliques basiques, qui ont des dimensions très variées allant du centimètre à quelques dizaines de kilomètres, sont le plus souvent des amphibolites.

### *Descriptions pétrographiques*

L'enclave basique étudiée à Laminia est assez homogène dans son ensemble. Nous distinguons deux faciès recoupés par la tranchée :

— Une amphibolite dont l'équivalent dans la classification des roches éruptives serait gabbrodiorite quartzique.

— Un faciès paradoxal où les pyroxènes subsistent malgré une granitisation plus poussée. Nous l'appellerons amphibolopyroxénite pour souligner sa parenté avec le faciès précédent. Son équivalent éruptif serait une granodiorite à amphiboles et pyroxènes.

Les deux roches se distinguent bien macroscopiquement, leur contact est franc.

#### (a) *l'amphibolite*

Couleur d'ensemble vert foncé.

Structure grenue à baguettes d'amphiboles.

Composition minéralogique : Amphibole verte automorphe (hornblende probable) contenant des chlorites, de très rares biotites, des minéraux opaques, du sphène et de l'épidote; quartz xénomorphe peu abondant; plagioclases altérés, à séricite et épidote, dont les mesures d'angles sont délicates et qui donnent approximativement un diagnostic d'oligoclase; sphène; épidote; pyroxènes très rares; quelques apatites et zircons; chlorite, en remplacement de la biotite par décoloration et recoloration verte, ou en gîtes floconneux verts; minéraux opaques automorphes, probablement des oxydes.

Taille des minéraux : les amphiboles sont des prismes plus ou moins allongés à section losangique. Leurs dimensions habituelles sont 4-5 mm × 1,5-2 mm × 0,7-0,8 mm. Les plagioclases et les quartz atteignent rarement plus de 1 mm dans leur plus grande dimension. Les minéraux opaques sont cubiques d'arête inférieure à 0,3 mm.

#### (b) *l'amphibolopyroxénite*

Couleur d'ensemble sombre avec de gros cristaux d'amphiboles et pyroxènes dans une matrice quartzofeldspathique claire.

Composition minéralogique : Amphibole verte (hornblende); pyroxènes le plus souvent arrondis (diopside - hedenbergite); quartz corrodant tous les minéraux : amphiboles, pyroxènes, plagioclases et minéraux opaques; microcline; plagioclases à séricite

INFLUENCE DE ROCHES-MÈRES DE COMPOSITION VOISINE SUR L'ALTÉRATION (SÉNÉGAL)

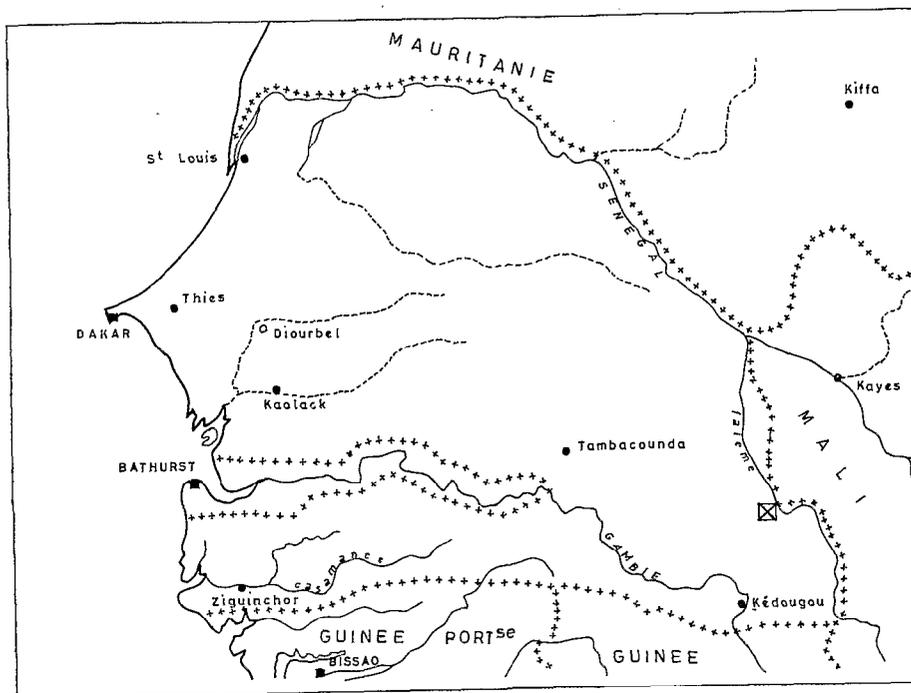


FIG. 1. — Situation de l'étude dans le Sénégal.

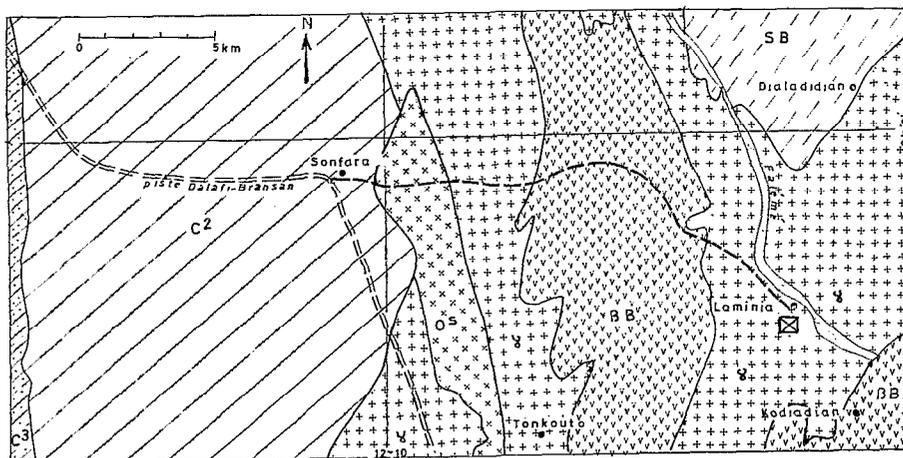


FIG. 2. — Extrait schématique de la carte géologique à 1/200000 (feuille Dalafi).

- C3 - Grès feldspathiques (Cambrien) C2 - Schistes de la Falémé (Cambrien).
- SB - Schistes (Birimien) Bb - Roches volcaniques basiques.
- $\gamma$  - Granites O<sup>s</sup> - Granites dioritiques.

et épidote; sphène; minéraux opaques : on observe des pyrites de grande taille, mais la majorité semble constituée d'oxydes.

Taille des minéraux : les amphiboles sont des prismes trapus à section subhexagonale de taille 6-7 mm × 5,5-6 mm × 3,5-4 mm. Les pyroxènes, arrondis, sont plus petits, sans morphologie cristalline typique. Les plagioclases, microcline et quartz peuvent atteindre 2,5 mm dans leur plus grande dimension.

Le comptage des minéraux donne des paramètres très voisins pour les deux roches : SATURATION = 30-35, COLORATION = 70-80. Seul l'indice feldspathique est très différent du fait de la présence de microcline dans l'amphibolopyroxénite.

En résumé, les minéraux spécifiques de chacun des faciès sont les suivants : pour l'amphibolite une forte teneur en chlorite et épidote, pour l'amphibolopyroxénite présence de pyroxène, de microcline et quartz plus abondant.

*Description pédologique*

Deux descriptions ont été retenues. Elles apparaissent dans le tableau I et concernent les deux profils extrêmes de la tranchée, LA 201 et LA 204 (fig. 3).

Le profil de type A (B) C, les horizons peu contrastés à transitions progressives, la couleur olive, la structure polyédrique fine de surface mais prismatique large de profondeur avec apparition des faces lissées, la cohésion très forte des mottes en sac et l'individualisation de nodules calcaires dans les horizons médians, permettent de classer le profil LA 201 dans les vertisols lithomorphes grumosoliques modaux à nodules calcaires.

De la même manière, la couleur brun rouge à rouge, la texture argileuse des horizons (B), la structure polyédrique fine à cubique, la réserve importante en minéraux altérables issus de la roche-mère et l'individualisation des sesquioxydes sous forme de nodules, rangent le profil LA 204 dans les sols bruns eutrophes tropicaux ferruginisés (AUBERT, 1965a et b).

Nous avons donc affaire ici sur deux roches-mères contiguës, à deux pédogenèses différentes : l'une développe des vertisols qui expriment le calcium sous forme de nodules, l'autre des sols bruns eutrophes qui expriment le fer et le manganèse sous forme de nodules.

L'altération de l'amphibolite présidant à la différenciation des vertisols est profonde et fait disparaître rapidement les minéraux altérables de la roche. Au

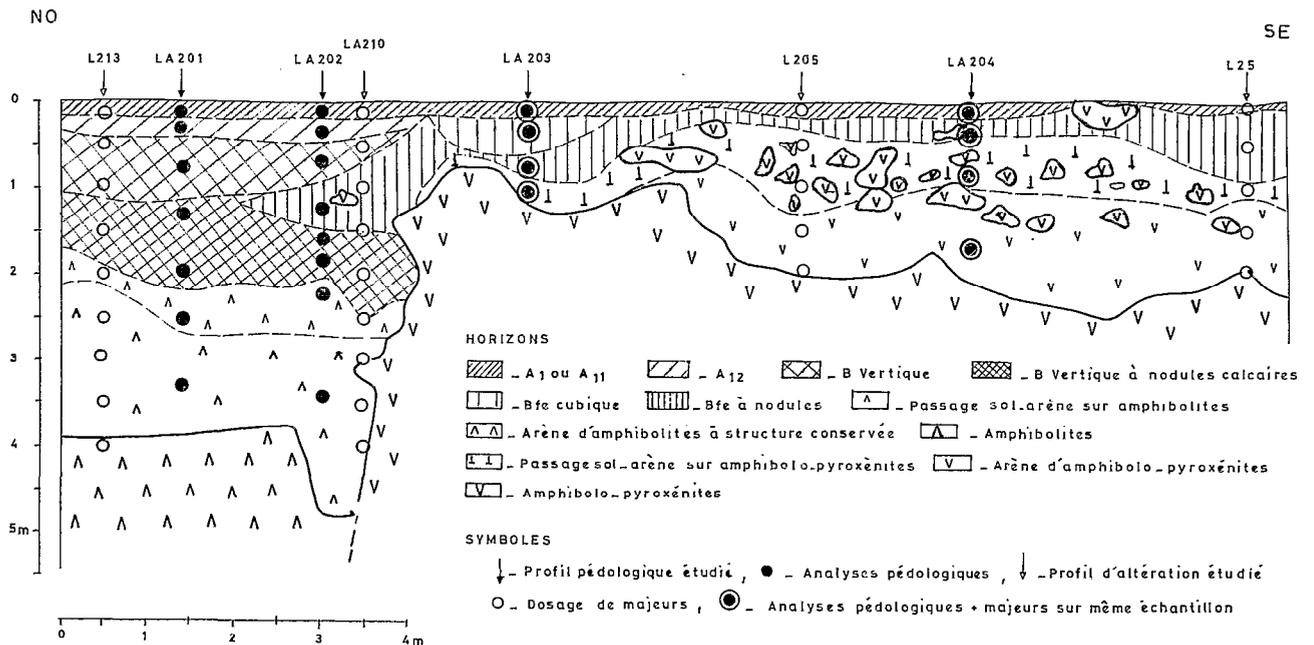


FIG. 3. — Profil en long de la tranchée de Lamina (levé par mesures effectuées tous les 0,5 m).



contraire l'altération de l'amphibolopyroxénite donnant les sols bruns est peu épaisse et *préserve jusqu'en surface* les débris de roches et les minéraux altérés.

Dans les deux cas, la différenciation en nodules du calcium d'une part, du fer et du manganèse d'autre part, se fait rapidement dès l'arène par l'intermédiaire de débris de roche moins altérée.

Les profils LA 202 et 203 non décrits, marquent la transition du vertisol avec le sol brun. Le premier est un sol brun eutrophe vertique, le second un sol brun eutrophe modal. Le passage des horizons des uns aux autres et leurs limites apparaissent sur la figure 3.

*Nous trouvons ici la même répartition pédologique mais sur une dizaine de mètres et en topographie plane, que celle d'une chaîne de sols d'une centaine de mètres de long, fréquente sous ces latitudes, où le sol brun ferruginisé se situerait en amont et le vertisol en aval.*

### III — LES RÉSULTATS ANALYTIQUES

#### *Les analyses chimiques totales*

40 analyses chimiques totales ont été effectuées sur les échantillons de la tranchée par spectrochimie au CRPG de Nancy. Dans le tableau 2 sont représentés les résultats de 15 analyses de deux profils de référence retenus (L 213 et L 25, fig. 3). Les analyses ont été effectuées sur des échantillons globaux prélevés tous les 50 cm.

Les niveaux les plus profonds, L 213 I pour l'amphibolite et L 25 F pour l'amphibolopyroxénite, peu altérés, seront utilisés comme roches saines de référence pour les calculs.

Ces deux échantillons ont une composition très proche qui marque une intensité voisine de granitisation.

TABLEAU 2

Résultats des analyses des deux profils de référence  
Analyses au Spectromètre à lecture directe/CRPG - CNRS - Nancy (France)

|                                   | N° Collection | N° CRPG | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO  | MgO  | CaO   | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | TiO <sub>2</sub> | P.F.  | Total  | Densité |
|-----------------------------------|---------------|---------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------|-------------------|------------------|------------------|-------|--------|---------|
| Amphibolite-<br>vertisol          | L 213 A       | G 5244  | 61,90            | 10,90                          | 9,74                           | 0,12 | 1,64 | 2,59  | 1,00              | 1,09             | 0,98             | 8,99  | 98,95  | 1,88    |
|                                   | L 213 B       | G 7376  | 55,60            | 12,85                          | 11,96                          | 0,14 | 2,20 | 2,73  | 0,84              | 0,92             | 1,21             | 12,08 | 100,53 | 1,94    |
|                                   | L 213 C       | G 5245  | 55,80            | 12,65                          | 12,39                          | 0,17 | 2,08 | 2,79  | 0,75              | 0,88             | 1,01             | 11,49 | 100,01 | 1,96    |
|                                   | L 213 D       | G 7377  | 50,30            | 13,55                          | 14,11                          | 0,28 | 3,62 | 4,16  | 1,36              | 0,86             | 1,30             | 9,54  | 99,08  | 1,90    |
|                                   | L 213 E       | G 5246  | 51,20            | 11,55                          | 13,65                          | 0,18 | 3,85 | 4,46  | 1,18              | 0,65             | 1,13             | 12,48 | 100,33 | 1,79    |
|                                   | L 213 F       | G 7378  | 32,70            | 8,30                           | 10,83                          | 0,17 | 4,58 | 20,71 | 1,12              | 0,56             | 1,13             | 20,34 | 100,44 | nd      |
|                                   | L 213 G       | G 5247  | 48,10            | 12,80                          | 16,61                          | 0,24 | 5,69 | 6,25  | 1,91              | 0,93             | 1,42             | 6,69  | 100,64 | nd      |
|                                   | L 213 H       | G 7379  | 46,50            | 12,05                          | 15,90                          | 0,19 | 7,23 | 8,72  | 2,17              | 0,72             | 1,54             | 3,63  | 98,65  | nd      |
|                                   | L 213 I       | G 5248  | 47,70            | 11,20                          | 17,71                          | 0,18 | 8,65 | 8,56  | 2,46              | 0,78             | 1,45             | 1,62  | 100,31 | 3,08    |
| Amphibolopyro-<br>xénite sol brun | L 25 A        | G 5187  | 53,40            | 10,95                          | 18,04                          | 0,18 | 2,21 | 3,31  | 1,10              | 1,29             | 1,25             | 7,92  | 99,65  | 1,88    |
|                                   | L 25 B        | G 5188  | 43,50            | 13,00                          | 26,46                          | 0,55 | 0,84 | 1,37  | 0,44              | 1,11             | 1,06             | 11,19 | 99,52  | nd      |
|                                   | L 25 C        | G 5189  | 58,50            | 12,60                          | 12,25                          | 0,31 | 2,45 | 3,53  | 1,69              | 1,84             | 0,85             | 5,71  | 99,73  | 2,52    |
|                                   | L 25 D        | G 5190  | 55,10            | 11,30                          | 13,88                          | 0,14 | 5,66 | 6,84  | 2,46              | 1,52             | 1,14             | 1,54  | 99,58  | 2,81    |
|                                   | L 25 E        | G 5191  | 55,70            | 11,40                          | 13,87                          | 0,13 | 4,84 | 6,11  | 2,34              | 1,56             | 1,07             | 2,28  | 99,30  | 2,79    |
|                                   | L 25 F        | G 5192  | 50,20            | 11,40                          | 15,69                          | 0,15 | 7,54 | 7,15  | 2,88              | 2,53             | 1,35             | 0,69  | 99,58  | 3,00    |

Prélèvements et analyses effectués tous les 50 cm : A = Surface; B = -50 cm; C = -1 m...

Densité = densité apparente mesurée au volumétre à mercure AMSLER VM9.

nd = non déterminé.

Les différences principales relevées sont les suivantes :

amphibolite : plus forte teneur en fer et alcalino-terreux,

amphibolopyroxénite : plus forte teneur en silice et alcalins.

INFLUENCE DE ROCHES-MÈRES DE COMPOSITION VOISINE SUR L'ALTÉRATION (SÉNÉGAL)

Les analyses pédologiques

Nous ne nous préoccupons que des analyses concernant les deux types de sols décrits plus haut. Elles sont consignées dans le tableau 3.

L'examen de ce tableau appelle quelques commentaires :

— les compositions granulométriques des deux sols sont différentes : les arènes du vertisol contiennent plus de sable grossier que celles du sol brun, et les horizons (B) de ce dernier sont nettement plus argileux que ceux du vertisol.

— dans le vertisol, les pH augmentent en profondeur et dépassent pH 8 dès les horizons vertiques alors qu'ils sont pratiquement constants et légèrement acides dans le sol brun.

Il y a beaucoup plus de bases échangeables exprimées dans le vertisol que dans le sol brun, excepté pour le potassium dont les valeurs sont proches. Les taux de saturation sont d'ailleurs égaux ou supérieurs à 100 dès la faible profondeur dans le premier cas alors qu'ils restent toujours inférieurs à 100 dans le deuxième.

Les teneurs en matière organique, semblables en surface dans les deux sols, décroissent moins rapidement en profondeur dans le sol brun.

En résumé on peut écrire :

vertisol = pH basique, complexe argilo-humique saturé,

sol brun = très argileux en (B), pH constant faiblement acide, complexe argilo-humique sous-saturé, taux de matière organique et surtout de fer total élevés.

TABLEAU 3

Analyses pédologiques principales des deux profils décrits (effectuées aux laboratoires de l'ORSTOM Dakar-Hann)

|  | LA 201 Vertisol |       |        |         |         |         |       | LA 204 Sol brun |        |        |         |
|--|-----------------|-------|--------|---------|---------|---------|-------|-----------------|--------|--------|---------|
|  | 0-20            | 20-40 | 40-113 | 113-150 | 150-216 | 216-260 | > 260 | 0-15            | 15-40  | 40-100 | 100-210 |
| Profondeur (cm) . . . .                            | 0-20            | 20-40 | 40-113 | 113-150 | 150-216 | 216-260 | > 260 | 0-15            | 15-40  | 40-100 | 100-210 |
| Humidité (%) . . . . .                             | 3,5             | 6,1   | 6,8    | 7,0     | 6,3     | 6,0     | 3,8   | 2,7             | 7,7    | 7,7    | 5,8     |
| Argile (%) . . . . .                               | 23,2            | 42,9  | 45,1   | 37,2    | 18,5    | 17,4    | 6,3   | 19,2            | 57,5   | 55,1   | 34,0    |
| Limon fin (%) . . . . .                            | 9,9             | 9,4   | 10,2   | 12,9    | 14,5    | 12,2    | 6,9   | 6,2             | 7,6    | 8,3    | 9,9     |
| Limon grossier (%) . . . .                         | 17,4            | 16,1  | 12,3   | 9,2     | 5,2     | 3,5     | 4,5   | 10,6            | 5,8    | 4,2    | 5,5     |
| Sable fin (%) . . . . .                            | 25,1            | 15,9  | 15,8   | 17,9    | 23,6    | 26,7    | 24,9  | 30,2            | 10,2   | 9,3    | 14,3    |
| Sable grossier (%) . . . .                         | 21,7            | 14,7  | 16,0   | 22,4    | 31,2    | 40,2    | 57,4  | 31,1            | 17,3   | 21,6   | 36,3    |
| Mat. org. totale (%) . . . .                       | 2,70            | 1,01  | 0,64   | 0,41    | 0,19    | —       | —     | 2,65            | 1,62   | 1,51   | —       |
| Carbone (‰) . . . . .                              | 15,60           | 5,90  | 3,70   | 2,30    | 1,12    | —       | —     | 15,30           | 9,40   | 8,70   | —       |
| Azote (‰) . . . . .                                | 1,10            | 0,45  | 0,22   | 0,15    | 0,10    | —       | —     | 1,09            | 0,87   | 0,80   | —       |
| C/N . . . . .                                      | 14,2            | 13,1  | 16,8   | 15,3    | 11,2    | —       | —     | 14,0            | 10,8   | 10,9   | —       |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> total (%) . . . . . | 7,45            | 10,86 | 11,10  | 10,57   | 12,0    | 10,87   | 10,77 | 10,57           | 177,44 | 16,72  | 16,91   |
| Bases échangeables<br>(mé/100 g)                   |                 |       |        |         |         |         |       |                 |        |        |         |
| Ca . . . . .                                       | 9,14            | 8,74  | 10,22  | 22,52   | 17,44   | 14,62   | 7,20  | 7,37            | 8,88   | 8,82   | 8,71    |
| Mg . . . . .                                       | 9,26            | 14,66 | 18,62  | 23,48   | 23,68   | 24,17   | 14,74 | 4,53            | 14,00  | 14,64  | 11,53   |
| K . . . . .  | 0,25            | 0,26  | 0,31   | 0,26    | 0,12    | 0,20    | 0,07  | 0,20            | 0,27   | 0,30   | 0,23    |
| Na . . . . .                                       | 0,08            | 0,34  | 0,65   | 0,81    | 0,94    | 0,85    | 0,67  | 0,05            | 0,08   | 0,11   | 0,16    |
| S . . . . .  | 18,73           | 24,00 | 29,80  | 47,07   | 42,18   | 39,84   | 22,68 | 12,15           | 23,23  | 23,87  | 20,63   |
| T . . . . .  | 20,4            | 20,9  | 28,8   | 36,3    | 40,0    | 32,7    | 21,4  | 15,2            | 28,5   | 28,5   | 21,9    |
| S/T . . . . .                                      | 92              | 96    | > 100  | > 100   | > 100   | > 100   | > 100 | 80              | 82     | 84     | 94      |
| pH eau . . . . .                                   | 6,3             | 6,3   | 7,0    | 8,4     | 8,6     | 8,4     | 8,5   | 6,2             | 6,0    | 5,9    | 6,4     |

*Les minéraux argileux*

L'analyse minéralogique de la fraction argileuse des horizons des deux sols, vertisol LA 201 et sol brun LA 204, réalisée par diffraction des rayons X à l'Institut de Géologie de Strasbourg donne les résultats suivants :

TABLEAU 4

Composition minéralogique de la fraction argileuse des profils LA 201 et LA 204

|                      |             | Montmorillonite  | Kaolinite |
|----------------------|-------------|------------------|-----------|
| LA 201<br>(vertisol) | 0 - 20 cm   | 8                | 2         |
|                      | 20 - 40 —   | 8                | 2         |
|                      | 40 - 113 —  | 9                | 1         |
|                      | 113 - 150 — | 9                | 1         |
|                      | 150 - 216 — | 9,5              | 0,5       |
|                      | 216 - 260 — | 9,5              | 0,5       |
|                      | > 260 cm    | 9,5              | 0,5       |
| LA 204<br>(sol brun) | 0 - 15 cm   | 6 { minéraux     | 4         |
|                      | 15 - 40 —   | 6 { mal          | 4         |
|                      | 40 - 100 —  | 6 { cristallisés | 4         |
|                      | 100 - 210 — | 8                | 2         |

Il faut noter :

— la dominance de la montmorillonite sur la kaolinite,

— la décroissance progressive de la kaolinite du haut en bas du vertisol et sa constance jusqu'au sommet de l'arène dans le sol brun,

— les minéraux mal cristallisés de la montmorillonite du sol brun.

## IV. — CALCULS ET INTERPRÉTATIONS

*Les méthodes*

(1) Sur les deux profils de référence nous avons calculé les paramètres permettant de suivre les évolutions comparées des éléments au cours de l'altération et de la pédogenèse.

Plusieurs méthodes ont été essayées :

— évolution des résultats bruts de l'analyse à partir du niveau le moins altéré suivant GROSSER (in KÖSTER, 1961),

— calculs à partir d'un élément constant suivant STRENG (in KÖSTER, 1961). Ici l'alumine et le titane

semblent pouvoir servir d'éléments de référence (exemples fig. 4),

— calculs isovolumétriques suivant MILLOT et BONIFAS (1965), en supposant la structure conservée dans tout le profil. Cette méthode est d'application moins aisée à cause de la difficulté à préciser la densité de certains niveaux peu homogènes.

(2) Les différents échantillons analysés dans la tranchée ont été regroupés en deux lots suivant le caractère taxonomique de chaque profil et la roche de départ.

— amphibolite - vertisol : profils L 210, L 213 et L 212b ( $n = 21$ ),

— amphibolopyroxénite - sol brun : profils L 25, L 205, LA 204 et LA 203 ( $n = 19$ ).

TABLEAU 5

Exemples de l'évolution relative (%) des teneurs en magnésium à partir de la roche saine (L 213 I et L 25 F) suivant les différentes méthodes de calcul

| Niveau         | Méthode      | Amphibolite<br>vertisol | Amphibolo-<br>pyroxénite<br>sol-brun |
|----------------|--------------|-------------------------|--------------------------------------|
| Surface<br>(A) | — de Grosser | -81                     | -71                                  |
|                | — isotitane  | -72                     | -69                                  |
|                | — isoalumine | -81                     | -70                                  |
|                | — isovolume  | -88                     | -82                                  |
| -1 m<br>(C)    | — de Grosser | -78                     | -67,5                                |
|                | — isotitane  | -66                     | -49                                  |
|                | — isoalumine | -79                     | -71                                  |
|                | — isovolume  | -85                     | -73                                  |

Ces deux lots ont été étudiés séparément suivant la méthode de corrélation de rang de SPEARMAN (in SIEGEL, 1956 et FLANAGAN, 1957) afin de faire apparaître les éventuelles relations entre les éléments majeurs des deux roches-mères ou des deux types d'altération.

D'utilisation commode, cette méthode permet de connaître par la somme des carrés des différences de rang des éléments pris deux à deux, leur probabilité de corrélation.

Le choix de la probabilité est directement accessible par les tables de LITCHFIELD et WILCOXON (in FLANAGAN, 1957) et il suffit de se reporter à ces tables pour conclure à une corrélation suivant le choix de la probabilité 0,05 ou 0,01. Notre étude portant sur des analyses chimiques totales (somme des élé-

INFLUENCE DE ROCHES-MÈRES DE COMPOSITION VOISINE SUR L'ALTÉRATION (SÉNÉGAL)

ments = 100) deux phénomènes doivent normalement se marquer : l'effet de bilan engendrant des corrélations négatives et l'effet d'accompagnement donnant des corrélations positives, dont il faudra tenir compte lors de l'interprétation (G. MICHARD et TREUIL, 1969).

Les résultats

1. — Sur les deux profils de référence nous avons pratiqué les différentes approches énoncées plus haut.

Celles-ci se complètent en ce qui concerne les variations relatives des teneurs, mais il subsiste de grandes divergences quant aux variations absolues.

Magnésium, calcium et sodium ont un comportement très voisin dans les deux profils. Le magnésium est toujours le plus mobile et les différentes méthodes sont remarquablement convergentes comme le montrent les exemples du tableau 5.

Remarques : le magnésium évolue dans le même sens dans les deux profils, cependant, les départs sont légèrement plus importants dans le cas des vertisols. Ces valeurs proches avec des variations dans le même sens suivant les différentes méthodes de calcul témoignent d'une évolution verticale et autochtone des altérations et des sols à partir des roches, exception faite des perturbations de surface.

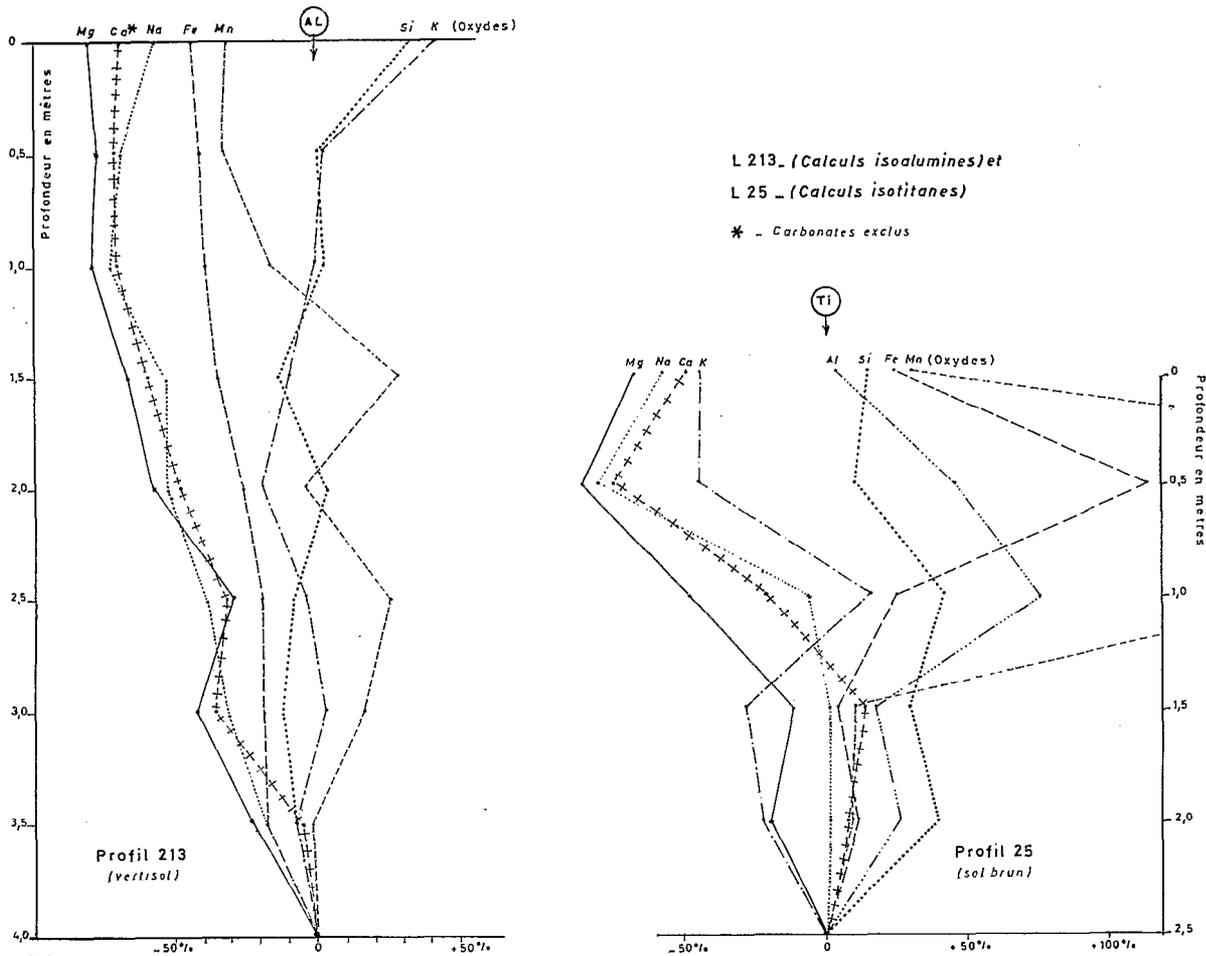


FIG. 4. — Diagrammes des évolutions des éléments dans les profils

Pour le calcium on constate que le phénomène d'expression des carbonates dans le vertisol sous forme de nodules, affecte le profil de cet élément. En excluant les carbonates des calculs, le profil du calcium redevient semblable à ceux du magnésium et du sodium (fig. 4).

*Aluminium* et *silice* sont moins mobiles, et selon la méthode de calcul utilisée, ils peuvent montrer un enrichissement au cours des processus d'altération et de pédogenèse. Cet enrichissement ne peut être précisé, il est relatif ou absolu.

Le *manganèse* suit les mêmes fluctuations que le fer.

Les comportements du fer et du potassium sont différents dans chacun des deux profils en allant de la roche vers la surface :

fer :

— appauvrissement net dans l'altération de l'amphibolite

— enrichissement sensible dans le sol brun

potassium : à l'inverse du fer il montre :

— un enrichissement relatif dans l'altération de l'amphibolite de même que l'alumine et la silice

— un comportement typique d'alcalin-alcalino-terreux avec appauvrissement dans le sol brun.

2. — La méthode statistique de corrélation des neuf éléments pris deux à deux donne les résultats représentés sur le tableau 6. Nous n'avons pas indiqué les 24 associations ne présentant aucune corrélation significative de la filiation amphibolite-vertisol, ni les 18 de celle de l'amphibolo-pyroxénite-sol brun.

Il semble que pour l'évolution amphibolite-vertisol le calcul isoalumine soit mieux adapté, l'aluminium n'ayant aucune corrélation positive ou négative avec les autres éléments majeurs. Un autre élément, le potassium pourrait aussi servir d'élément de référence acceptable dans cette filiation car il ne présente qu'une seule corrélation positive avec la silice (probabilité 0,05). Soulignons le caractère de stabilité du potassium dans les altérations de l'amphibolite. Ce fait a déjà été signalé par LELONG (1967), BLOT, PION et WACKERMANN (1973).

Dans l'évolution amphibolopyroxénite-sol brun, le titane est l'élément de référence qui semble convenir le mieux.

TABLEAU 6

Corrélations positives et négatives dans les deux filiations d'après la méthode du coefficient de corrélation de rang de SPEARMAN (probabilité 0,05)

|  |       |       |       |       |       |             |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| A - Corrélations positives                                     |       |       |       |       |       |             |
| 1 - Communes aux deux filiations                               |       |       |       |       |       |             |
| Mg-Ca*, Na-Ca*, Mn-Fe*, Na-Mg*                                 |       |       |       |       |       |             |
| a)   | 0,88  | 0,68  | 0,80  | 0,79  |       |             |
| b)   | 0,96  | 0,92  | 0,73  | 0,83  |       |             |
| 2 - Spécifiques de la filiation amphibolite - vertisol         |       |       |       |       |       |             |
| Ti-Mg*, Ti-Fe*, Si-K, Ti-Ca                                    |       |       |       |       |       |             |
|  | 0,70  | 0,57  | 0,54  | 0,47  |       |             |
| 3 - Spécifiques de la filiation amphibolopyroxénite-sol brun   |       |       |       |       |       |             |
| K-Ca*, K-Na*, K-Mg*, Si-Na* Si-Ca                              |       |       |       |       |       |             |
|  | 0,75  | 0,72  | 0,70  | 0,63  | 0,51  |             |
| B - Corrélations négatives                                     |       |       |       |       |       |             |
| 1 - Communes aux deux filiations                               |       |       |       |       |       |             |
| Si-Mn (*), Si-Fe*  |       |       |       |       |       |             |
| a)   | 0,47  | -0,59 |       |       |       |             |
| b)   | 0,70  | -0,91 |       |       |       |             |
| 2 - Spécifiques de la filiation amphibolite-vertisol           |       |       |       |       |       |             |
| Si-Ca* Si-Mg*  |       |       |       |       |       |             |
|  | -0,64 | -0,63 |       |       |       |             |
| 3 - Spécifiques de la filiation amphibolopyroxénite - sol brun |       |       |       |       |       |             |
| Mn-Ca, Mn-Ti, Mn-Na, Fe-Ca, Fe-Na*, Al-Si*, Al-Na*             |       |       |       |       |       |             |
|  | -0,46 | -0,48 | -0,53 | -0,55 | -0,62 | -0,64 -0,67 |

\* probabilité 0,01.

(\*) probabilité 0,01 pour la filiation amphibolopyroxénite - sol brun.

0,05 pour la filiation amphibolite-vertisol.

a) Filiations amphibolite-vertisol.

b) Filiations amphibolopyroxénite - sol brun.

A titre d'illustration la figure 4 représente les évolutions suivant les calculs isoalumine et isotitane dans chacun des deux profils.

L'examen du tableau 6 fait ressortir, des caractères communs imputables à l'étroite parenté des deux roches, et des caractères spécifiques de chacune des deux évolutions.

Les corrélations communes positives ou négatives confirment les résultats des méthodes précédentes c'est-à-dire : groupement des alcalins et alcalino-terreux excepté le potassium (mobilité) et du fer et du manganèse (stabilité); antinomie de la silice avec le fer et le manganèse.

. L'interprétation des corrélations positives propres aux deux filiations peuvent mettre en relief comme dans les méthodes précédentes la stabilité du couple silice-potassium dans le vertisol (charpente des séricites et chlorites ?) et la mobilité du groupement du potassium et de la silice avec les alcalins et alcalino-terreux dans le sol brun.

. Dans l'altération de l'amphibolite les alcalino-terreux sont corrélés négativement avec la silice. Dans la filiation issue de l'amphibolopyroxénite, manganèse, fer et aluminium sont corrélés négativement au groupe Si-Na-Ca. Or il faut rappeler que ce sont précisément ces éléments qui vont s'exprimer dans un contexte silicaté et donner leur particularité à chacune des différenciations : carbonates des nodules calcaires, oxydes et hydroxydes des nodules de fer et manganèse.

Le magnésium peut refléter l'omniprésence de la montmorillonite dans le vertisol. Les éléments fer, manganèse et aluminium, qui s'expriment dans les sols à sesquioxides, marqueraient donc ici la tendance évolutive du sol brun vers la fersiallisation.

## V. — DISCUSSION

### 1° La taille et la forme des minéraux

Les minéraux composant l'amphibolite sont de plus petite taille que ceux de l'amphibolopyroxénite. Nous avons noté la différence de forme entre les amphiboles des deux roches mais la conservation des propriétés optiques de la hornblende verte.

On ne sait dans quelle mesure ces différences interviennent dans les processus d'altération et la bibliographie est pauvre sur ce sujet.

### 2° La composition minéralogique

Les mêmes minéraux constitutifs se retrouvent pour la plus grande part dans les deux roches (hornblende, plagioclases p.p., quartz p.p., minéraux métalliques), cependant nous avons souligné la présence de minéraux spécifiques à chacune des roches-mères des altérations :

amphibolite : épidote, chlorite  
hornblende plus abondante  
amphibolopyroxénite : pyroxène, microcline  
plagioclases et quartz plus abondants

L'altération théorique de ces minéraux libère les éléments suivants :

épidote, chlorite primaires → Ca, Fe  
hornblende → épidote, chlorite → Ca, Fe  
plagioclases → épidote, séricite → Ca, Na  
pyroxènes → Fe, Ca  
microcline → K, Na

On peut constater que les minéraux spécifiques de l'amphibolite comprennent à tout moment un stade à épidote : composition primaire, altération de la hornblende, altération des plagioclases. Ces épidotes s'altèrent précocement en libérant le calcium et le fer.

De même l'altération des pyroxènes et des amphiboles libère rapidement Fe et Ca dans l'amphibolopyroxénite alors que l'altération du microcline est plus tardive.

Théoriquement il semble donc que les deux roches soient susceptibles de fournir simultanément calcium et fer. Pratiquement l'observation montre que dans chaque altération un seul des deux éléments se manifeste.

Il semble donc que par le jeu des minéraux spécifiques et de leurs altérations, deux couples de minéraux soient importants :

Epidote-chlorite dans la différenciation du vertisol et des nodules calcaires.

Pyroxène-microcline dans la différenciation du sol brun et des nodules ferrugineux.

Suivant la série de GOLDICH (1938) les minéraux ferromagnésiens s'altèrent dans l'ordre suivant : Epidote, pyroxène, amphibole, chlorite. Or l'altération précoce et rapide notée dans les observations de terrain peut amener à penser que l'épidote et le pyroxène, minéraux spécifiques de chacune des deux roches, s'altèrent en premier et très vite, le premier est responsable de la différenciation en Ca et le deuxième en fer.

Le potassium ayant un comportement original dans chacune des deux évolutions assume peut être une part de responsabilité dans l'expression des deux différenciations.

Dans l'amphibolite le potassium est peu abondant et probablement situé au sein des micas séricites, et peut être des chlorites. Il est d'une remarquable stabilité jusqu'à la surface.

Beaucoup plus abondant dans l'amphibolopyroxénite où il est engagé dans le microcline et accessoirement dans les séricites, le potassium est dans ce cas mobile et ses teneurs décroissent du bas vers le haut du profil. Ce comportement est contraire aux idées reçues concernant la résistance des feldspaths potassiques à l'altération (LENEUF, 1959, LELONG, 1967, PAQUET, 1969, BOCQUIER, 1971...).

On peut noter la relation possible :

K peu abondant (séricite, chlorite) → vertisol à calcaire exprimé.

K abondant (microcline, séricite) → sol brun eutrophe à fer exprimé.

### 3° *Physicochimie du milieu*

Les conditions physicochimiques ont une influence directe sur l'altération, celles existantes au sein des deux altérations étudiées sont différentes. Nous en avons pour preuve directe les mesures du pH, basiques dans un cas, légèrement acides dans l'autre et pour preuves indirectes celles découlant des observations de terrain et des connaissances acquises sur ces deux types de sol :

— la couleur est celle des formes réduites du fer dans le vertisol (olive) et des formes oxydées du fer dans le sol brun (rouge et brun).

— les structures fines et la macroporosité sont bien développées dans le sol brun, très mal dans le vertisol.

— on peut déduire de l'observation précédente et ces caractères sont confirmés par la connaissance de ces types de sols, que le sol brun eutrophe est bien drainant et ne présente que faiblement des phases d'asphyxie de profondeur alors que le vertisol est engorgé et très mal ou pas drainant.

## VI. — CONCLUSIONS

La tranchée de Laminia recoupe les altérations et les sols développés sur une roche basique plus ou moins granitisée qui constitue deux faciès.

En dehors d'un tronc commun principal, les deux faciès pétrographiques présentent des spécificités dans la taille et la forme des grains, et dans les variétés minéralogiques.

Le faciès amphibolite à grains moyens à baguettes d'amphiboles contient notamment des épidotes et de la chlorite.

Le faciès amphibolopyroxénite, à gros grains d'amphiboles, montre du microcline et des pyroxènes.

Les différentes méthodes d'approche : calculs isovolumétriques, isoalumine, isotitane, traitement statistique des analyses montrent une bonne convergence des résultats. Il faut y voir :

— la preuve d'une évolution verticale dans des matériaux directement issus des roches,

— des comportements identiques dans les deux filiations correspondant aux caractères identiques des roches de départ : ainsi la même mobilité des alcalins et alcalino-terreux,

— des comportements différents notamment en ce qui concerne le fer, le manganèse et le potassium.

L'observation de terrain indique qu'avec des facteurs pédogénétiques semblables exceptée une très faible différence au niveau de la roche, les différenciations pédologiques importantes se placent au niveau de la classe. L'amphibolite à épidote et chlorite spécifiques développe un vertisol modal à nodules calcaires. L'amphibolopyroxénite à pyroxènes et microcline spécifiques développe un sol brun eutrophe ferruginisé.

On peut avancer deux hypothèses :

— les couples épidote-chlorite et pyroxène-microcline sont responsables respectivement des altérations où figurent le calcium et le fer. L'épidote et le pyroxène dont l'altération est précoce sont déterminants.

— le potassium engagé dans des minéraux différents et dont l'évolution est différente dans les deux sols joue un rôle dans cette différenciation.

Cet exemple montre que si la « lithodépendance » des sols vis-à-vis des roches-mères est d'observation courante, certains mécanismes fins, à seuil, peuvent au niveau de l'altération du minéral ou du facteur physico-chimique guidant l'altération, induire et amplifier les différenciations jusqu'à aboutir à une quasi-contradiction de la filiation « normale » sol-roche.

### REMERCIEMENTS :

Les auteurs remercient vivement Messieurs PEDRO, RUELLAN, TARDY et PION pour leurs critiques et suggestions et Mademoiselle H. PAQUET pour ses déterminations de minéraux argileux.

*Manuscrit reçu visé au SCD le 24 mai 1973*

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.), 1965a. — Classification des sols. Tableaux des classes, sous-classes, groupes et sous-groupes des sols utilisés par la Section de Pédologie de l'ORSTOM. *Cah. ORSTOM, sér. Pédologie*, vol. III, n° 3.
- AUBERT (G.), 1965b. — La classification pédologique utilisée en France. *Symp. intern. 3. Class. des sols*, pp. 25-56. Gand.
- BASSOT (J.P.), 1963. — Etude géologique du Sénégal-Oriental et de ses confins guinéomaliens. *Mém. BRGM*, n° 40.
- BLOT (A.), PION (J.C.), WACKERMANN (J.M.), 1973. — Un exemple de corrélation de rang en géochimie : les altérations du socle birrimien en zone tropicale sèche (Sénégal-Oriental et Haute-Volta). *Cah. ORSTOM, sér. Géologie* (sous presse).
- BOCQUIER (G.), 1971. — Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad, Interprétation biogéodynamique. Thèse Sci. Nat. Strasbourg, 364 p. multigr.
- FLANAGAN (F.J.), 1957. — Semi-quantitative spectrographic analyses and rank correlation in geochemistry. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, vol. 12, 4, pp. 315-322.
- GOLDICH (S.S.), 1938. — A study in rock weathering. *Journ. Geol.*, vol. 46.
- KALOGA (B.), 1966. — Notice explicative de la carte pédologique du Sénégal à 1/200 000°. Feuille Dalafi. Centre ORSTOM de Dakar. Multigr.
- KÖSTER (H.M.), 1961. — Comparaison entre quelques méthodes pour l'examen des processus géochimiques qui se déroulent au cours de l'altération atmosphérique des roches. *Bertr. Mineral. Petrogr. Dtsch.*, t. 8, n° 2. Traduction BRGM, n° 4026.
- LELONG (F.), 1967. — Nature et genèse des produits d'altération de roches cristallines sous climat tropical humide (Guyane Française). Thèse Fac. Sci. Nancy. *Sci de la Terre, Mém.*, n° 14, Nancy.
- LENEUF (N.), 1959. — L'altération des granites calco-alcalins et des granodiorites en Côte d'Ivoire forestière et les sols qui en sont dérivés. Thèse Sci. Nat., Paris, 212 p.
- MICHARD (G.) et TREUIL (M.), 1969. — Réflexions sur l'utilisation des corrélations entre éléments traces en géochimie. *Bull. Soc. Géol. de Fr.*, 7<sup>e</sup> série, t. XI, n° 4.
- MILLOT (G.) et BONIFAS (M.), 1955. — Transformation isovolumétrique dans les phénomènes de latéritisation et bauxitisation. *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, t. 8, fasc. 1, pp. 3-10.
- PAQUET (H.), 1969. — Evolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranéens et tropicaux à saisons contrastées. Thèse Sci. Nat. Strasbourg, 348 p. multigr.
- PEDRO (G.) et DELMAS (A.B.), 1970. — Les principes géochimiques de la distribution des éléments traces dans les sols. *Ann. Agron.*, 21, (5).
- SIEGEL (S.), 1956. — Non parametric statistics for the behavioral sciences. Mac Graw-Hill Edit.
- WITSCHARD (F.), 1965. — Contribution à l'étude géologique, pétrographique et métallogénique des massifs granitiques du Sénégal-Oriental. *Mém. BRGM*, n° 44.