

Etude d'une climatoséquence dans l'île de la Réunion

Claude ZEBROWSKI

Pédologue de l'ORSTOM

RÉSUMÉ

Sur le versant occidental du massif du Piton des Neiges, dans l'île de la Réunion, est étudiée une séquence de sols dans laquelle on observe le passage des sols ferrallitiques aux andosols puis aux podzols. Les roches mères, volcaniques, étant de composition et d'âge semblables, ce sont les éléments du climat (température et précipitations) qui ont été rendus responsables des variations morphologiques et physico-chimiques observées dans les sols, de bas en haut de séquence.

A l'augmentation des précipitations correspondent une plus forte lixiviation des bases, une diminution de la synthèse des minéraux de la famille de la kaolinite au profit de la gibbsite, et un état d'humidité plus prolongé des sols, favorable au maintien des produits amorphes.

La diminution de la température, corrélative à l'augmentation des précipitations, favorise l'accumulation d'une matière organique riche en acides fulviques, qui, par leur action dégradante, entraînent un phénomène de podzolisation. Celui-ci serait en partie responsable de la dégradation de la gibbsite dans la partie supérieure des profils.

La présence de phytolithes dans les sols situés en haut de séquence, où l'intensité du processus de podzolisation est maximum, permet la différenciation des horizons A_2 et B_h caractéristiques des podzols.

ABSTRACT

On the oriental side of the « Piton des Neiges » range on the island « of la Réunion », according to the research findings, there is a sequence of soils as follows : ferrallitic soils, andosols and podzols.

Since the original volcanic rock is of similar composition in terms of chemical and organic structure as well as in terms of age, the decisive factors when explaining the established morphological and physico-chemical variations in the soils are those connected with the climatical elements (temperature and precipitations).

Concomitant with increased rainfall, there is a stronger lixiviation of the bases, a reduction of the mineral of kaolinite in favour of the gibbsite synthesis, and a state of a more prolonged humidity of the soil itself ; this latter effect favours a preservation of the amorphous minerals in the soils.

A fall in temperature, in correlation with the increase in rainfall, brings about an accumulation of organic matter rich in fulvic acid which, in turn, sets in motion a process of podzolisation, this process explains the degradation of gibbsite in the soils.

The occurrence of phytolithes at the top of the soil sequence, where the intensity of the podzolisation process is also the most pronounced, is responsible for the formation of the layers A_2 and B_h , which characterize the podzol.

RESUMEN

Sobre la vertiente occidental del macizo del « Piton des Neiges » en la isla de « La Réunion » se ha estudiado una topografía y clima secuencia de suelos en la cual se observa el pasaje desde los suelos ferralíticos, los andosoles y los podzoles. Como el material parental, volcánico, es de composición y edad parecida, son los elementos del clima (temperatura y precipitaciones) los responsables de las variaciones morfológicas y fisicoquímicas observadas en los suelos, de arriba abajo de esta secuencia.

Conforme aumentan las precipitaciones, aumenta la lixiviación de bases, disminuyendo la síntesis de los minerales de la familia de la Kaolinita con la formación de gibbsita y de materiales amorfos.

La disminución de la temperatura es correlativa al aumento de las precipitaciones y favorece la acumulación de una materia orgánica rica en ácidos fulvicos que, por su acción en la transformación de los minerales, produce el fenómeno de podzolisación. Este fenómeno sería en parte responsable de la alteración de la gibbsita en la parte superior de los perfiles.

La presencia de fytolitos en los suelos situados en la parte superior de esta secuencia, donde la intensidad del proceso de podzolisación es máxima, permite la diferenciación de los horizontes A_2 y B_{h1r} que caracterizan los podzoles.

PLAN

INTRODUCTION

1. GÉNÉRALITÉS

2. LES SOLS

2.1. Morphologie

2.2. Variation des caractéristiques morphologiques en fonction de l'altitude.

2.3. Caractéristiques analytiques.

3. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

3.1. Evolution des sols

3.2. Caractères morphologiques et analytiques

4. ROLE DU CLIMAT DANS L'ÉVOLUTION DES SOLS

5. CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

INTRODUCTION

Les études de cartographie pédologique effectuées dans l'île de la Réunion (Riquier, 1960 ; Zebrowski, 1973) ont montré qu'il existe, sur de faibles distances, des variations rapides des caractéristiques des sols. Ces variations aboutissent à des types de sol très différents et peuvent être attribuées à l'âge des roches-mères, ou bien, lorsqu'elles apparaissent régulièrement en fonction de l'altitude, à une variation des éléments du climat.

Nous avons cherché à préciser quelle pouvait être l'influence du climat seul. Pour cela, une toposéquence a été étudiée sur un versant de l'île dans une région où la roche-mère est constante et où la variation des éléments du climat en fonction de l'altitude est bien marquée. Cette toposéquence est caractérisée par le passage des sols ferrallitiques à des andosols puis à des podzols. Mais, alors que la variation entre les caractéristiques morphologiques des sols ferrallitiques et des andosols est progressive avec l'altitude, la transition entre les andosols et les podzols est brutale. Nous avons donc été amené à étudier le passage d'un type de sol à l'autre de façon détaillée.

Des études morphologiques et analytiques ont été réalisées sur 11 profils. Les critères morphologiques ont permis de regrouper ces profils en 4 types distincts.

Par contre, les caractéristiques analytiques de l'ensemble des profils sont présentées de façon continue. On pourra ainsi préciser non seulement les processus pédogénétiques dans chaque type de sol défini morphologiquement, mais encore suivre la variation de leur intensité en fonction de l'altitude.

La variation de l'intensité des processus pédogénétiques, dont la cause sera recherchée dans les différences climatiques de bas en haut de séquence, permettra d'expliquer le passage d'un type de sol à l'autre.

Enfin, certaines caractéristiques des sols étudiés pourront être expliquées par l'interaction de différents processus pédogénétiques.

1. GÉNÉRALITÉS

Localisation et géologie

L'île de la Réunion, située entre 20°51' et 20°28' de latitude Sud et entre 55°13' et 55°51' de longitude Est, est une île entièrement volcanique. Les émissions

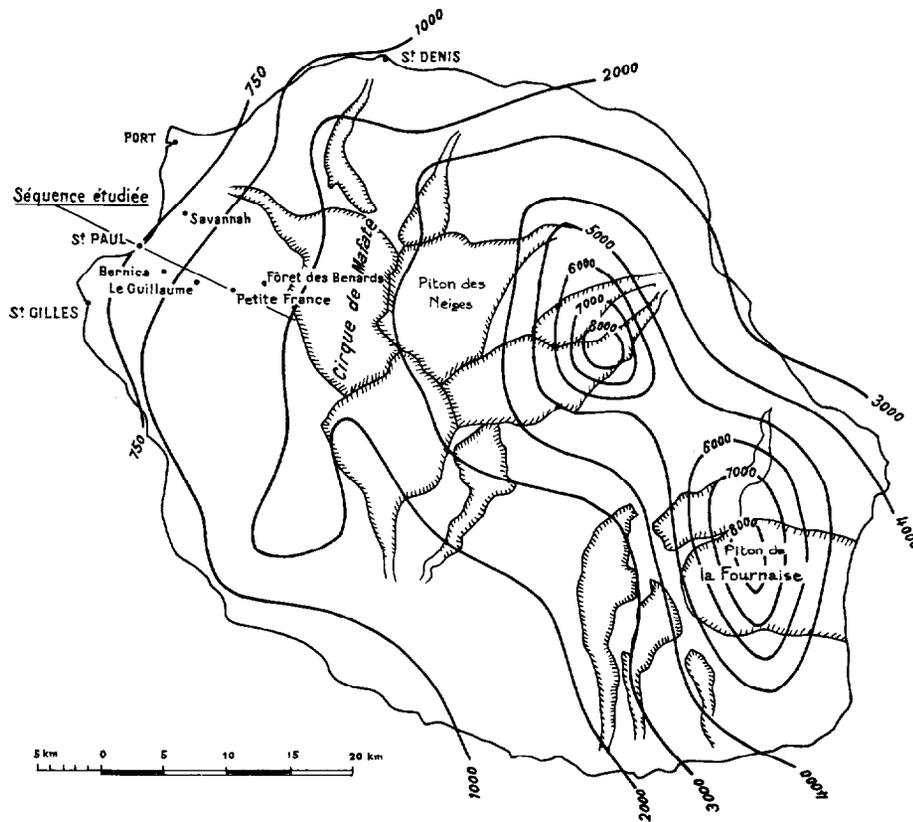


FIG. 1. — Carte de situation et de pluviométrie.

sous forme de matériaux pyroclastiques ou de coulées scoriacées, sont essentiellement basiques. Les plus anciennes ont formé dans la partie Nord Ouest de l'île un massif dont le plus haut sommet, le « Piton des Neiges », culmine à 3 069 m. Les plus récentes, dont les manifestations sont encore actuelles, forment dans la partie Sud le massif du « Piton de la Fournaise ».

La séquence est située (fig. 1) sur le versant Ouest du massif du Piton des Neiges, le long d'une ligne de plus grande pente joignant le bord du cirque de Mafate, à 2 000 m d'altitude, à Saint-Paul au niveau de mer. La pente, régulière, est de 17 %.

Les roches-mères ont une composition pétrographique assez constante. Ce sont des laves mésocrates andésitiques ou basaltiques, le plus souvent aphanitiques, mais pouvant contenir de fins cristaux de plagioclase ou d'olivine. Dans toutes ces roches, le plagioclase est du labrador oscillant entre 50 et 65 %

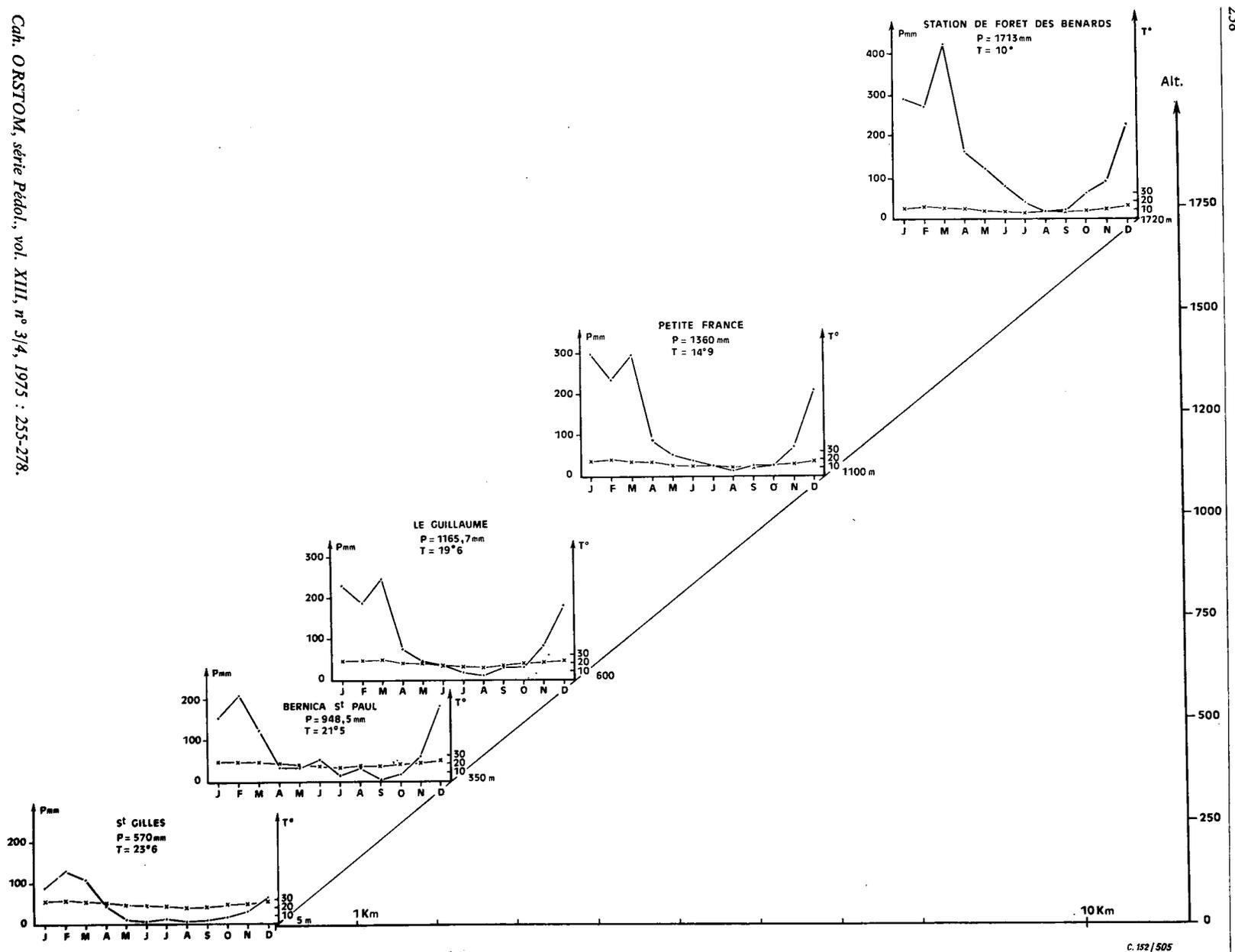
d'anorthite, quelquefois de l'andésine à 45-50 % d'anorthite.

Des datations effectuées par McGougall (1971) montrent que ces roches ont, sur toute la longueur de la séquence, un âge relativement constant, compris entre 210 000 et 250 000 ans. Il en résulte que la totalité des sols dérivent de roches anciennes.

Climat

Le climat est tropical, avec une saison sèche d'avril à octobre, et une saison des pluies de novembre à mars. Mais le relief accusé de l'ensemble de l'île a une influence très marquée sur les composantes du climat.

Des stations météorologiques voisines de la séquence ont permis de dresser la variation de la pluviosité et de la température en fonction de l'altitude (fig. 2).



c. 152 / 505

FIG. 2. — Pluviosité et températures en fonction de l'altitude.

De « St Gilles », au niveau de la mer », à « Bernica » situé à 350 m, les précipitations augmentent assez rapidement ; elles passent de 570 mm à près de 950 mm. Puis elles augmentent plus lentement et régulièrement avec l'altitude pour atteindre 1713 mm à la station de « Forêts des Bénards » à 1720 m. Inversement, la température moyenne annuelle diminue très régulièrement avec l'altitude : de 23°6 à « St Gilles », elle passe à 10° à la station de « Forêts des Bénards ».

La durée de la saison sèche diminue également avec l'altitude (fig. 2).

Végétation

Dans la partie inférieure de la séquence, la végétation naturelle a disparu, remplacée par les cultures.

Jusqu'à une altitude de 800 m, la canne à sucre est cultivée ; de 800 à 1 200 m, c'est la culture du géranium qui domine. Au-dessus de 1 200 m apparaît la forêt à tamarins (*Acacia heterophylla*), bambous (*Nastus borbonicus*) et fougères (*Pteris incisa* et *Asplenium* sp.).

Situation des profils

Au total 11 profils dénommés RZ 1 à RZ 11 sont présentés dans cette étude. Leur situation sur la toposéquence est indiquée sur la figure 3. Sur cette même figure sont également indiquées les variations des caractéristiques climatiques.

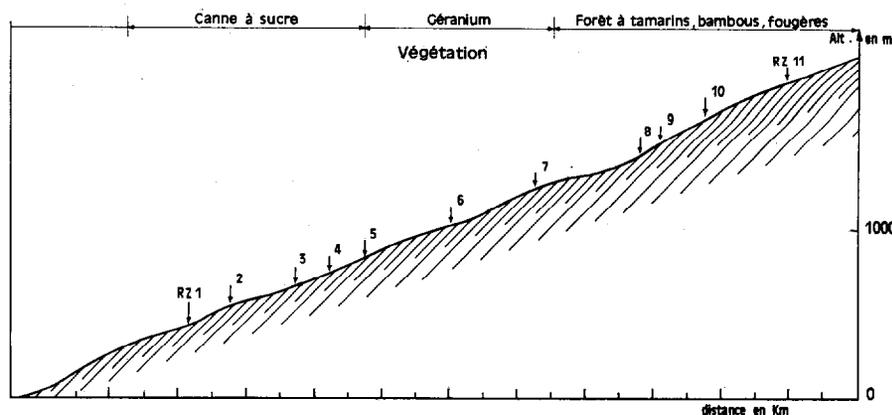
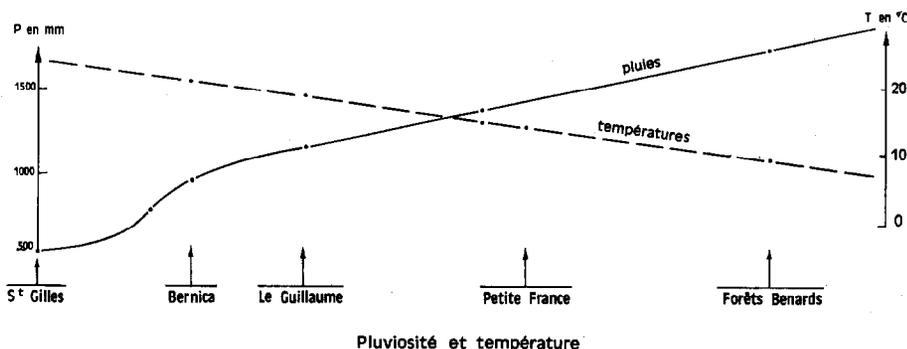


FIG. 3. — Situation des profils.

2. LES SOLS

2.1. Morphologie

Quatre groupes de sols correspondant à quatre types de morphologie différente ont été distingués en fonction de l'altitude.

TABLEAU 1
Répartition des profils étudiés

Type de sol	I	II	III	IV
Altitude (m)	350 à 650	650 à 900	900 à 1 500	1 500 à 1 900
Profils	RZ 1, RZ 2, RZ 3	RZ 4, RZ 5	RZ 6, RZ 7, RZ 8, RZ 9	RZ 10, RZ 11

Les profils RZ 2, RZ 5, RZ 9 et RZ 10, représentatifs de chaque groupe de sol, sont décrits en annexe.

Le test de Fieldes et Perrott (1966) a été appliqué systématiquement sur tous les profils. Il donne une indication sur la possibilité de présence des produits alumineux amorphes dans les sols.

2.1.1. SOLS DU TYPE I

Ils sont caractérisés par :

- Un horizon humifère assez épais (30 à 40 cm),
- Un horizon B de 60 à 80 cm d'épaisseur,
- Un passage de cet horizon B à la roche altérée, toujours brutal.

La couleur est brune dans l'horizon humifère, brun-rougeâtre dans l'horizon sous-jacent.

La teinte de celui-ci est toujours comprise dans la planche des 5 YR du « Munsell Soil Color Chart ».

La texture est argileuse sur l'ensemble du profil.

La structure est nette à très nette sur tout le profil. Dans l'horizon B, la cohésion entre les agrégats est forte, ce qui rend le sol résistant à l'outil.

Le test au fluorure de sodium est négatif dans tous les horizons.

2.1.2. SOLS DU TYPE II

Ils sont caractérisés par :

- Un horizon humifère d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur,

- Un horizon B de 50 à 60 cm,
- Un horizon B-C dans lequel le passage de la terre fine à la roche altérée est brutal.

La couleur est brun foncé, la teinte de l'horizon B est toujours située dans la planche des 7,5 YR.

La texture est argileuse en sommet de profil, argilo-limoneuse en bas de profil.

La structure est fragmentaire nette dans les horizons B-C. Les éléments structuraux ont dans l'horizon B des faces luisantes. La cohésion des éléments structuraux est moins forte que dans le cas des sols précédents.

Le test au fluorure de sodium montre qu'une légère coloration rose du papier imprégné de phénolphtaléine se développe au bout de 20 secondes.

2.1.3. SOLS DU TYPE III

Ils sont caractérisés par :

- Un horizon humifère de 15 à 20 cm,
- Un horizon B de 40 à 70 cm,
- Un horizon B-C.

La couleur est brun à brun foncé, la teinte de l'horizon B est toujours comprise dans la planche des 10 YR.

La texture limono-argileuse en début d'horizon B paraît argilo-limoneuse à la base de cet horizon. Le sol a un toucher onctueux.

La structure est grumeleuse fine dans l'horizon A. Elle est massive dans la partie supérieure de l'horizon B dans lequel les mottes s'effritent en éléments polyédriques émoussés friables. Elle est, par contre, mieux marquée à la base de cet horizon où de petits éléments structuraux polyédriques s'individualisent.

La cohésion est très faible dans l'horizon humifère, faible en début d'horizon B, plus forte à la base de ce dernier.

Le test au fluorure de sodium est positif ; la coloration rouge se développe en moins de 20 secondes.

2.1.4. SOLS DU TYPE IV

Ils sont caractérisés par :

- Un horizon humifère A₁, peu épais, très friable sur lequel repose une litière de quelques centimètres d'épaisseur.

— Un horizon appauvri A₂, d'une dizaine de centimètres, d'aspect cendreau. La texture est limoneuse (54 % de limons fins, 20 à 22 % de limons grossiers). L'examen microscopique a montré que ces limons sont constitués de phytolithes particules siliceuses d'origine végétale décrites par Riquier (1960).

— Un horizon d'accumulation humifère Bh qui, dans certains cas (profil RZ 11), présente quelques petites taches rouille d'oxyde de fer dans sa partie supérieure. L'horizon d'accumulation est alors humo-ferrugineux,

— Un horizon B dont la teinte est dans la planche des 10 YR. La texture est limono-argileuse. La structure est polyédrique fine peu nette et la cohésion entre agrégats moyenne,

— Un horizon B-C.

Ces sols ont donc la morphologie de podzol humique, parfois humo-ferrugineux.

Le test au fluorure de sodium est négatif dans les horizons A, fortement positif dans les horizons B.

2.2. Variation des caractéristiques morphologiques en fonction de l'altitude

Les critères retenus pour distinguer les types de sol (tabl. 2) sont, d'une part, la différenciation des horizons dans les profils, d'autre part, certaines caractéristiques morphologiques des horizons B (couleur, texture, structure, cohésion), ainsi que la réaction au test au fluorure de sodium de ces horizons.

TABLEAU 2

Principales caractéristiques morphologiques des horizons distinctifs des sols

Altitude en mètres	Type de sol	Différenciation en Horizons	Caractéristiques des horizons B				
			Couleur	Texture	Structure	Cohésion	Réaction au test au NaF
1 900 à 1 500	IV	A, A ₂ , B _{H, Fe} , B	Brun à brun jaunâtre foncé 10 YR	limono-argileux	Peu nette Polyédrique subanguleuse fine Friable	Meuble à légèrement cohérent	+++
1 500 à 900	III	A, B	Brun à brun jaunâtre 10 YR	limono-argileux	Peu nette Massive à polyédrique subanguleuse fine Friable	Meuble à légèrement cohérent	+++
900 à 650	II	A, B	Brun foncé à brun jaunâtre foncé 7,5 YR	argileux à argilo-limoneux	Nette Polyédrique fine à moyenne Peu friable Faces luisantes	Cohérent	+
650 à 350	I	A, B	Brun rougeâtre 5 YR	argileux	Très nette Polyédrique fine Très peu friable	Très cohérent	—

L'évolution des caractéristiques des horizons B est régulière des sols du type I à ceux du type III.

— la teinte de 5 YR passe progressivement à 7,5 YR puis à 10 YR,

— la texture, argileuse en bas de séquence, devient argilo-limoneuse puis limono-argileuse,

— la structure est d'autant plus nette et la cohésion d'autant plus forte que les sols sont situés à plus basse altitude,

— la réaction au fluorure de sodium, d'autant plus nette que les sols sont situés à plus haute altitude, montre que la quantité de produits alumineux amorphes augmente régulièrement avec l'altitude.

Par contre, les sols du type IV, qui présentent des horizons B dont les caractéristiques sont identiques à celles des sols du type III, s'en distinguent très nettement par leur morphologie d'ensemble qui les rapproche des podzols. Alors que le passage des sols du type I à ceux du type III est progressif, il est brutal dans le cas des sols du type II aux sols du type IV.

2.3. Caractéristiques analytiques

2.3.1. CARACTÉRISTIQUES HYDRIQUES

Les teneurs en eau des sols en place ont été déterminées sur des prélèvements effectués au mois d'avril 1971, c'est-à-dire en fin de saison des pluies après une période de ressuyage de 8 jours (fig. 4).

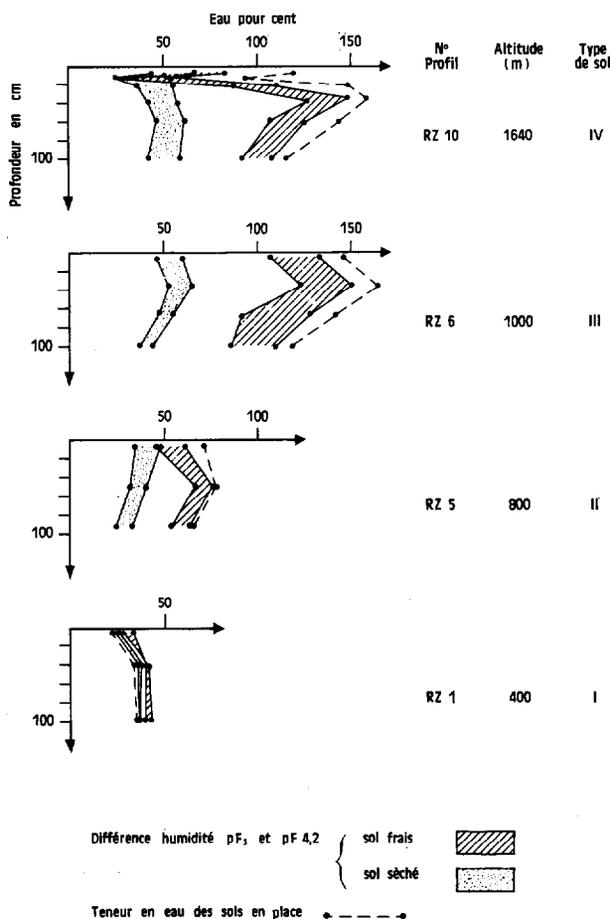


FIG. 4. — Teneurs en eau en % de sol séché à 150°.

Dans les horizons B, les teneurs en eau sont comprises entre :

- 30 à 40 % pour les sols de type I,
- 60 à 75 % pour les sols de type II,
- 140 à 170 % pour les sols de type III et IV.

Des mesures effectuées au cours de la saison sèche ayant donné des valeurs peu différentes de celles obtenues à la fin de la saison des pluies, ces valeurs peuvent être considérées comme caractéristiques des types de sol. Elles correspondent non seulement à une augmentation de la capacité de rétention en eau en fonction de l'altitude, mais également à un état d'humidité du sol au cours de l'année, croissant de bas en haut de la séquence.

Les teneurs en eau à pF 3 et 4,2, déterminées sur échantillons frais, et comparées à celles obtenues sur échantillons séchés à l'air pendant un mois, montrent que l'irréversibilité de la dessiccation est d'autant plus prononcée que la capacité de rétention en eau des sols est plus forte (fig. 4).

Cette augmentation de l'irréversibilité de la dessiccation et de la capacité de rétention en eau des sols avec l'altitude est à mettre en relation avec l'accroissement des teneurs en produits amorphes des sols du type I à ceux des types III et IV. Ces derniers ayant des caractéristiques hydriques qui les rapprochent des sols fortement allophaniques décrits par Colmet-Daage (1967).

2.3.2. GRANULOMÉTRIE

L'analyse granulométrique a été effectuée par la méthode pipette de Robinson avec dispersion à l'hexamétaphosphate de sodium après destruction de la matière organique par l'eau oxygénée. Un prétraitement déferrifiant (acide chlorhydrique à 2 %) a été nécessaire afin d'améliorer la dispersion des sols des types II à IV. Malgré ce prétraitement la dispersion de ces sols est incomplète et les résultats de l'analyse granulométrique (tabl. 3) ne rendent pas compte du degré d'altération des horizons B de la totalité des sols de la séquence.

Seuls les sols du type I possèdent des teneurs en argile élevées (58 à 73 %). Dans les sols du type II à IV, les teneurs en argile ne dépassent pas 16 % de sol séché à l'air (soit 20 % de sol séché à 105°), ce qui entre en contradiction avec l'appréciation texturale faite sur le terrain. Les fractions granulométriques grossières étant en fait constituées de pseudoparticules avec peu de sables vrais, ces faibles teneurs en

TABLEAU 3

Granulométrie dans les horizons B (en % de terre séchée à l'air)

Type de sol	Humidité	Argile 0-2 μ	Limon fin 2-20 μ	Limon grossier 20-50 μ	Sable fin 50-200 μ	Sable grossier 200-2 000 μ
I	12,7 - 14,4	58,2 - 73,1	11,8 - 16,0	1,2 - 5,0	1,6 - 3,9	1,0 - 2,6
II	15,0 - 18,8	11,0 - 11,2	14,3 - 19,4	6,8 - 8,6	25,9 - 26,5	7,0 - 25,3
III	26,4 - 28,1	6,1 - 15,5	6,4 - 15,5	3,1 - 7,6	19,6 - 27,4	0,8 - 9,0
IV	31,1	4,3	16,7	6,3	18,0	0,9

argile résultent d'une mauvaise dispersion essentiellement due à la présence de produits amorphes.

2.3.3. MATIÈRE ORGANIQUE

Les caractéristiques de la matière organique totale ont été déterminées, pour le carbone par la méthode Walkley et Black, pour l'azote par la méthode Kjeldal. Les acides fulviques et humiques ont été extraits par le pyrophosphate de sodium $\frac{M}{10}$.

La variation de ces caractéristiques de bas en haut de séquence est montrée dans la figure 5 où, pour sept profils représentatifs des sols du type I à IV, sont indiqués :

— les teneurs en carbone (en p. 1 000 de sol sec) des acides fulviques,

— les teneurs en carbone de la partie humifiée extractible au pyrophosphate (AH + AF),

— les teneurs en carbone total,

— le pourcentage d'acide fulvique par rapport au carbone total $\left(\text{rapport } \frac{AF}{CT} \times 100 \right)$.

Cette figure montre que :

— les teneurs en carbone total augmentent régulièrement de bas en haut de la séquence : de 24 ‰ de carbone dans l'horizon humifère du profil RZ 1, elles passent à 130 ‰ de carbone pour 100 g de sol dans l'horizon humifère du profil RZ 11. Il en est de même des teneurs en acides fulviques qui augmentent tant en valeur absolue qu'en proportion par rapport au carbone total $\left(\text{augmentation du rapport } \frac{AF}{CT} \times 100 \right)$.

— les sols du type IV se distinguent nettement des sols précédents par la répartition du carbone total dans le profil : les teneurs en matière organique passent par un minimum dans l'horizon A₂ (16 à 30 ‰), puis par un maximum dans l'horizon B_h (87 à 118 ‰ de carbone).

Les acides fulviques présentent une répartition analogue : comprises entre 1,8 et 2,3 ‰ de carbone dans l'horizon A₂, les teneurs en acides fulviques passent à 37-43 ‰ de carbone dans l'horizon B_h.

Ce lessivage des acides fulviques des horizons de surface suivi d'une accumulation en profondeur se retrouve également dans le profil 9. Il rapproche donc ce profil, qui est situé à l'altitude la plus élevée des sols du type III, de ceux du type IV.

2.3.4. COMPLEXE D'ÉCHANGE

La capacité d'échange et la somme des bases échangeables ont été déterminées sur le sol séché à l'air par percolation d'une solution d'acétate d'ammonium à pH 7 pour extraire les bases échangeables, puis par percolateur d'une solution de chlorure de calcium tamponné à pH 7, elle-même déplacée par une solution de nitrate de potassium N afin de déterminer la capacité d'échange.

Le tableau 4 dans lequel sont indiquées les valeurs que prennent la somme des bases échangeables, le taux de saturation et le pH dans les horizons B des profils 1 à 12 montre que la désaturation des profils est :

— faible dans les sols du type I,

— relativement forte dans les sols du type II,

— très forte dans les sols du type III et IV.

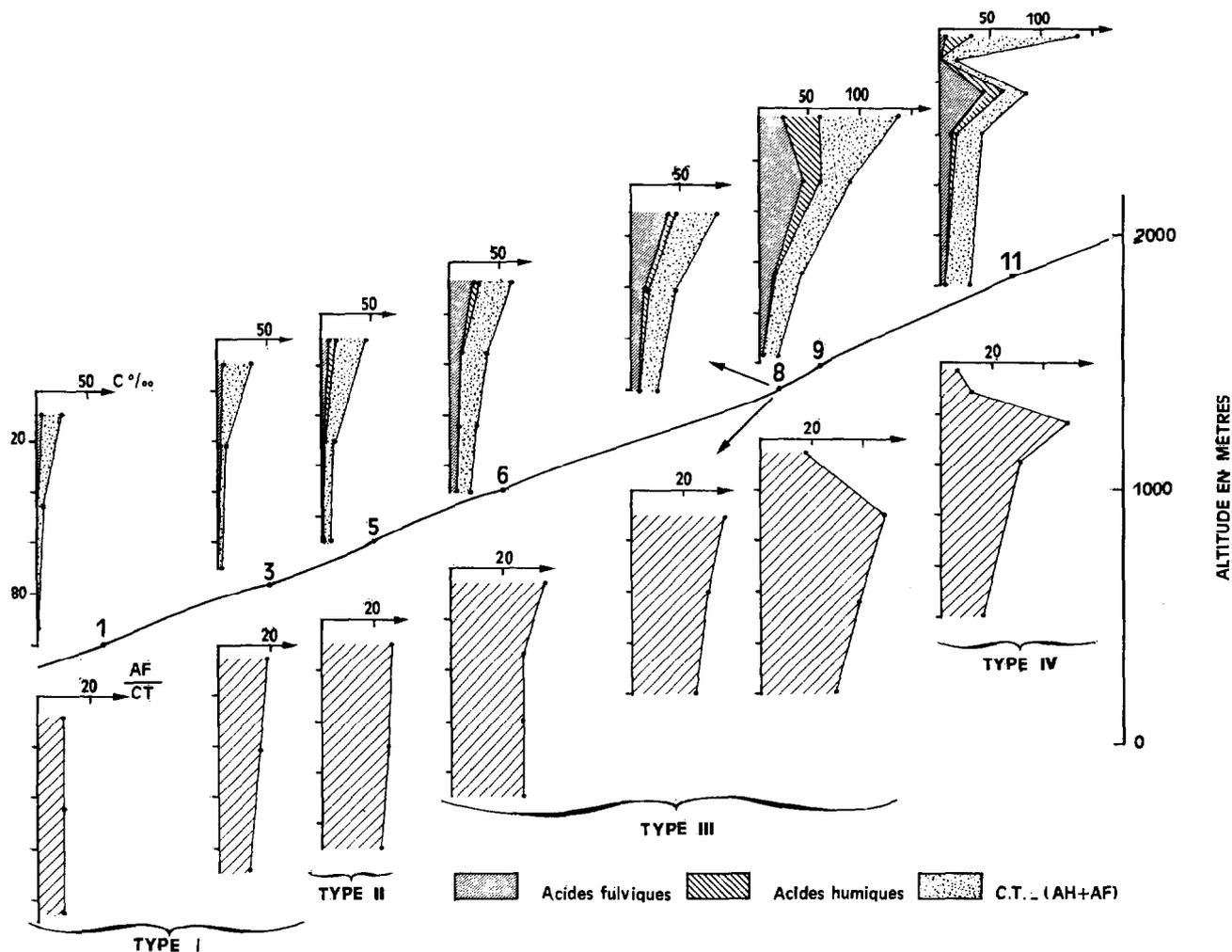


FIG. 5. — Matière organique.

Cette désaturation du complexe absorbant, progressive dans les cas du profil 1 au profil 6, à partir duquel elle est maximum, est une conséquence directe de l'augmentation des précipitations avec l'altitude.

L'allure des courbes représentatives de la variation du pH dans chaque profil (fig. 6) permet de distinguer :

— Les sols dans lesquels le pH est relativement constant du haut en bas du profil.

— Les sols dans lesquels le pH est faible dans l'horizon humifère et augmente dans l'horizon sous-

jaçant. Cette allure de courbe, caractéristique des sols du type IV, se retrouve aussi dans le profil RZ 9 et permet encore de rapprocher ce profil de ceux du type IV.

Aluminium échangeable

L'aluminium échangeable a été extrait par agitation de 10 g de sol dans une solution de chlorure de potassium N pendant 1 heure. Il a été dosé par potentiométrie.

TABEAU 4

Caractéristiques du complexe d'échange dans les horizons B

Type de sol	I			II		III				IV	
Profil RZ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
S mé/100 g	8,9	7,7	5,9	1,74	0,98	0,21	0,12	0,18	0,11	0,27	0,25
T mé/100 g	12,4	13,1	13,5	9,9	11,2	10,1	15,4	15,5	13,9	15,4	18,5
S/T × 100	72	59	43	18	9	2,1	0,8	1,2	0,8	1,8	1,4
pH	6,4	6,1	5,8	5,7	5,5	5,5	5,3	4,8	4,8	5,4	4,4

Les teneurs en aluminium échangeable (tabl. 5) comparées aux teneurs en acides fulviques (fig. 5) montrent que l'action dégradante des acides fulviques sur le complexe absorbant minéral, qui se traduit par une libération de l'alumine, n'est sensible qu'à partir des sols du type III. Elle augmente rapidement avec l'altitude corrélativement à l'abaissement du pH dans les horizons des profils 6 à 9.

Dans les sols du type IV, l'alumine libre est lessivée

des horizons supérieurs et s'accumule dans l'horizon B_h.

2.3.5. ANALYSE AU RÉACTIF TRIACIDE

Les principales variables analytiques résultant de l'attaque triacide sont : la perte au feu, le résidu à l'attaque, la silice, le fer et l'alumine. Les résultats sont indiqués pour les profils 2, 4, 8, 9 et 10 dans la figure 7.

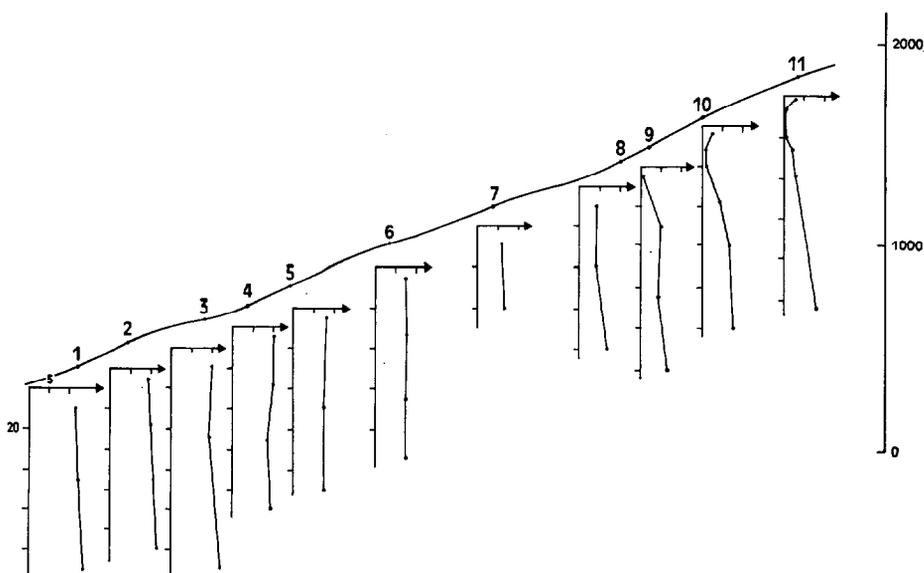


FIG. 6. — Variations du pH dans les profils.

TABLEAU 5

Al échangeable en mé/kg de terre sèche.

Type de sol	I			II		III				IV		
Profils	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Horizon A	0,8	0,5	1,2	1,15	1,15	1,8	12,5	14,5	24	A ₁	5,0	35,3
										A ₂	1,3	4,6
Horizon B	0,7	0,7	0,8	0,6	0,7	0,75	0,7	0,9	3	B _h	48,2	35
										B	0,7	2,7

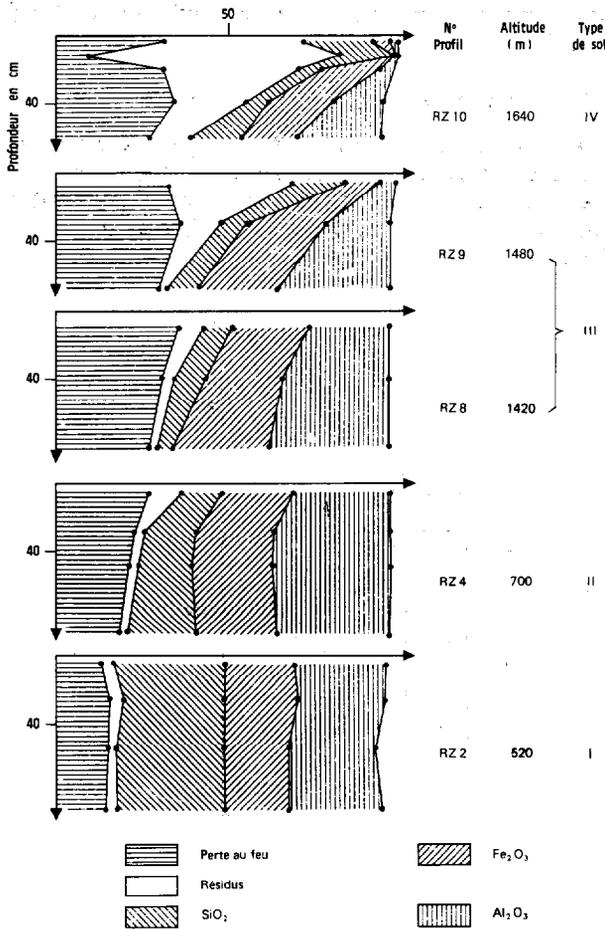


FIG. 7. — Analyse triacide.

La perte au feu

Elle augmente corrélativement avec les teneurs en eau et en matière organique des sols du type I à ceux des types III et IV.

Le résidu à l'attaque triacide

La basicité de la roche-mère et l'intensité de l'altération des sols se traduisent dans les horizons B par des résidus faibles (inférieurs à 5 %).

Les teneurs en résidu dans les horizons supérieurs des profils permettent de séparer les sols en 2 groupes :

— Les profils RZ 1 à RZ 8 dans lesquels le résidu reste faible dans l'horizon A, tout en étant supérieur ou égal à celui de l'horizon B.

— Les profils RZ 9 à RZ 11 dans lesquels le résidu est très élevé dans l'horizon A (30 à 40 %), puis décroît progressivement en profondeur après être passé, dans le cas des profils RZ 10 et RZ 11, par un maximum (55 à 73 %) dans l'horizon A₂.

Ces valeurs très élevées du résidu en surface ne peuvent être attribuées, dans le cas présent, à un rajeunissement des sols. L'examen microscopique des résidus montre en effet qu'ils sont constitués de phytolithes dont l'attaque par le réactif triacide n'a été que partielle.

Cette accumulation de particules siliceuses dans les horizons de surface est à la fois absolue (apport par la matière organique fraîche) et relative (lessivage du fer et de l'aluminium).

Le fer et l'aluminium

L'accumulation absolue des phytolithes dans les profils du haut de la séquence ne permet pas d'imputer seulement à un lessivage du fer et de l'alumine les différences observées entre les teneurs absolues de ces

éléments dans les horizons successifs des profils (tabl. 6 et 7).

Par contre, l'examen de ces chiffres montre que :

— l'aluminium et le fer ont un comportement semblable dans les sols des types I et II.

TABLEAU 6
Fe₂O₃ en p. 100 de sol

Type de sol	I			II		III				IV		
Profils RZ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11
Horizons A	25	20,2	20,2	20,2	21,2	19,7	18,3	22,2	10,9	A ₁	5,7	1,7
										A ₂	1,7	0,44
Horizons B	24,5	18,4	20,7	22,8	24,8	22,5	18	22,3	23,6	B _n	16,9 18,9	2,8 22,6
										B	16,3	17
Horizons B-C	24,3	18,7	20,0	23,4	28,5	19,0		27,3	23,3	21,3		17,6

TABLEAU 7
Al₂O₃ en p. 100 de sol.

Type de sol	I			II		III				IV		
Profils RZ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11
Horizons A	22,0	26,0	24,0	28,5	23,2	21,5	18,9	23,0	5,0	A ₁	3,3	0,8
										A ₂	0,5	0,24
Horizons B	26,2	24,7	24,4	34,5	34,4	26,8	23,4	31,5	18,3 31,3	B _n	4,0	1,8
										B	24,3	26,5
Horizons B-C	24,2	26,7	26,5	32,2	34,3	39,5		34,3	36,2	27,5		25,5

— dans les sols des types III et IV, l'aluminium est lixivié préférentiellement au fer. Cet entraînement de l'aluminium en profondeur est faible dans les cas des profils 6 à 8, fort dans le profil 9, maximum dans les profils 10 et 11.

Rapport SiO₂/Al₂O₃ (tabl. 8)

Les valeurs du rapport SiO₂/Al₂O₃ dans les hori-

zons B des profils permettent de distinguer les sols du type I avec un rapport SiO₂/Al₂O₃ proche de 2, des sols des types II, III et IV qui ont un rapport SiO₂/Al₂O₃ inférieur à 1.

A cette variation latérale du rapport SiO₂/Al₂O₃ indiquant un accroissement du degré d'allitisation, s'ajoute une variation verticale dans les sols des types III et IV. Ces derniers présentent une diminution du

rapport de haut en bas du profil. Cette diminution est faible dans les cas des profils RZ 6 à 8, forte dans les profils 9 et surtout 10 et 11. Bien que le lessivage en aluminium dans ces sols explique en partie cette dimi-

nution, c'est surtout la dissolution de la silice des phytolithes qui est responsable des valeurs élevées du rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ obtenues dans les profils 9 à 11.

TABLEAU 8
Valeur du rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

Type de sol	I			II		III				IV	
Profils RZ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Horizons A	1,9	2,1	1,7	0,7	0,9	0,9	0,7	0,7	5	A ₁ 10,2	45
										A ₂ 48,5	177
Horizons B	2,0	2,2	2,0	0,8	0,6	0,7	0,8	0,5	0,6	1	0,8
Horizons B-C	2,0	2,0	1,9	0,7	0,7	0,3		0,2	0,3	0,8	0,9

2.3.6. MINÉRALOGIE

L'analyse minéralogique a été effectuée sur la totalité de la terre fine. L'extraction des « produits amorphes » a été faite par des attaques successives HCl 8N, NaOH 0,5 N (Ségalen, 1968). Les minéraux cristallisés ont été déterminés par l'analyse thermique différentielle et par diffractométrie des RX sur poudre.

1° *Produit amorphes*

Les quantités de silice, fer et alumine extraites sont indiquées sur les figures 8 en pour cent d'élément par rapport au sol sec à 105°.

La détermination exacte des « produits amorphes » n'est possible que lorsque la courbe d'extraction présente une rupture de pente très nette et devient linéaire dans une partie de sa trajectoire. En fait, ce cas se présente rarement et la détermination des quantités de produits amorphes est souvent problématique. Par contre, l'allure des courbes permet de juger de la présence ou non de deux (ou plusieurs) phases de degré de cristallinité différent ainsi que de la rapidité avec laquelle les éléments sont extraits. Plusieurs éléments sont à prendre en considération dans l'allure des courbes :

— la rupture de pente : elle indique un changement dans la vitesse d'extraction donc rend compte de la présence de 2 ou plusieurs « phases » présentant un

degré de cristallinité différent. L'absence de rupture brusque de pente indique la présence d'une phase relativement homogène d'autant mieux cristallisée que la concavité de la courbe est moins prononcée.

— la forme de la rupture : plus la rupture est nette, plus les « phases » en présence ont des degrés de cristallinité différents.

— le pourcentage d'élément extrait à la première extraction par rapport à la quantité extraite à la rupture de pente : il rend compte de la facilité avec laquelle cet élément est extrait, donc de son caractère amorphe.

Nous dirons qu'une partie de l'élément est facilement extractible lorsque la courbe d'extraction a une pente forte et possède une rupture de pente nette (la quantité de cet élément est extrapolée en prolongeant la partie linéaire de la courbe).

L'élément facilement extractible est essentiellement sous forme amorphe lorsque le rapport de la quantité extraite en une extraction, est élevé par rapport à celle atteinte à la rupture de pente. Lorsque la rupture de pente est située à la première extraction, l'élément facilement extractible correspond à un produit amorphe.

Dans le cas des sols de la séquence, les courbes d'extraction présentent des allures différentes suivant les éléments, ainsi que, pour un même élément, d'un type de sol à l'autre :

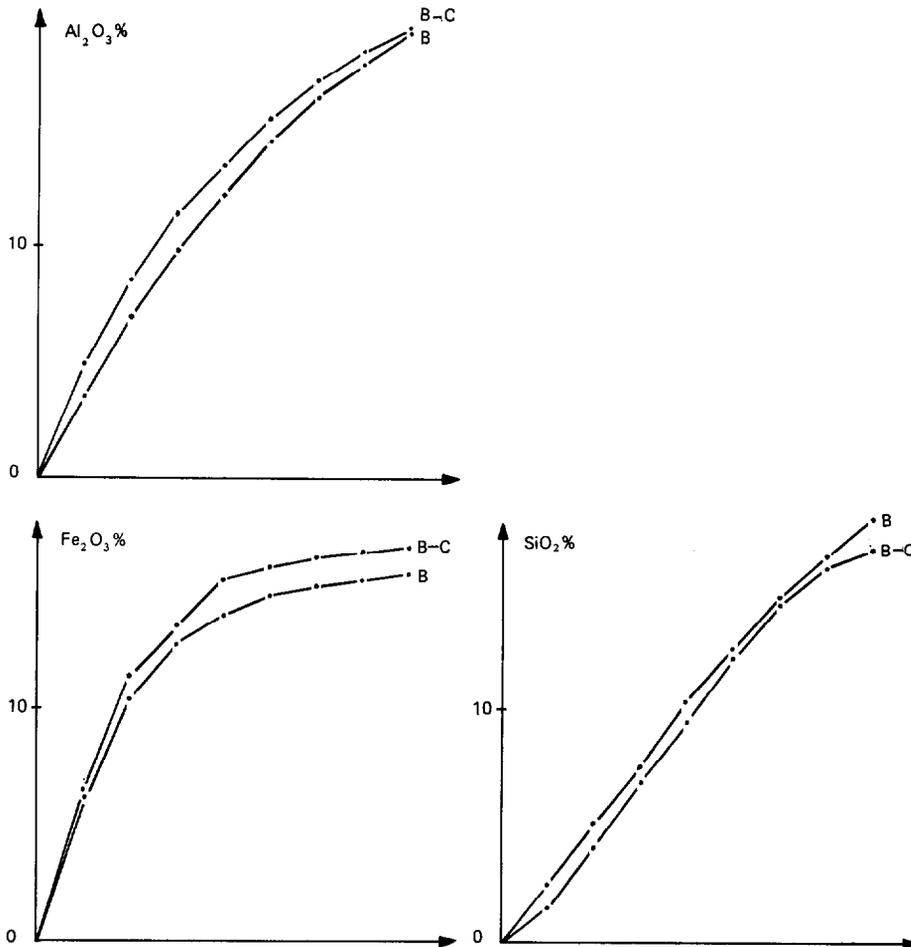


FIG. 8a. — Extraction des produits amorphes du profil RZ 2 (type I).

SOLS DU TYPE I (fig. 8a)

Ils ne contiennent pas ou peu de produits silico-alumineux amorphes. Les courbes d'extraction de la silice sont en effet rectilignes dans leur plus grande partie. Celles concernant l'alumine sont régulièrement incurvées. Les courbes d'extraction du fer montrent qu'une partie de cet élément est facilement extractible ; le tracé de la tangente montre que les teneurs en « fer facilement extractible » sont comprises entre 13 et 15 g de Fe_2O_3 pour 100 g de sol sec, soit 73 à 77 % du fer total triacide.

SOLS DU TYPE II (fig. 8b)

Les courbes d'extraction du fer, de la silice et de l'alumine ont des allures très voisines de celles des

sols du type I. Les courbes de silice et d'alumine présentent toutefois une rupture de pente légèrement plus marquée que dans le cas précédent (pour la silice à partir de la 4^e-5^e extraction, pour l'alumine à partir de la 5^e extraction), ce qui indique la présence, en faible quantité, de produits silico-alumineux facilement extractibles donc présentant un degré de cristallinité moins élevé que ceux des sols du type I.

SOLS DU TYPE III

Sur la figure 8c sont représentées les courbes d'extraction du fer, de la silice et de l'alumine du profil RZ 8, représentatifs des sols du type III ; sur la figure 8d, celles du profil RZ 9 qui se rapproche des sols du type IV par l'allure des courbes d'extraction dans l'horizon humifère.

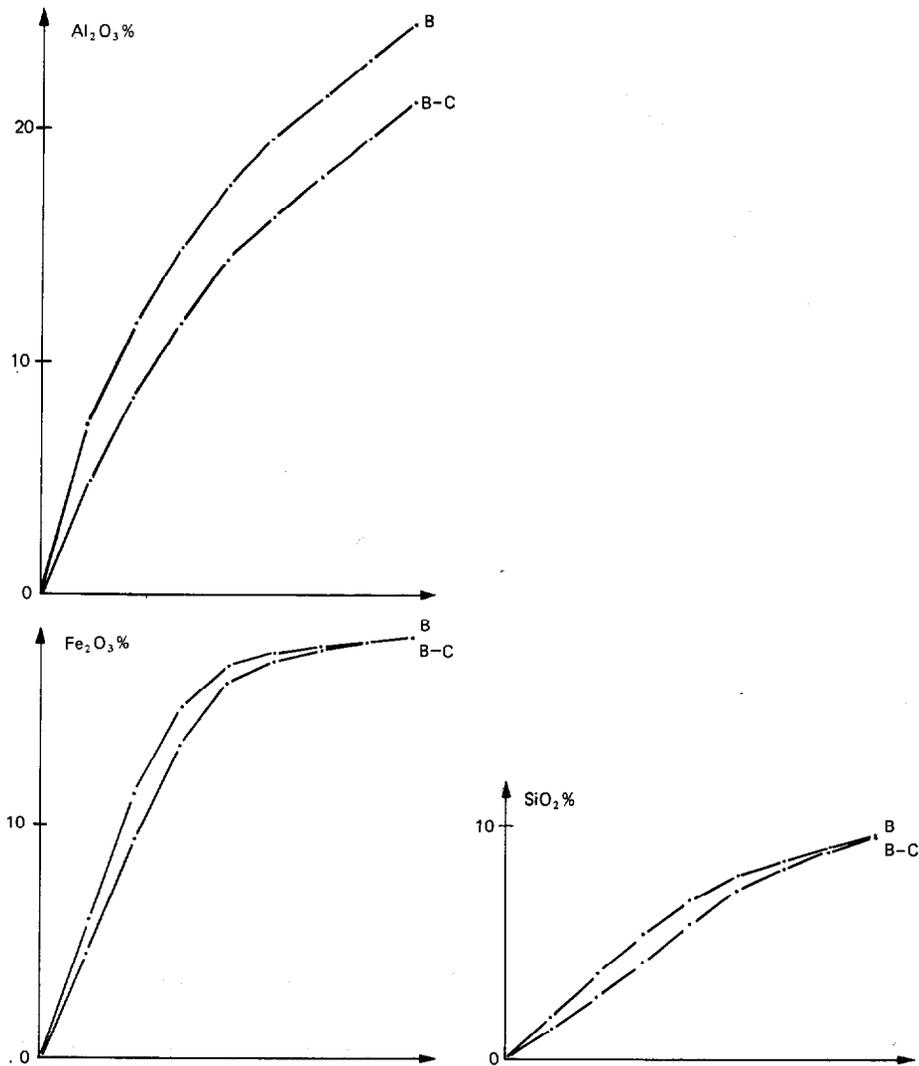


FIG. 8b. — Extraction des produits amorphes du profil RZ 5 (type II).

— Les courbes d'extraction du fer sont, exceptée celle de l'horizon A du profil RZ 9, assez semblables à celles des types I et II, mais les quantités de fer extraites à la 1^{re} extraction par rapport à celles extraites à la rupture de pente sont cependant plus élevées, ce qui indique un caractère amorphe plus prononcé du fer extrait dans cette première partie de courbe.

— Les courbes d'extraction de l'alumine, par les

allures différentes qu'elles présentent dans les divers horizons d'un même profil, montrant que la proportion d'alumine amorphe par rapport à l'alumine totale extraite diminue avec la profondeur. Elle est très forte dans l'horizon humifère, moyenne dans l'horizon B, faible dans l'horizon B-C, où, faute de pouvoir tracer une tangente, il n'est pas possible de déterminer les quantités d'alumine amorphe. Le degré de cristallinisation de l'alumine totale augmente donc avec la profondeur.

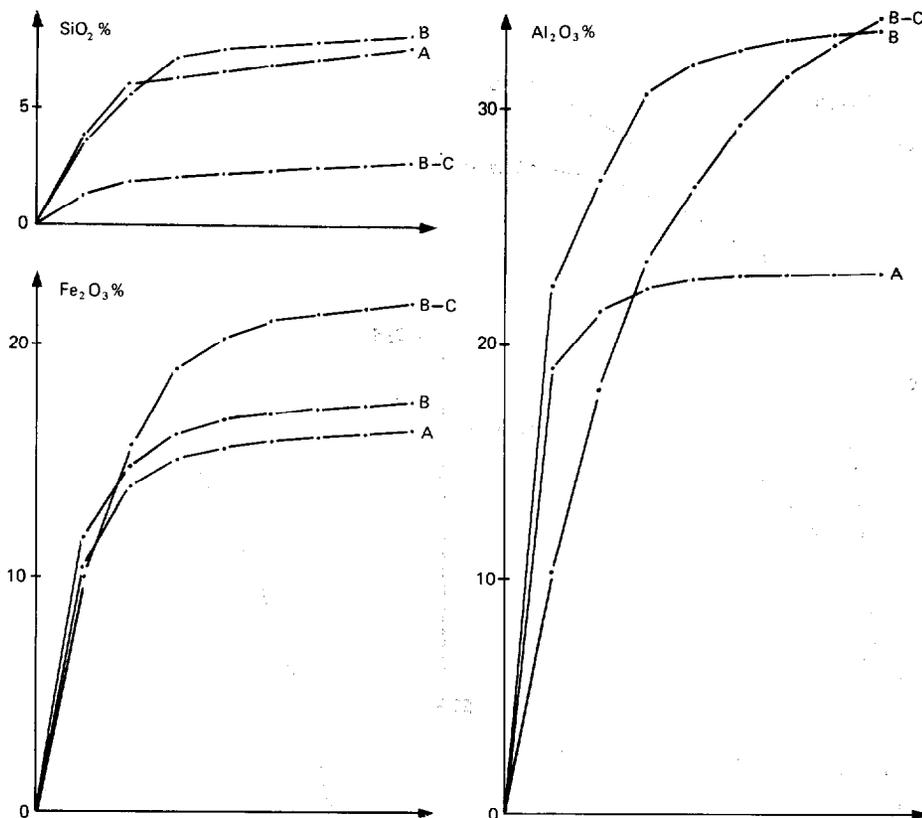


FIG. 8c. — Extraction des produits amorphes du profil RZ 8 (type III).

— Les courbes d'extraction de la silice présentent une rupture de pente nette à la 2^e ou la 3^e extraction ; les teneurs en silice facilement extractibles sont élevées par rapport à la silice totale. Une part importante de cette silice est sous forme amorphe.

SOLS DU TYPE IV (fig. 8e)

Les courbes d'extraction du fer présentent une rupture de pente très nette. Une proportion élevée du fer total triacide (60 à 80 %) est sous forme amorphe. Les teneurs absolues les plus élevées étant situées dans l'horizon d'accumulation maximum de fer.

Les courbes d'alumine ont une allure très semblable à celles du fer, l'alumine est essentiellement sous forme amorphe. Les quantités absolues d'alumine amorphe, minimum dans l'horizon A₂, sont maximum en profondeur, corrélativement aux teneurs en aluminium total.

Dans les horizons B, les courbes d'extraction de la silice sont identiques à celles des sols du type III.

Dans les horizons supérieurs, les courbes, beaucoup plus redressées et présentant une très faible concavité, sont caractéristiques du phénomène de dissolution des phytolithes au cours des traitements HCl - NaOH. Les phytolithes sont fortement dissoutes lors du traitement sodique, et la quantité totale de silice extraite après un cycle de 8 extractions atteint 45 g de SiO₂ pour 100 g de sol contre 15,4 g lors de l'attaque triacide. La détermination des quantités de silice, autre que celle des phytolithes, extraite par le traitement HCl - NaOH, s'avère alors impossible.

2° Gibbsite

Les courbes d'analyse thermique différentielle (fig. 9) et la diffractométrie des RX montrent que :

— Les sols du type I ne contiennent que des traces de gibbsite.

— Les sols du type II ont des teneurs importantes en gibbsite : cette dernière est relativement constante de bas en haut du profil.

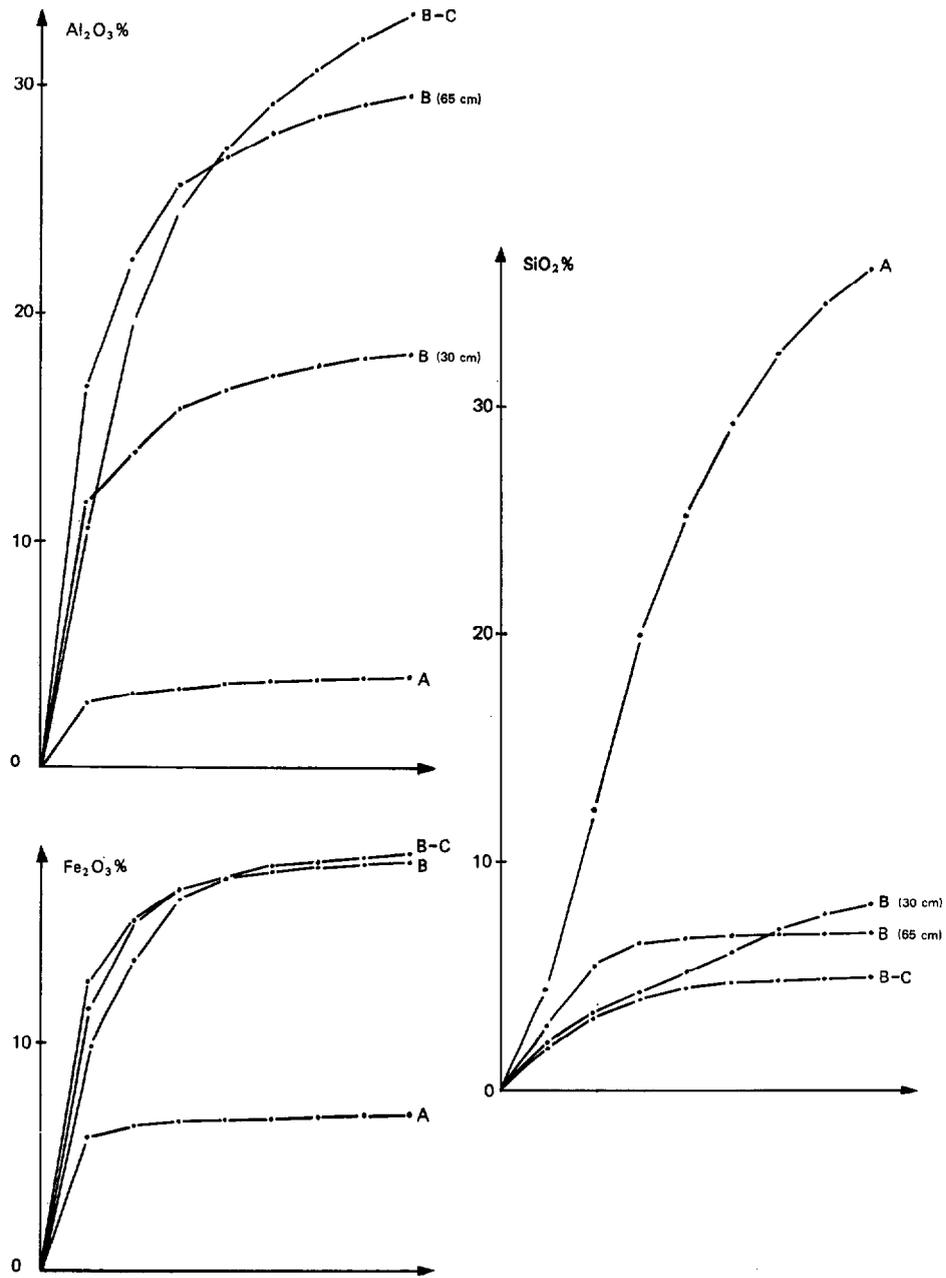


FIG. 8d. — Extraction des produits amorphes du profil RZ 9 (type III).

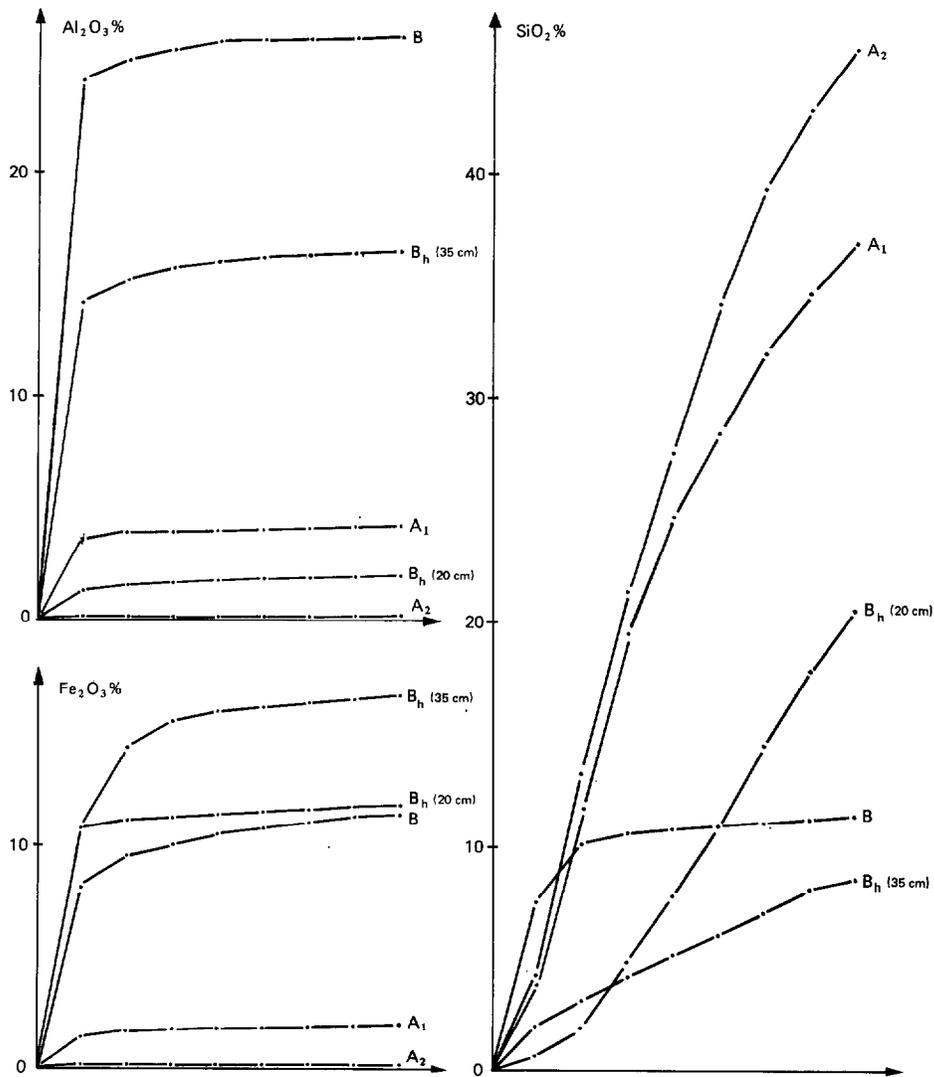


FIG. 8e. — Extraction des produits amorphes du profil RZ 10 (type IV).

— Dans les sols du type III, la gibbsite a un comportement inverse de celui de l'alumine amorphe. Elle n'est présente qu'en faible quantité dans les horizons de surface et augmente progressivement avec la profondeur.

— Dans les sols du type IV, la gibbsite n'est présente que sous forme de trace dans les horizons A à B ; elle est en quantité légèrement plus élevée dans l'horizon B-C.

3. Minéraux phylliteux

Ils sont représentés par de l'halloysite et de la métahalloysite. Cette dernière n'a été décelée que dans les horizons supérieurs des sols du type I alors que l'halloysite est présente en forte quantité dans les sols du type I, et en faible quantité mais dans la totalité des profils des sols du type II.

Les sols des types III et IV ne contiennent pas de minéraux phylliteux.

Les principaux résultats de l'analyse minéralogique, résumés dans le tableau 8, montrent que de bas en haut de séquence :

— Le degré de cristallinité des minéraux de néo-synthèse silico-alumineux s'atténue.

— Les quantités de gibbsite augmentent dans les sols du type II, puis diminuent, au profit des produits silico-alumineux amorphes, dans le sommet des profils des sols du type III, et disparaissent presque complètement des profils des sols du type IV.

TABLEAU 9

Composition minéralogique dans les différents types de sol

Type de sol	I	II	III	IV
Produits amorphes	Fe ₂ O ₃	++	++	+++
	SiO ₂	—	+	+++
	Al ₂ O ₃	—	+	Haut de profil +++ Bas de profil +
Gibbsite	traces	++	Haut de profil + Bas de profil +++	Haut de profil : traces Bas de profil : +
Minéraux phylliteux	Métahalloysite Halloysite	Halloysite	Néant	

Produits amorphes : le nombre de croix est d'autant plus élevé que l'état amorphe de l'élément est plus prononcé.

Gibbsite : le nombre de croix indique la quantité de gibbsite.

+ faible
++ assez élevée
+++ élevée
++++ très élevée

3. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

3.1. Evolution des sols

Les caractéristiques analytiques permettent de préciser l'évolution des sols de la séquence.

Les sols de type I présentent nettement des caractères de sol ferrallitique : l'altération des minéraux primaires est intense, les minéraux argileux néoformés sont de type 1/1. Une faible fraction de l'alumine s'individualise sous forme de gibbsite.

Les sols de type II sont également ferrallitiques. La lixiviation des bases et de la silice y est plus prononcée, d'où une désaturation du profil plus forte et un rapport SiO₂/Al₂O₃ plus faible que dans les sols précédents. Les minéraux argileux sont en plus faible quantité et l'individualisation de la gibbsite est plus importante. Ces sols présentent de plus, par le faible degré de cristallinité de leurs minéraux silico-alumineux, un caractère andique déjà sensible, qui peut

être mis en évidence sur le profil par une réaction légèrement positive au test au fluorure de sodium.

Dans les sols des types III et IV, la lixiviation des bases et de la silice est encore plus forte, mais, contrairement aux sols précédents, la silice restante n'est pas combinée à l'alumine sous forme de minéraux argileux, mais d'allophane. Les sols ont donc un caractère andique et non plus ferrallitique.

Le comportement de l'aluminium et des acides fulviques dans les profils 6 à 11 (tabl. 10) montre également que ces sols sont soumis à un phénomène de podzolisation croissant avec l'altitude, ce qui se traduit par :

— l'augmentation régulière des teneurs en aluminium échangeable dans les horizons humifères avec, dans le cas des profils 10 et 11, une migration en profondeur.

— l'augmentation de l'intensité d'entraînement de l'aluminium en profondeur ; entraînement qui, d'après Pedro (1964) et Duchaufour (1965), est caractéristique de la podzolisation.

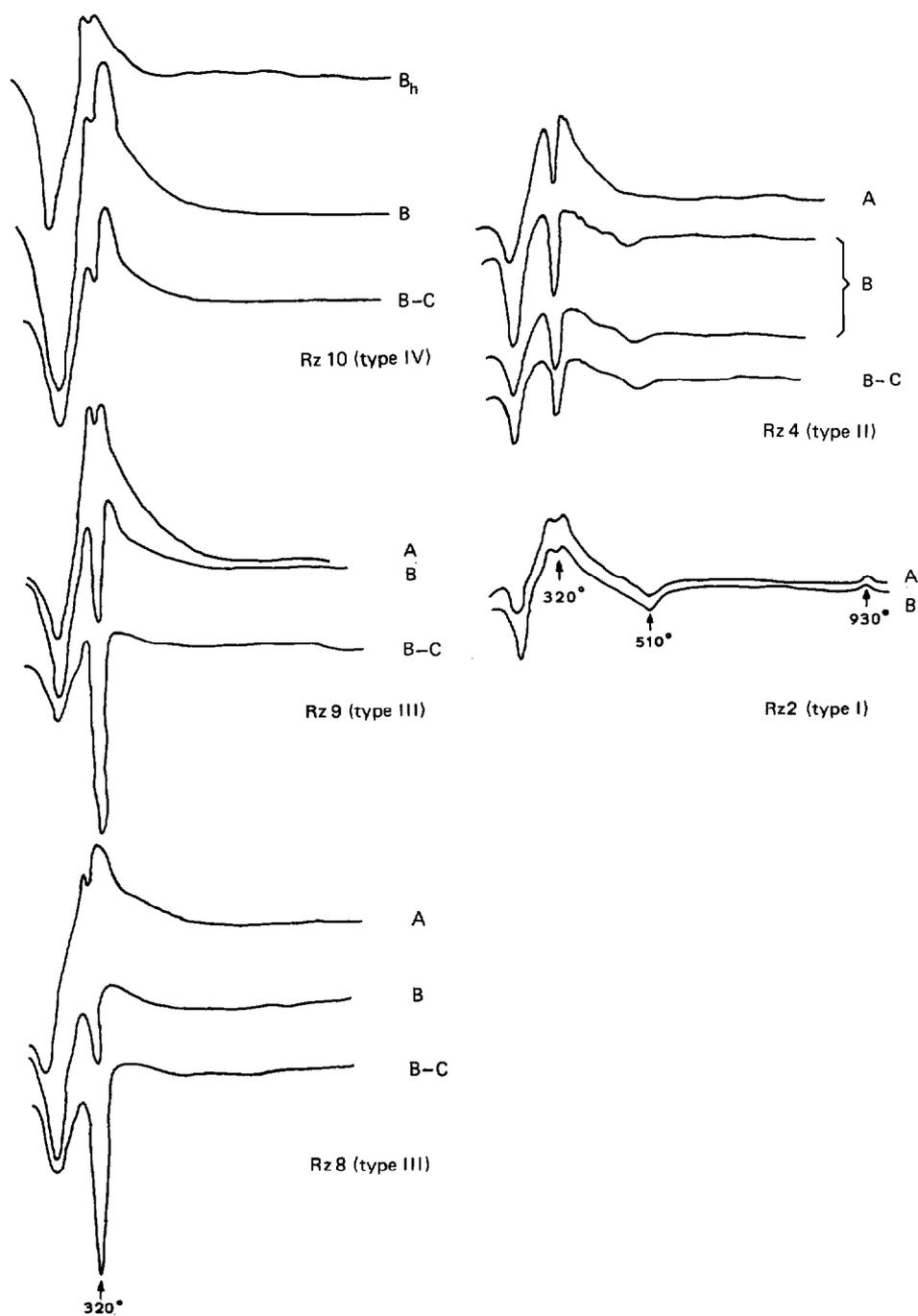


FIG. 9. — Courbes d'A.T.D.

TABLEAU 10

Caractéristiques analytiques et processus pédogénétiques

Type de sol	I			II		III				IV	
Profils	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Caractéristiques des horizons B	SiO ₂ /Al ₂ O ₃			0,8 0,6		0,5					
	Minéraux argileux ...			+		—					
	Gibbsite			++		+				trace	
	S/T			18 9							
	pH.....			5,7 5,5		5,5					
Ferrallitisation											
Caractéristiques des horizons B	Test Na F			+		++					
	Teneur en eau			moyenne		forte					
	Produits amorphes ...			+		++					
Andosolisation											
Al échangeable	—										
Entraînement de l'Al total	—					+ ++				+++	
Accumulation des AF en profondeur ..	—					- +				++	
Différenciation des horizons										A ₂ et B _h	
						Podzolisation / croissante ↗					

— la disparition des acides fulviques des horizons A des profils 9 et surtout 10 et 11.

— la différenciation d'horizon A₂ et B_h dans le cas des profils 10 et 11.

A cette augmentation de l'intensité de la podzolisation avec l'altitude est liée une diminution des quantités de gibbsite dans les sols. Celle-ci n'est sensible qu'au sommet des profils 6 à 9, mais dans la totalité des profils 10 et 11.

3.2. Caractères morphologiques et analytiques

La variation des caractéristiques morphologiques (tabl. 2) et analytiques (tabl. 10) des sols de la séquen-

ce, résulte donc de l'action croissante, simultanée ou non, des trois processus de ferrallitisation, andosolisation et podzolisation.

Les critères morphologiques des horizons B (couleur, texture, structure, cohésion) que nous avons retenus pour caractériser les sols sont étroitement liés à la nature des composants minéralogiques. Leur variation progressive rend compte de l'augmentation des produits amorphes en fonction de l'altitude.

Par contre, si la transition entre les sols des types III et IV est morphologiquement brutale, elle est géochimiquement beaucoup plus progressive. Elle traduit l'intensité croissante du processus de podzolisation qui, particulièrement intense dans les sols situés aux plus hautes altitudes, aboutit à la différenciation morphologique A₂ et B_h.

4. ROLE DU CLIMAT DANS L'ÉVOLUTION DES SOLS

L'évolution des sols vers la ferrallitisation, l'andosolisation ou la podzolisation est étroitement liée à la variation des caractéristiques climatiques en fonction de l'altitude.

— L'augmentation des précipitations en altitude se traduit par une lixiviation croissante des bases. L'élimination de la silice des sols situés en bas de séquence a été assez intense pour que seule la synthèse de minéraux argileux de type 1/1 soit possible.

— La diminution de la durée de la saison sèche est responsable d'une élévation du degré d'humidité du profil au cours de l'année qui favorise le maintien dans le sol des produits amorphes libérés à partir de la roche-mère.

— La diminution de la température combinée à l'augmentation des précipitations provoque l'accumulation de la matière organique et la production d'acides fulviques. Ces derniers, lorsqu'ils atteignent des teneurs élevées, favorisent par leur action complexante le lessivage de l'aluminium, donc un phénomène de podzolisation.

5. CONCLUSION

Sur les matériaux volcaniques anciens et homogènes qui constituent le flanc ouest du massif du Piton des Neiges à l'île de la Réunion, le facteur primordial de différenciation des sols en fonction de l'altitude est donc le climat. La variation régulière des précipi-

tations et de la température détermine d'une part le passage progressif des sols ferrallitiques aux andosols, d'autre part l'apparition d'un processus de podzolisation se surimposant à celui d'andosolisation. Duchaufour et Souchier (1966), ainsi que Hetier (1971), ont par ailleurs montré que ces deux processus peuvent être concomitants. Mais à la différence des sols étudiés par ces auteurs, ceux présentés ici évoluent, en haut de séquence, jusqu'au stade de podzol humo-ferrugineux. La présence de phytolithes permet en effet la différenciation des horizons A₂ et B_h.

Enfin, du point de vue minéralogique, si le manque de gibbsite au sommet des andosols fortement désaturés peut être parfois expliqué par une inhibition de sa synthèse, il semblerait que, dans le cas présent, on ait plutôt affaire à une dégradation, par un phénomène de podzolisation de la gibbsite initialement présente. Une datation* par dosage du ¹⁴C a en effet montré que les podzols ont un âge de 1 330 ± 90 ans, c'est-à-dire très récent par rapport à celui du début de la pédogenèse.

On peut donc souligner avec Duchaufour et Souchier (1966) que podzolisation et andosolisation peuvent additionner leurs effets et que l'action agressive des acides fulviques contribue à augmenter les teneurs en produits amorphes dans le sommet des andosols.

Manuscrit reçu au S.C.D. de l'ORSTOM le 29 octobre 1975

* Datation effectuée au CNRS, Gif-sur-Yvette par Mme Delibrias.

BIBLIOGRAPHIE

- COLMET-DAAGE (F.), CUCALON (F.) et coll., 1967. — Caractéristiques de quelques sols d'Equateur dérivés de cendres volcaniques. 1^{re} partie : Essai de caractérisation des sols des régions tropicales. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, V, 1, pp. 3-38.
- DUCHAUFOUR (P.), SOUCHIER (B.), 1966. — Sols andosoliques et roches volcaniques des Vosges. *Sci. de la Terre*, XI, 3, pp. 345-365.
- FIELDS (M.), PERROTT (K.W.), 1966. — Rapid field and laboratory test for allophane. *New Zeal J. Sci.*, 9, 3, pp. 623-629.
- HETIER (J.-M.), 1971. — Caractérisation et répartition de quelques sols sur roches volcaniques du Massif Central (Région de Menat - Cantal). *Sci. du Sol*, 2, pp. 51-82.
- Mc DOUGALL (I.), 1971. — The geochronology and evolution of the young volcanic island of Reunion, Indian Ocean. *Geochim. Acta*, 35, pp. 261-288.
- PEDRO (G.), 1964. — Contribution à l'étude expérimentale de l'altération géochimique des roches cristallines. *Ann. Agron.*, 15, 2, pp. 15-192 ; 15, 3, pp. 243-333 ; et 15, 4, pp. 339-456.
- RIQUIER (J.), 1960. — Notice de la carte pédologique de reconnaissance. Ile de la Réunion. I.S.R.M. Tananarive - Tsimbazaza. 72 p. + carte à 1/100 000 en couleur.
- RIQUIER (J.), 1960. — Les phytolithes de certains sols tropicaux et des podzols. *Int. Congr. Soil Sci.*, 7, 1960, Madison, vol. 10, pp. 425-431.
- SEGALEN (P.), 1968. — Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, IV, 1, pp. 105-125.

ANNEXES

Description des profils

1. *Sol du type I* : profil RZ 2 en X = 55°17'45", Y = 21°01'32", Z = 520 m.

A₁₁ 0-15 cm :

— Sec, humifère, brun à brun foncé (7,5 YR 4/3), argileux, quelques graviers de basalte altéré, meuble, structure fragmentaire nette, polyédrique subanguleuse fine à moyenne, forte porosité vacuolaire entre agrégats, nombreuses racines fines et moyennes entre agrégats, transition nette à :

A₁₂ 15-40 cm :

— Sec humifère, brun à brun foncé (7,5 YR 4/3), argileux, très cohérent, structure fragmentaire nette, polyédrique fine à très fine, très peu friable, peu poreux, quelques pores tubulaires fins dans les agrégats, nombreuses racines fines à moyennes, transition distincte à :

B₁₁ 40-65 cm :

— Sec, brun rougeâtre (5 YR 3,5/4), argileux, très cohérent, structure fragmentaire très nette, polyédrique fine très peu friable, agrégats à pores tubulaires fins nombreux, quelques racines moyennes, transition distincte à :

B₁₂ 65-100 cm :

— Frais, brun rougeâtre (5 YR 3,5/4), argileux, cohérent, structure fragmentaire un peu moins nette que dans l'horizon supérieur, polyédrique fine peu friable, forte porosité tubulaire fine dans la masse de l'horizon, quelques fines racines, transition brutale en bas d'horizon à des cailloux de basalte altéré ?

2. *Sol du type II* : profil RZ 5 en X = 55°19'18" Y = 21°01'34" Z = 800 m

A 0-20 cm :

— Frais, brun foncé (7,5 YR 3,5/3), argileux, meuble, structure fragmentaire nette, polyédrique sub-anguleuse moyenne, friable, juxtaposée à une structure grumeleuse moyenne, très poreux, nombreuses racines fines, transition distincte à :

B 20-70 cm :

— Frais, brun foncé (7,5 YR 4/4), argileux à argilo-limoneux, cohérent, structure fragmentaire nette, polyédrique fine à faces luisantes, peu friable, très poreux, nombreuses racines fines, transition distincte à :

B-C 70-130 cm :

— Frais, brun foncé (7,5 YR 4/4), quelques cailloux de basalte complètement altérés formant des taches gris rouge irrégulières à limite très nettes de 3 à 10 cm de diamètre, argilo-limoneux, cohérent, structure massive à éclats polyédriques émoussés, friable, forte porosité tubulaire fine, nombreuses racines fines.

3. *Sol du type III* : profil RZ 9 en X = 21°02'31" Z = 1 480 m

A 0-15 cm :

— Humide, humifère, brun foncé (7,5 YR 3/2), limoneux, meuble, presque bouillant, structure fragmentaire nette grumeleuse très fine à structure peu nette, localisée, polyédrique subanguleuse moyenne très friable, très poreux nombreuses racines fines, transition nette à :

B₁₁ 15-43 cm :

— Humide, brun à brun foncé (10 YR 4/3), limono-argileux, meuble, structure massive à éclats polyédriques émoussés moyens friables, très poreux (pores tubulaires fins) nombreuses racines fines, transition graduelle à :

B₁₂ 43-80 cm :

— Humide, brun à brun foncé (10 YR 4/3), argilo-limoneux, légèrement cohérent, structure fragmentaire peu nette, polyédrique subanguleuse fine à moyenne, friable, pores tubulaires fins nombreux, quelques racines fines, transition nette à :

B-C 80-130 cm :

— Humide, brun à brun foncé (7,5 YR 4/4), quelques taches plus rouges, irrégulières de 4 à 10 cm de diamètre correspondant à des morceaux de basalte altéré, limono-sableux, légèrement cohérent, structure massive à éclats polyédriques émoussés friables, quelques pores tubulaires, racines fines.

4. *Sol du type IV* : profil RZ 10 en X = 55°22'06" Y = 21°02'42" Z = 1 640 m sous une litière de 2 cm d'épaisseur de feuilles de tamarin et de fougère :

A₁ 0-8 cm :

— Humide, humifère, brun très foncé (10 YR 2/2), limoneux, meuble, structure fragmentaire nette, grumeleuse très fine, localement feuilletée, très friable, très poreux, nombreuses racines fines, transition nette à :

A₂ 8-16 cm :

— Humide, brun (7,5 YR 5/2), limoneux, toucher cendreau, meuble, structure massive à éclats polyédriques anguleux, très friable, peu poreux nombreuses racines fines, transition nette à :

B_n 16-26 cm :

— Humide, humifère, brun rougeâtre foncé (5 YR 3/2), limono-argileux, meuble, structure fragmentaire peu nette, polyédrique subanguleuse fine, friable, poreux, nombreuses racines fines, transition graduelle à :

B_n 26-50 cm :

— Humide, brun jaunâtre foncé (7,5 YR 3/2), limoneux, meuble, structure fragmentaire peu nette, polyédrique subanguleuse fine, friable, poreux, nombreuses racines fines, transition nette à :

B 50-70 cm :

— Humide, brun jaunâtre foncé (10 YR 3/4), limono-argileux, légèrement cohérent, structure fragmentaire peu nette, polyédrique subanguleuse moyenne à sous-structure polyédrique fine friable, poreux, quelques racines fines, transition graduelle à :

70-140 cm :

— Humide, brun jaunâtre foncé (10 YR 3/4), limoneux à limono-argileux, quelques cailloux de basalte altéré en bas d'horizon, meuble, structure fragmentaire peu nette, polyédrique subanguleuse moyenne friable, porosité tubulaire moyenne, rares racines fines.