

Séquence climatique des sols anciens de la région septentrionale de Ténérife (Iles Canaries)

2^e Partie : Caractéristiques minéralogiques et micromorphologiques (1)

M.L. TEJEDOR SALGUERO*, Paul QUANTIN**, E. FERNANDEZ CALDAS*

*Centro de Edafología y Biología Aplicada Tenerife. Espagne

**ORSTOM, 70-74, route d'Aulnay, 93140 BONDY

RESUMEN

SECUENCIA CLIMÁTICA DE LOS SUELOS ANTIGUOS DE LA REGIÓN SEPTENTRIONAL DE TENERIFE (ISLAS CANARIAS)

El estudio de una toposecuencia en la vertiente Norte de Tenerife ha evidenciado la estrecha relación entre la distribución de los suelos más antiguos y las diferentes zonas ecológicas (de clima y de vegetación). Esta secuencia incluye sucesivamente, de la cumbre hacia abajo : suelos ferralíticos en zona perhúmeda, suelos fersialíticos en zona climática subtropical de dos estaciones perfectamente contrastadas y vertisoles en zona de pie de ladera de clima subárido.

En la primera parte se exponen las características morfológicas, físicas y químicas de los suelos. Los suelos ferralíticos son complejos, y frecuentemente rejuvenecidos por las cenizas de origen volcánico, que han constituido en superficie, ya sea un andosuelo desaturado, o bien, un suelo pardo ándico, e incluso ambos sucesivamente. Por ciertos rasgos, se aparentan con los suelos ferralíticos e incluso los oxisoles. Los suelos fersialíticos son rojos y saturados moderadamente. Únicamente se encuentran rejuvenecidos en proporción reducida y en superficie y poco lixiviados. Se asemejan a los suelos fersialíticos tropicales y a los alfisoles. Los vertisoles son típicos y de color oscuro, presentando una acumulación calcárea y un comienzo de alcalización en profundidad. La evolución de las diversas características es subrayada.

La segunda parte trata de las características mineralógicas y micromorfológicas, haciendo resaltar el paso de los suelos ferralíticos de halloysita y oxihidróxidos de hierro y de alúmina (de gibbsita), a una mezcla de halloysita, de arcilla 2 : 1 (montmorillonita, I-V, ilita) y de hematita en los suelos fersialíticos, para llegar casi exclusivamente a la montmorillonita ferrifera en los vertisoles. En el mismo sentido, el contenido de alúmina, hierro y sílice fácilmente solubles decrece rápidamente. La micromorfología muestra la evolución siguiente : de una estructura de alteración, microporosa con gibbsitanas, en los suelos ferralíticos, a una estructura de iluviación arcillosa en los suelos fersialíticos, para llegar a una estructura de stress-cutáneos con múltiples orientaciones en los vertisoles, e incluso una estructura de acumulación salina con calcitanas. Acto seguido, para cada suelo, se presentan un compendio de los caracteres tipológicos y edafogenéticos que conducen a un ensayo de clasificación (sistemas francés y estadounidense). Como conclusión, y tras haber resumido la evolución de las características de los suelos en la secuencia, se entra en materia respecto al problema de la relación entre la edafogénesis en los suelos antiguos y la zonalidad climática actual. Se propone una hipótesis acerca de la evolución reciente del clima, que plantea de nuevo el problema de los paleosoles.

(1) La première partie de cet article a paru in *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XVII, n° 1, 1979 : 37-46, avec fiche signalétique. La bibliographie de la 2^e partie paraîtra avec la 3^e partie.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

I. CARACTÉRISTIQUES MINÉRALOGIQUES

1. Méthodes analytiques

2. Produits amorphes

2.1. sol ferrallitique

2.2. sol fersiallitique

2.3. vertisol

2.4. évolution de la séquence

3. Minéralogie des sables

4. Minéralogie de la fraction inférieure à 2μ et du sol total, par diffraction de rayons X

4.1. sols ferrallitiques

4.2. sols fersiallitiques

4.3. vertisol

II. CARACTÉRISTIQUES MICROMORPHOLOGIQUES

1. Sols ferrallitiques

2. Sols fersiallitiques

3. Vertisols

CONCLUSION

INTRODUCTION

Dans la première partie de cette étude, nous avons montré l'évolution des caractéristiques morphologiques et physico-chimiques d'une séquence topoclimatique de la région nord de Ténérife (FERNANDEZ CALDAS, TEJEDOR SALGUERO et QUANTIN, 1979), constituée de sols ferrallitiques, fersiallitiques et vertisols, issus de roches volcaniques plio-pléistocènes. Dans cette deuxième partie, nous traiterons des caractéristiques minéralogiques et micromorphologiques des mêmes sols. Dans la 3^e partie nous concluons par une discussion sur la pédogenèse et la classification.

I. CARACTÉRISTIQUES MINÉRALOGIQUES

1. Méthodes analytiques

L'étude des produits « amorphes » a été réalisée selon la méthode de SÉGALEN, 1968, alternant l'action des réactifs HCl (8N) et NaOH (0,5 N) pendant sept extractions.

Pour l'étude des minéraux primaires, nous avons suivi la technique de PEREZ MATEOS, 1965, et les modifications introduites par ALEXANDRE et PINILLA, 1968.

Les constituants minéraux cristallisés ont été déterminés par diffraction de rayons X sur la fraction inférieure à 2μ et dans quelques profils sur le sol total. Dans différents cas (tous les échantillons de la fraction inférieure à 2μ et quelques-uns du sol total), les échantillons ont été d'abord traités pour éliminer les produits amorphes (Méthode MEHRA, JACKSON,

1960). Puis, ils ont été soumis à plusieurs traitements, après saturation avec des cations (K^+ et Mg^{++}) : avec du glycérol, ou en chauffant à différentes températures.

2. Produits « amorphes »

On a utilisé un profil de chacun des trois groupes de sols représentés dans la séquence. On a dressé les courbes cumulatives de dissolution des oxydes de Si, Al, et Fe, et les courbes de vitesse de dissolution du fer de trois profils.

2.1. SOL FERRALLITIQUE

Sur la figure 1, on a représenté les courbes de dissolution de SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3 correspondant au sol ferrallitique (profil Las Lajas). Les courbes de la silice et de l'alumine montrent un changement de pente très progressif, avec une tendance à être rectiligne; ce qui nous indique que ces éléments ne se trouvent pas vraiment à l'état amorphe dans ce profil. On observe un parallélisme très marqué entre les deux courbes dans les horizons IIB₁ et IIB₂. Etant donné que ces horizons sont riches en halloysite, nous pouvons attribuer un tel comportement à la dissolution de cette argile. D'autres auteurs, LAMOUROUX, QUANTIN, 1973; COLMET-DAAGE *et al.* 1972, ZEBROWSKI, 1975, l'ont également remarqué dans des sols similaires.

Les valeurs élevées de Al_2O_3 dans l'horizon B/C sont dues à la dissolution de la gibbsite, qui prédomine dans cet horizon. La forme de la courbe nous indique que cet hydroxyde ne se trouve pas bien cristallisé, parce qu'il est très soluble. Nous devons signaler que la plus grande extraction d'alumine dans

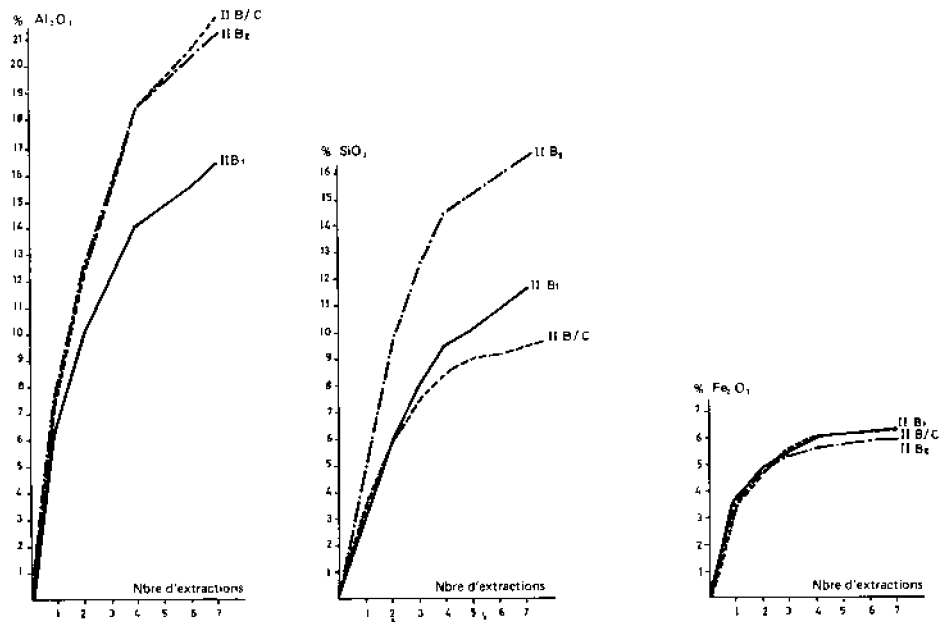


FIG. 1. — Profil Las Lajas. Courbes cumulatives de dissolution de SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3 , par la méthode SÉGALEN.

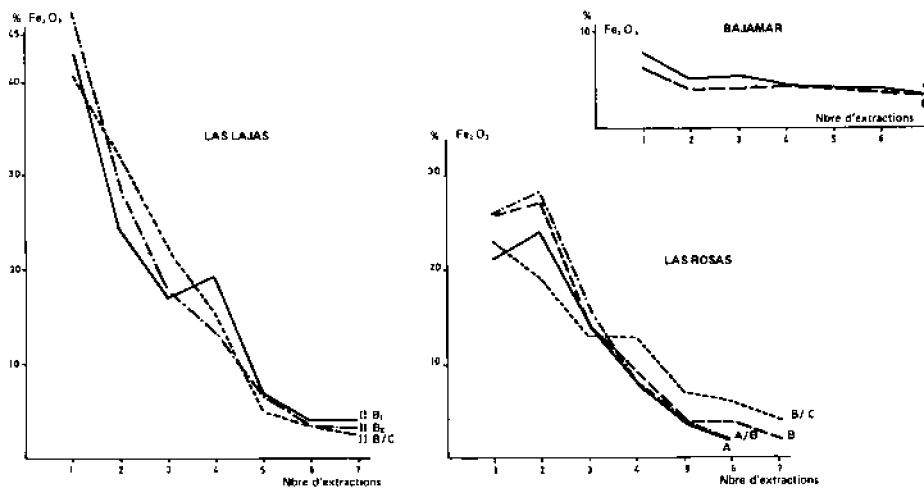


FIG. 2. — Courbes de vitesse de dissolution de Fe_2O_3 , par la méthode SÉGALEN.

ce profil a lieu en milieu alcalin; ce qui est probablement dû à la présence de la gibbsite.

Les valeurs tant de SiO_2 que de Al_2O_3 facilement solubles se maintiennent importantes jusqu'à la dernière extraction.

Les courbes cumulatives de Fe_2O_3 sont beaucoup moins progressives que celles de Al_2O_3 et de SiO_2 . Nous avons calculé pour cet oxyde les courbes de

vitesse de dissolution (fig. 2). Elles nous indiquent que le fer est facilement soluble, principalement dans les horizons IIB₂ et IIB/C. Dans l'horizon IIB₁, il y a une augmentation de la vitesse de dissolution à partir de la quatrième extraction. On peut donc affirmer que le fer se trouve dans ce profil à l'état amorphe ou crytocristallin et très soluble. Les courbes de dissolution n'indiquent pas de relation évidente entre l'extraction du fer et celle de l'alumine.

2.2. SOL FERRALLITIQUE

Dans le profil ferrallitique (Las Rosas), de même que dans le sol ferrallitique, les courbes de dissolution de Al_2O_3 et de SiO_2 présentent un comportement similaire (fig. 3). Comme nous l'avons dit précédemment, elles correspondent à la dissolution d'une argile très soluble, l'hallowysite. Nous pouvons signaler que ces courbes dans l'horizon A sont pratiquement rectilignes.

On observe qu'au début les courbes de SiO_2 présentent une forme sigmoïde; ce qui est très caractéristique, selon QUANTIN et LAMOUREUX (1974), de la dissolution des formes cristallisées. Les teneurs d'alumine extraite en milieu acide ou alcalin sont très proches. Dans les horizons A et B, elles sont légèrement supérieures en milieu alcalin.

Les courbes cumulatives et de vitesse de dissolution du fer sont portées sur les figures 2 et 3. Les premières montrent dans les horizons A, A/B, et B, une aug-

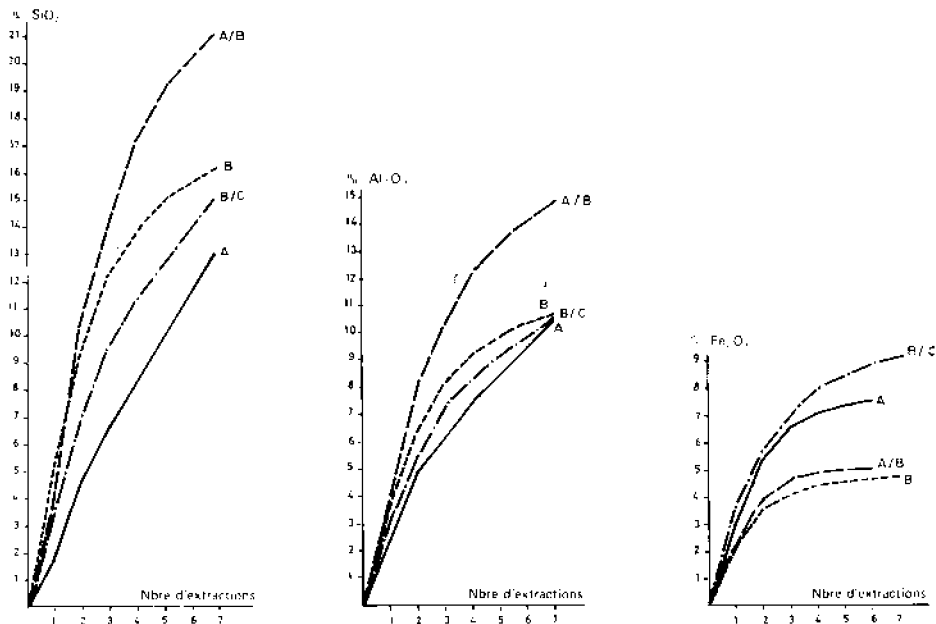


FIG. 3. — Profil Las Rosas. Courbes cumulatives de dissolution de SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3 , par la méthode SÉGALEN.

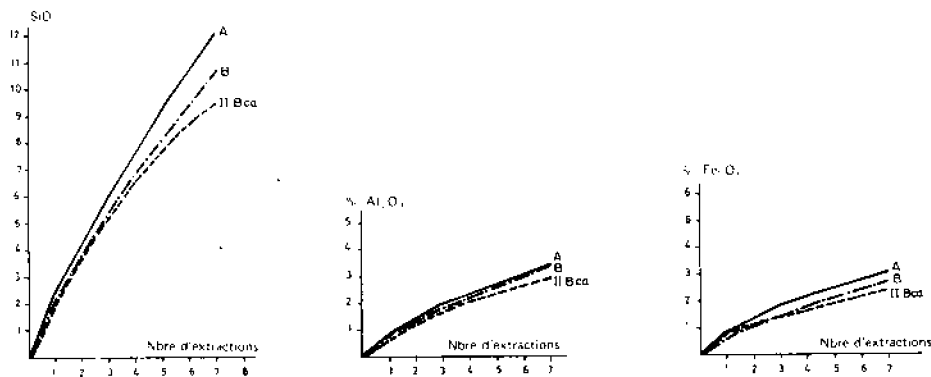


FIG. 4. — Profil Bajamar. Courbes cumulatives de dissolution de SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3 , par la méthode SÉGALEN.

mentation de la vitesse dans la deuxième extraction, pour diminuer ensuite progressivement jusqu'à la septième extraction. Ce comportement correspond à des formes cryptocristallines du fer. Au contraire, dans l'horizon B/C il y a une diminution progressive de la vitesse de dissolution jusqu'à la troisième extraction, se stabilisant dans la quatrième, et de nouveau diminuant dans les autres extractions; ce qui indique en principe une forme du fer plus soluble dans cet horizon. On peut penser à un passage progressif d'un état amorphe à un état cristallin.

2.3. VERTISOL

Dans le profil Bajamar, les quantités de SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3 extraites sont beaucoup plus petites que dans les sols ferrallitiques et fersiallitiques.

Les courbes cumulatives de SiO_2 comme celles de Al_2O_3 et de Fe_2O_3 sont rectilignes et indiquent que ces éléments se trouvent sous une forme cristallisée (fig. 4). Nous pouvons donc dire que dans le vertisol on ne trouve pas de produits amorphes.

2.4. ÉVOLUTION DE LA SÉQUENCE

Si l'on compare les trois groupes de sols, on remarque l'évolution suivante : la quantité d'alumine facilement soluble diminue fortement des sols ferrallitiques aux sols fersiallitiques puis aux vertisols. La quantité d'oxydes de fer facilement extractible est moins importante que celle d'alumine; elle est semblable pour les sols ferrallitiques et fersiallitiques; elle diminue sensiblement pour les vertisols. La quantité de silice facilement soluble est toujours importante; elle est assez semblable dans les sols ferrallitiques et les sols fersiallitiques; elle diminue sensiblement dans les vertisols. D'une manière générale les courbes ont un changement de pente plus marqué

dans les sols de climat plus humide, indiquant ainsi la présence d'une phase cryptocristalline plus abondante. C'est la teneur en Al_2O_3 qui est la plus variable, décroissant très fortement des sols ferrallitiques, aux sols fersiallitiques et aux vertisols.

L'état du fer varie peu sensiblement des sols ferrallitiques aux sols fersiallitiques et devient plus stable (ou moins abondant) dans les vertisols. La silice reste assez facilement soluble. Mais, on passe de courbes à 2 phases dans le cas des sols ferrallitiques, indiquant la présence abondante de substances cryptocristallines et plus instables, à des courbes sigmoïdes dans le cas des sols fersiallitiques et des vertisols, indiquant une phase argileuse plus homogène; il s'agit de minéraux argileux sensibles à la dissolution par NaOH, après que l'altération par HCl (8N) ait dégradé la couche octaédrique dans le cas d'argiles-ferrifères.

Nous avons utilisé également HCl (2N) pour l'étude de la dissolution de ces matériaux dans un profil ferrallitique à halloysite (Las Lajas). Dans le tableau I, on trouve la somme des teneurs en SiO_2 , Al_2O_3 , et Fe_2O_3 obtenues après sept extractions par HCl (8N) et NaOH (0,5) d'une part, et par HCl (2N), d'autre part. Nous remarquons les teneurs très faibles en SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3 obtenues par le deuxième traitement. D'autre part, quand on calcule le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ molaire dans chaque extraction, on obtient toujours des valeurs inférieures à 1; ce qui indique que nous ne nous trouvons pas dans ce cas devant un phénomène de dissolution de l'halloysite, comme dans le cas antérieur. Nous pensons que les teneurs en SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3 , obtenues par HCl (2N), sont plus proches des valeurs des produits réellement amorphes. Dans un prochain travail nous approfondirons l'analyse des résultats de cette méthode et nous ferons aussi la comparaison avec d'autres techniques d'extraction de produits amorphes.

TABEAU I

Dissolution de produits amorphes par la technique de SEGALÉN et par HCl (2N)

HORIZON	MÉTHODE	SiO_2 ‰	Al_2O_3 ‰	Fe_2O_3 ‰
II B ₁	HCl (8N) + NaOH (0,5N)	11,6	16,37	6,34
	HCl (2N)	0,15	1,52	1,10
II B ₂	HCl (8N) + NaOH (0,5N)	16,66	21,15	5,93
	HCl (2N)	0,24	1,36	0,52
II B/C	HCl (8N) + NaOH (0,5N)	9,44	21,80	6,24
	HCl (2N)	0,52	1,90	0,32

TABLEAU II
Composition minéralogique de la fraction sable

PROFIL	HORIZON	FRACTION LOURDE									FRACTION LÉGÈRE				
		PYRO- XÈNES	AMPHI- BOLES	TITA- NITE	VERRE	OLI- VINE	MICA	OPA- QUES NATU- RELS	OPA- QUES ALTÉ- RATION	ALTÉ- RITES	FELDS- PATHS K	FELDS- PATHS Ca-Na	VERRES	LAMES CHLO- RI- TIQUES	ALTÉ- RITES
LAS ROSAS	A	40	41	3		12	4	1.007	33	12	26	39	1	33	—
LA MINA	Ap	18	3	3	3	72	1	64	14	15	8	20	2	70	—
	B ₁	12	5	1	2	79	1	94	9	3	18	30	2	50	—
	B ₂	6	2	3		89	—	105	10	4	9	27	—	64	—
	B ₃	5	1	1	3	90	—	74	5	—	5	12	—	80	—
	B/C	4	—	—	3	93	—	9	4	—	—	—	—	—	—
BAIAMAR	A	32	51	7	—	10	—	60	20	29	22	55	1	8	14
	B	46	43	6	—	5	—	57	11	16	41	28	—	—	31
	IIB _{C₁}	88	6	3	—	3	—	37	6	23	—	—	—	—	—

3. Minéralogie des sables (Tabl. II)

On a examiné la fraction sable de tous les sols de la séquence, à l'exception du profil « Las Carboneras ». On a pu évaluer uniquement les pourcentages des fractions lourde et légère de quelques profils. Dans les autres, cela a été impossible, vu leur énorme teneur en opaques naturels.

Dans les sols ferrallitiques et dans quelques sols fersiallitiques (profil Las Rosas) il y a une prédominance absolue d'opaques naturels dans la fraction dense, spécialement de la magnétite et en moindre proportion de l'ilménite et de l'hématite. Seulement dans les horizons superficiels andiques du profil Poleo, on observe quelques minéraux transparents, bien qu'ils soient déjà dans un état très avancé d'altération. La fraction légère est dominée par des grains altérés chloritisés; on y a aussi trouvé quelques feldspaths potassiques et calcosodiques.

La composition minéralogique de la fraction sable des autres profils est indiquée dans le tableau II.

Les sols fersiallitiques présentent dans la partie supérieure du profil (Ap et B₁) une teneur importante en minéraux altérables encore identifiables, notamment de l'olivine, des pyroxènes et des plagioclases. L'olivine prédomine dans la fraction lourde, tandis que des produits chloritiques d'altération des pyroxènes abondent dans la fraction légère. Cela signifie que ce sol a été rajeuni par des apports récents de cinérites.

Le vertisol est relativement moins riche en minéraux altérables. Cependant, on observe encore des pyroxènes et des amphiboles dans la fraction lourde,

des feldspaths potassiques et des plagioclases dans la fraction légère. Ce sol ne comporte pas de manteau cinéritique, par suite de l'effet de l'érosion superficielle. Cependant, l'altération minérale y est encore inachevée.

4. Minéralogie de la fraction < 2 μ et du sol total, d'après la diffraction de rayons X

4.1. SOLS FERRALLITQUES (fig. 5 et 6)

Le profil Poleo se caractérise par l'abondance très nette de la gibbsite et de l'halloysite (à 10 Å), mais en plus petite proportion, ainsi que par la présence d'un peu d'hydroxydes de fer. On observe seulement des traces d'une argile 2 : 1 (à 14 Å) non identifiée et la présence de minéraux primaires difficilement altérables : quartz, sanidine, magnétite. Le sol de l'horizon superficiel, bien que présentant des caractères andiques évidents, a une composition semblable; mais il montre plus d'allophane; l'halloysite y est partiellement déshydratée (à 7,4 Å) et la présence d'argile 2 : 1 semble plus importante. C'est pourquoi, on peut penser qu'il y a une continuité dans la genèse des minéraux secondaires, entre la partie superficielle et rajeunie du profil et la partie profonde, plus ancienne.

Le profil Las Lajas montre également une association de métahalloysite et de gibbsite. La première domine dans les horizons IIB₁ et IIB₂. La gibbsite augmente avec la profondeur, devenant le produit secondaire le mieux représenté dans l'horizon IIB/C. (fig. 6).

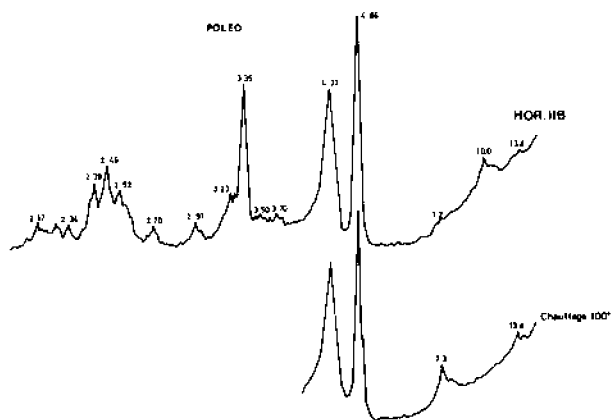


FIG. 5. — Profil Poleo. Sol ferrallitique. Diagrammes de rayons X, sol total (poudre).

4.2. SOLS FERRALLITIQUES (fig. 7, 8 et 9)

Tous les profils de sols ferrallitiques sont caractérisés par la dominance d'halloysite. On observe de la métahalloysite dans les horizons de surface et de l'halloysite hydratée en profondeur.

Outre l'halloysite, les sols ferrallitiques contiennent des argiles 2 : 1, formant un mélange mal déterminé d'illite ouverte, d'illite-vermiculite et de montmorillonite. La présence d'oxydes et d'hydroxydes de fer, notamment d'hématite fine, est le plus souvent évidente.

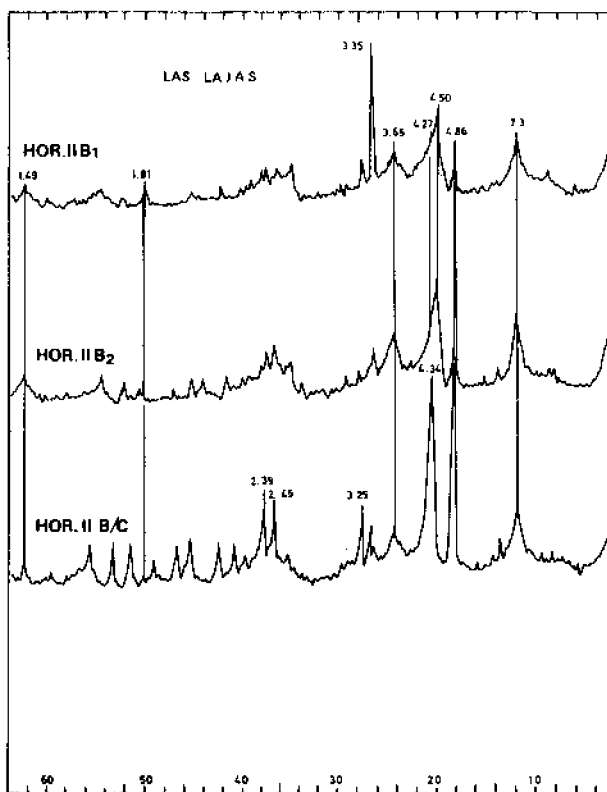


FIG. 6. — Profil Las Lajas. Sol ferrallitique. Diagrammes de rayons X, sol total (poudre).

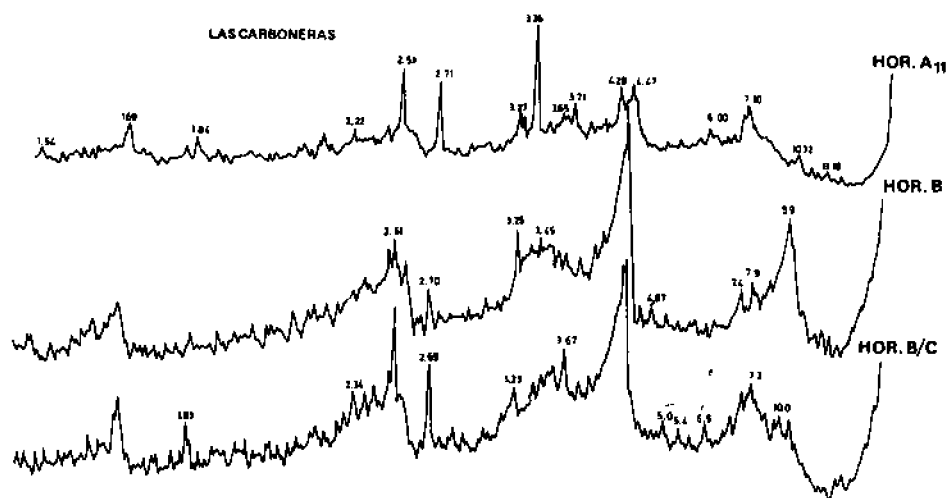


FIG. 7. — Profil Las Carboneras. Sol ferrallitique. Diagrammes de rayons X, sol total (poudre).

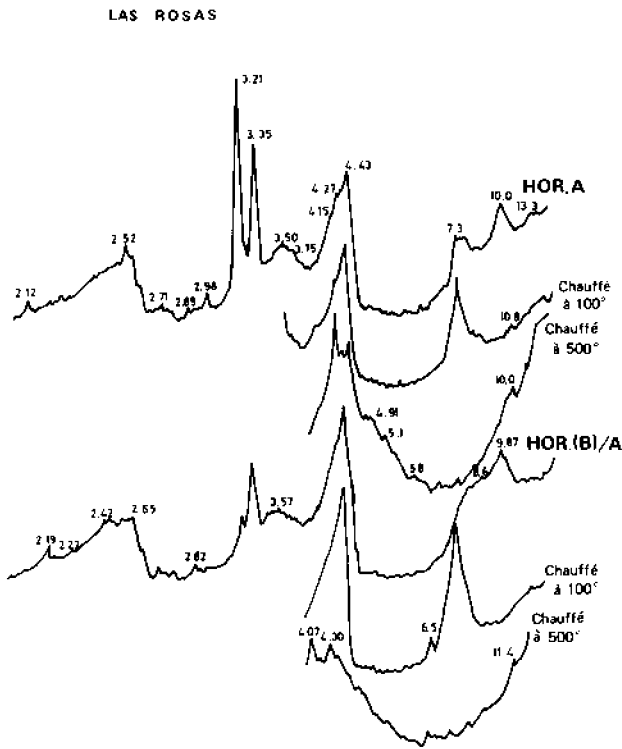


FIG. 8. — Profil Las Rosas. Sol fersiallitique. Diagrammes de rayons X, sol total (poudre).

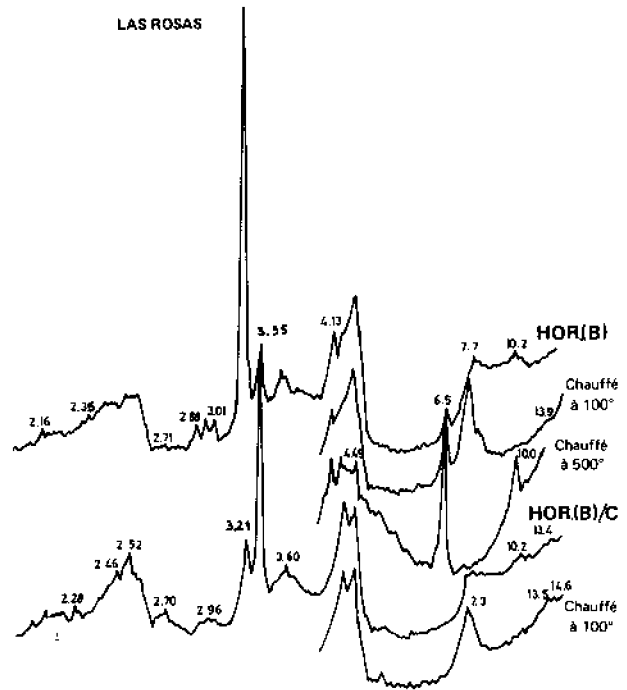


FIG. 9. — Profil Las Rosas. Sol fersiallitique. Diagrammes de rayons X, sol total (poudre).

Ces sols contiennent un peu de minéraux primaires, surtout du quartz et des feldspaths, et des traces de micas. La présence du quartz et des micas est plus nette et abondante dans le sol superficiel (A₁₁). Les feldspaths augmentent en profondeur, notamment dans l'horizon (B) du profil Las Rosas, qui est exceptionnellement riche en sanidine (cendre phonolitique). Cette discontinuité minéralogique du profil Las Rosas concorde avec l'anomalie précédemment observée dans ses caractéristiques physico-chimiques.

4.3. VERTISOL

L'argile prépondérante est la montmorillonite; elle est particulièrement nette dans l'horizon IIB_{Ca} (fig. 10). Au microscope électronique on observe que cette argile est plus fine et transparente dans l'horizon A, plus large et opaque dans l'horizon B.

Ce sol contient aussi un peu de méthalloysite dans tout le profil et des traces d'illite-ouverte dans l'horizon A. Il y a un peu de quartz en surface, des traces de feldspaths dans tout le profil et de la calcite en profondeur (B_{Ca}).

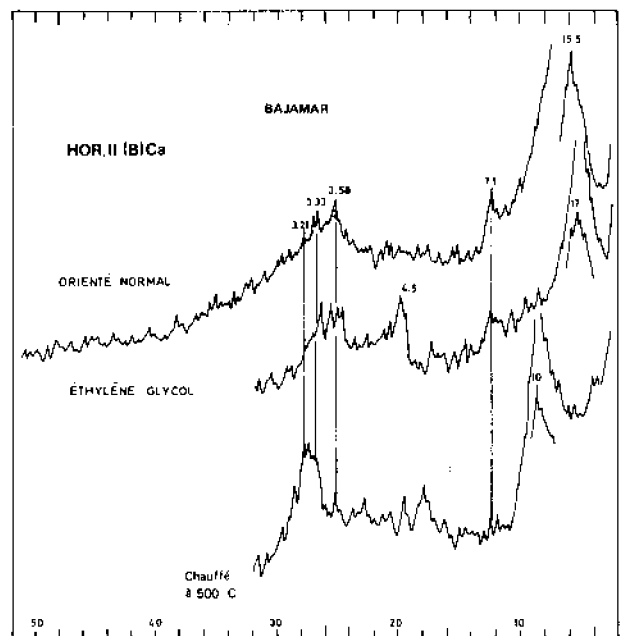


FIG. 10. — Vertisol. Diagrammes de rayons X, fraction argile-Mg²⁺, à différents traitements. (< 2μ-Mg²⁺ + orienté).

II. CARACTERISTIQUES MICRO-MORPHOLOGIQUES

1. Les sols ferrallitiques, montrent surtout une altération très accusée du matériau originel et des cristallisations de gibbsite (gibbsitane) sur les parois des cavités, mais sans signe d'illuviation (argilo-ferranes).

2. Les sols fersiallitiques, d'après les observations de RODRIGUEZ-RODRIGUEZ (1977), présentent une altération presque aussi intense que les sols ferrallitiques, surtout ceux qui dérivent de lapilli basaltiques. Les plagioclases fournissent des produits secondaires transparents, non décelables au microscope optique; l'augite s'altère en produits ferri-ferrugineux et l'olivine en iddingsite. En outre, l'illuviation argileuse est souvent importante dans ces sols, mais de préférence à la base du profil, dans l'horizon (B)/C; elle atteint 5 à 10 % dans le profil La Mina, 20 % à Las Carboneras. On observe des argilanes jaunes et brun-jaune ou des ferri-argilanes rouges, qui revêtent les vésicules de la roche et les fissures les plus fines. Cependant, certains sols fersiallitiques ne présentent pas de traces d'illuviation.

3. Les vertisols, ne montrent pas de signe d'illuviation argileuse (RODRIGUEZ HERNANDEZ, 1976). Mais on observe une texture plasmique typique, caractérisée par des grands domaines biréfringents orientés suivant plusieurs directions (stress-cutanes). On note aussi la juxtaposition de deux unités matricielles différentes, conséquence du mélange de matériaux sous l'effet du colluvionnement superficiel. En outre, la présence de calcitane provenant de l'horizon B_{Ca}

dans tout le profil, indique l'effet de mouvements de masse importants dans l'ensemble du sol.

CONCLUSION

L'étude de la séquence septentrionale des sols anciens de Ténérife a montré l'évolution minéralogique suivante :

Les sols ferrallitiques contiennent très peu de minéraux primaires altérables. Ils sont constitués surtout d'hallowysite, de gibbsite et d'hydroxydes de fer. De plus, les hydroxydes de fer et d'alumine sont facilement solubles par la méthode SÉGALEN.

Les sols fersiallitiques contiennent plus de minéraux primaires altérables. Ils sont encore pour une partie importante, constitués d'hallowysite; mais elle est accompagnée d'argiles 2 : 1, dont des smectites ferri-fères. De plus, ils ne contiennent plus de gibbsite, mais ils présentent de l'hématite. Leurs oxydes de fer et d'alumine sont moins solubles par la technique de SÉGALEN.

Les vertisols sont surtout constitués de smectites ferri-fères; ils ne contiennent qu'un peu de métahallowysite et peu d'oxydes de fer solubles par la méthode Ségalen. Mais ils présentent souvent de la calcite en profondeur.

Du point de vue micromorphologique, les sols ferrallitiques se caractérisent par des gibbsitanes, tandis que les sols fersiallitiques montrent des ferriargilanes à la base de l'horizon B, caractéristiques d'un processus d'illuviation, et enfin les vertisols présentent surtout des stress-cutanes, dus à l'effet du gonflement, ainsi que des calcitane à la base du profil.

Manuscrit reçu au Service des Publications de l'ORSTOM, le 31 juillet 1979.