

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

1ère partie : Caractéristiques morphologiques et physico-chimiques

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

*Centro de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife. Espagne

**ORSTOM, 70-74 Route d'Aulnay, Bondy, 93140

RÉSUMÉ

L'étude d'une toposéquence sur le versant nord de Ténérife, a mis en évidence une relation étroite entre la distribution des sols les plus anciens et les différentes zones écologiques (de climat et de végétation). Cette séquence comprend successivement, du sommet vers le bas : des sols ferrallitiques en zone perhumide, des sols fersiallitiques en zone climatique subtropicale à deux saisons bien contrastées, des vertisols en zone de piémont à climat subaride.

La première partie expose les caractéristiques morphologiques physiques et chimiques des sols. Les sols ferrallitiques sont complexes, souvent rajeunis par des cendres volcaniques, qui ont constitué en surface, soit un andosol désaturé, soit un sol brun andique, soit même les deux successivement ; certains traits les apparentent aux sols ferrallitiques ou même aux Oxisols. Les sols fersiallitiques sont rouges et modérément désaturés ; ils ne sont que faiblement rajeunis en surface et peu lessivés ; ils s'apparentent aux sols fersiallitiques tropicaux et aux Alfisols. Les vertisols sont typiques et de couleur foncée ; ils présentent une accumulation calcaire et un début d'alcalisation en profondeur. L'évolution des diverses caractéristiques dans la séquence est soulignée.

La deuxième partie traite des caractéristiques minéralogiques et micromorphologiques. Elle met en évidence le passage de sols ferrallitiques à halloysite et oxy-hydroxydes de fer et d'alumine (à gibbsite), à un mélange d'halloysite, d'argile 2/1 (montmorillonite, I-V, illite) et d'hématite dans les sols fersiallitiques, pour aboutir presque exclusivement à de la montmorillonite-ferrifère dans les vertisols. Dans le même sens, la teneur en alumine, fer et silice facilement solubles décroît rapidement. La micromorphologie montre l'évolution suivante : d'une structure d'altération, microporeuse avec gibbsitane, dans les sols ferrallitiques, à une structure d'illuviation argileuse dans les sols fersiallitiques, pour parvenir à une structure de stress-cutanes avec de multiples orientations dans les vertisols, et même une structure d'accumulation saline avec des calcitane. Ensuite, pour chaque sol, il est fait un abrégé des caractères typologiques et pédogénétiques qui conduisent à un essai de classification (systèmes français et américain). En conclusion, après avoir résumé l'évolution des caractéristiques des sols dans la séquence, le problème de la relation entre la pédogenèse des sols anciens et la zonalité climatique actuelle est abordé. Une hypothèse sur l'évolution récente du climat est proposée, qui repose le problème des paléosols.

SUMMARY

A CLIMATIC SEQUENCE OF ANCIENT SOILS IN NORTHERN TENERIFE (CANARY ISLANDS). PART 1 : MORPHOLOGICAL AND PHYSICO-CHEMICAL FEATURES

The study of a toposequence on the northern side of Tenerife has revealed a close relationship between the distribution of the oldest soils and the different ecological zones (of climate and vegetation). This sequence is made up successively from top to bottom of : ferrallitic soils in a perhumid zone, fersiallitic soils in a sub-tropical climatic zone with two very contrasting seasons, and vertisols in the lower zone of the slope with a semi-desertic climate.

In the first part of the study the morphological, physical and chemical properties of the soils are presented. The ferrallitic soils are complex, often being rejuvenated by volcanic ashes which have formed either a superficial disaturated andosol, or a brown andic soil, or both successively ; certain characteristics allow them to be included with the ferrallitic soils or even with the Oxisols. The fersiallitic soils are red, moderately disaturated, slightly leached and show a small degree of rejuvenation of superficial extent ; they are similar to tropical fersiallitic soils and sometimes to the Alfisols. The dark coloured vertisols are typical ; they have an accumulation of calcium carbonate and a beginning of alkalization in depth. The evolution of the different characteristics in the sequence is very marked.

The second part of the study deals with the mineralogical and micromorphological characteristics. Here, the passage from ferrallitic soils with halloysite and iron and aluminium oxy-hydroxides, for instance gibbsite, to a mixture of halloysite and 2:1 clays (montmorillonite, I-V, illite), and hematite in the fersiallitic soils, to finish exclusively with ferriferous montmorillonite in the vertisols, is shown. In the same direction, the content of aluminium, iron and readily soluble silica decreases rapidly. The micromorphology shows the following evolution : from a microporous weathering structure with gibbsitans in the ferrallitic soils, it passes to a clayey illuviation structure in some fersiallitic soils, and finally to a structure of stress-cutans with multiple orientations in the vertisols, and even a structure of saline accumulation with calcitanes. Posteriorly, a summary of the typological and pedogenetic characteristics for each type of soil is made, which leads on to their respective classification (French and American systems). Finally after having summarized the evolution of the characteristics of the soils in the sequence, the problem of the relationship between the pedogenesis of the aged soils and the actual climatic zonality, is briefly discussed. An hypothesis concerning the recent evolution of the climate is proposed.

PLAN

I. INTRODUCTION

II. CARACTÉRISTIQUES DES SOLS

1. Caractéristiques morphologiques

2. Caractéristiques physico-chimiques

2.1. Méthodes Analytiques

2.2. Matière Organique

2.3. pH, complexe d'échange

2.4. Analyse chimique totale

2.5. Granulométrie

III. INTERPRÉTATION

BIBLIOGRAPHIE

I. INTRODUCTION

Nous allons considérer dans le présent travail les sols les plus évolués qui apparaissent dans la région Nord de l'île de Ténérife et sont répartis selon la séquence climatique suivante : sols Ferrallitiques, Fersiallitiques et Vertisols.

Dans une étude précédente (TEJEDOR SALGUERO, FERNANDEZ CALDAS, QUANTIN, 1978), nous avons considéré les sols moins évolués de cette même région, qui constituent également une séquence, constituée par des andosols et des sols bruns. Ces derniers sols, comme nous venons de l'indiquer, représentent une forme d'évolution récente et apparaissent sur des matériaux jeunes, qui généralement fossilisent les sols plus anciens.

Cependant, les sols qui font l'objet du présent travail apparaissent sur des matériaux anciens et se trouvent à un degré d'évolution très avancé.

Tenant compte de l'âge relativement plus grand de ces sols, comme on le déduit de leur développement, de leur profond degré d'altération et de la chronologie des matériaux d'origine, nous devons penser qu'au cours de leur formation, les conditions climatiques ont pu varier en intensité, phénomène très fréquent pendant le Quaternaire.

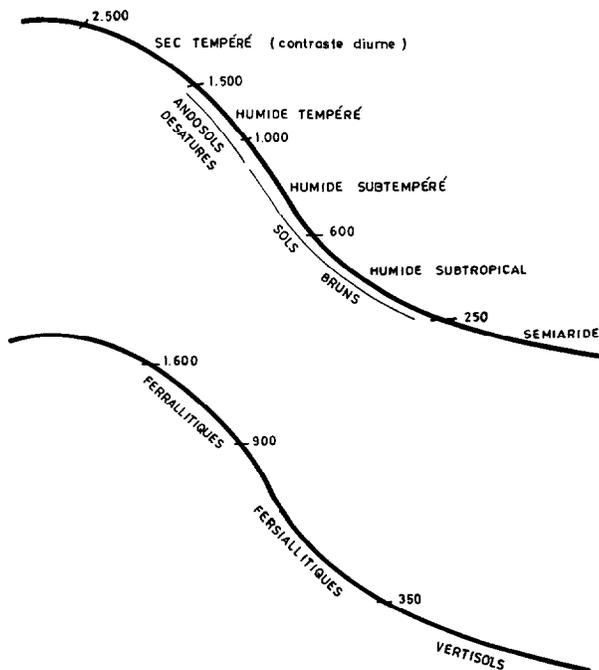


Fig. 1. — Comparaison des conditions climatiques actuelles et des séquences de sols récents et de sols anciens de la région nord de Ténérife.

Il est donc probable que la chaîne climatique représentée sur le graphique n° 1, qui correspond aux conditions climatiques actuelles, ne s'est pas maintenue invariable pendant toute leur période de formation. C'est pourquoi il est actuellement très difficile d'établir les conditions climatiques qui ont déterminé leur altération, et, ceci pose le problème d'attribuer une climatologie déterminée à la formation spécifique de ces sols.

II. CARACTÉRISTIQUES DES SOLS

1. Caractéristiques morphologiques

Nous avons étudié deux profils de sols ferrallitiques (Poleo, Las Lajas), trois profils de sols fersiallitiques (Las Rosas, Carboneras, Mina) et un vertisol (Bajamar).

Nous décrivons les plus caractéristiques d'entre eux et postérieurement nous indiquerons quelles sont les variations morphologiques que l'on peut rencontrer.

1.1. SOL FERRALLITIQUE

Profil « Poleo »

Situation : Esperanza-Agua Garcia

Végétation : Laurisilva

Altitude : 1000 m.

0-10 cm : Horizon A

— Horizon humifère; couleur brune (7,5 YR 4/6); texture limono-argileuse; structure grumeleuse; très friable; faible densité apparente.

20-80 cm : Horizon (B)

— Couleur brun-jaunâtre (5 YR 3/6); texture limono-argileuse; structure polyédrique fine; densité apparente légèrement supérieure à celle de l'horizon A.

80-> 2 m. : Horizon IIB

— Couleur brun-rougeâtre (2,5 YR 3/4); texture limono-argileuse; structure polyédrique moyenne.

La description du profil « Las Lajas » a été donnée dans un travail antérieur (FERNANDEZ CALDAS, TEJEDOR SALGUERO, 1975). Celui-ci présente des concrétions de gibbsite à sa base.

1.2. SOL FERSIALITIQUE

Profil « Las Carboneras »

Situation : Petit cône volcanique bien conservé, dominant La Esperanza. Haut versant proche du sommet.

Végétation : Secondaire, de prairie à graminées et fougères.

Altitude : 825 m.

Pente : Forte, de 30-40 ‰

Roche-Mère : Lapilli basaltiques.

0-30 cm : Horizon A_p

— Couleur brun-rouge foncé (5 YR 4/4) ; texture limono-argileuse et un peu graveleuse ; structure intermédiaire entre grumelleuse et grenue moyenne et fine ; à consistance moyenne ; sec et friable ; très poreux ; beaucoup de racines fines.

30-55 cm : Horizon (B)A

— Transition progressive vers un sol plus rouge, plus argileux, plus structuré (polyédrique) et plus cohérent ; racines éparses.

55-120 cm : Horizon (B)

— Couleur rouge foncé (2,5 YR 3/6) ; argilo-limoneux ; prismatique fin, à polyédrique moyen ; consistance assez forte ; plus humide et un peu plastique ; un peu de cutanes noirs (MnO₂) indiquant une hydromorphie temporaire faible ; perméabilité plus faible ; peu de racines, fines et dispersées.

120-160 cm : Horizon (B)C

— Sol argileux, rouge, entourant des lapilli altérés et friables ; plus humide et encore moins perméable que l'horizon (B).

Profil « La Mina »

Situation : Cône volcanique. Le sol est observé au tiers inférieur du versant.

Végétation : Terrasse cultivée.

Altitude : 700 m.

Pente : 15 ‰.

Roche-Mère : Lapilli basaltiques scoriacés.

0-20/22 cm : Horizon A_p

— Brun rouge, un peu foncé (5-2,5 YR 4/4) ; argilo-sableux et graveleux ; structure grenue fine et moyenne, à consistance moyenne et friable ; sec ; très perméable ; enracinement moyen.

22-48 cm : Horizon A/B

— Transition ; brun rouge (5-2,5 YR 4/4) ; argilo-sableux, peu graveleux ; structure polyédrique moyenne, à cohésion forte ; sec et un peu friable ; très perméable ; peu de racines.

48-82 cm : Horizon B₁

— Rouge, un peu brunifié (2,5 YR 4/4) ; argileux et un peu graveleux ; structure polyédrique grossière et prismatique, encore peu développée ; à consistance forte ; sec et peu friable ; présence de très faibles cu-

tanes bruns sur les polyèdres ; contient des feldspaths partiellement altérés ; encore perméable ; peu de racines.

82-125 cm : Horizon B₂

— Rouge foncé (2,5 YR 3/6) ; argileux et un peu de graviers (lapilli altérés) et de sables (feldspaths altérés) ; structure polyédrique grossière, à cohésion très forte ; sans revêtements bruns ; perméabilité plus faible ; racines très rares.

125-180 cm : Horizon B₃

— Rouge foncé (2,5 YR 3/6) ; argileux avec quelques graviers de scories très altérées ; structure plus grossière, polyédrique, tendant à prismatique ; avec apparition discrète de faces brillantes, un peu gauchies et striées ; quelques cutanes brun-rouge peu développés ; perméabilité faible ; racines très rares.

180-250 cm : Horizon B/C

— Rouge (2,5 YR 4/6), formé de poches argileuses rouges et de lapilli scoriacés brun-rouge, altérés et friables ; structure polyédrique grossière, à forte cohésion.

1.3. VERTISOL

Profil « Bajamar »

Situation : Bajamar

Végétation : Xérophytique, à Euphorbiacées

Altitude : 50 m.

Pente : Très faible.

0-8 cm : Horizon A_p/B

— 10 YR 5/1 ; argileux ; structure granulaire à polyédrique moyenne peu développée et friable ; très peu de racines.

8-50 cm : Horizon (B)

— 10 YR 5/1 argileux ; structure prismatique grossière, très bien développée ; agrégats de 10 cm et largeur des fentes supérieure à 1 cm ; très dur à l'état sec ; nodules de CaCO₃ ; limite irrégulière.

50-90 cm : Horizon IIB_{Ca}

— Encroûtement de la base du profil par des carbonates de calcium friables, qui bouchent une partie des fentes qui existent dans le sol.

Le tableau I résume les principales caractéristiques de ces sols.

Cette séquence se trouve sur des formations volcaniques anciennes, probablement pléistocènes. C'est pourquoi nous devons faire ressortir la complexité des profils qui sont constitués à la base d'altérations anciennes, ferrallitiques ou fersiallitiques, recouvertes par des formations volcaniques plus récentes, qui présentent souvent des caractères de sols andiques ou

TABLEAU I
Caractéristiques morphologiques des sols de la séquence

| Profil | Altitude | Végétation | Horizons | Caractéristiques Horizon A | | | Caractéristiques Horizon B | | |
|------------|----------|--------------------------|--|----------------------------|---|-------------------------------|----------------------------|---|---------------------------------|
| | | | | Couleur | Structure | Texture | Couleur | Structure | Texture |
| Poleo | 1000 m | Laurisilva | A,(B),IIB | 7,5 YR4/6 | Grumeleuse fine, farineuse | Limono-argileuse | 2,5 YR3/4 | Polyédrique moyenne | Limono-argileuse |
| Las Lajas | 1000 m | Laurisilva | A ₁₁ ,A ₁₂ ,(B) IIB ₁ ,IIB ₂ , IIB/C | 10 YR2/2 | Grenue fine, farineuse | Limono-argileuse | 5 YR4/6 | Polyédrique moyenne | Argilo-limoneuse |
| Las Rosas | 1050 m | Pinède | A,B/A,B, B/C | 5 YR4-3/4 | Grenue grossière et fine | Argilo-limoneuse | 5 YR4/6 | Prismatique cubique, verticale | Argileuse |
| Carboneras | 825 m | Graminées | A _p ,(B)A, B,B/C | 5 YR4/4 | Grenue subpolyédrique | Limono-argileuse | 2,5 YR3/6 | Prismatique fine à polyédrique moyenne | Argilo-limoneuse |
| Mina | 700 m | Terrasse cultivée | A _p , A/B, B ₁ , B ₂ , B ₃ , B/C | 5-2,5 YR 4/4 | Grenue fine et moyenne, sub-polyédrique | Argilo-sableuse et graveleuse | 2,5 YR4/4 | Polyédrique grossière et prismatique peu développée | Argileuse et un peu de graviers |
| Bajamar | 50 m | Xérophitique à Euphorbes | A _p /B, B, IIBCa | 10 YR5/1 | Grenue à polyédrique moyenne | Argileuse | 10 YR5/1 | Prismatique grossière très développée à slickensides (vertique) | Argileuse |

de sols bruns, dans la partie supérieure et humide de la séquence. Dans la zone des vertisols, il est fréquent de voir des sols complexes formés par plusieurs dépôts de colluvions, avec des accumulations successives de carbonates. Les sols fersiallitiques et les vertisols apparaissent plus souvent en surface, ou avec un rajeunissement moindre que les sols ferrallitiques, puisqu'ils se trouvent dans la zone de culture intensive et soumis à une plus grande action anthropique et érosive.

Tout au long de la séquence, nous avons observé comment la structure devient plus large et plus forte, en passant de polyédrique moyenne et friable dans les sols ferrallitiques, à prismatique très développée et très cohérente, avec des slickensides et des fentes de retrait dans les vertisols ; elle présente une forme intermédiaire, polyédrique grossière, avec tendance prismatique et verticale, dans le cas des sols fersiallitiques.

D'une couleur brun-rougeâtre et même quelquefois jaunâtre dans les sols ferrallitiques, nous passons à une tonalité nettement rouge dans les sols fersiallitiques et gris ou brun-gris foncé dans les vertisols.

Les sols ferrallitiques sont en général très friables et

présentent une faible densité apparente et une forte microporosité. La consistance augmente en descendant dans la séquence, spécialement dans le cas des vertisols.

Dans les horizons profonds des sols fersiallitiques (profils Las Rosas et La Mina), on observe des caractères nettement vertiques, avec des faces brillantes, inclinées et striées. Parmi ces sols, principalement ceux des zones de plaine mal drainées, on trouve des revêtements noirs d'oxyde de manganèse, qui indiquent une certaine hydromorphie temporaire.

Les vertisols, par suite de leur position à la partie inférieure des versants (altitude < 300 m et pente ≤ 5 %), sont souvent formés en partie de colluvions argileuses, qui recouvrent l'altération du basalte (RODRIGUEZ HERNANDEZ, 1976). C'est pourquoi les profils sont généralement complexes. Ils peuvent présenter un ou plusieurs horizons d'accumulation calcaire à l'interface des divers dépôts, dont la formation peut s'expliquer par des migrations de carbonate de calcium en même temps verticales et latérales. Parfois, au niveau de l'altération on observe aussi un horizon tacheté, hydromorphe (B/C₂).

L'étendue des vertisols dans cette région Nord est très réduite, à cause de la construction de terrasses artificielles avec des sols transportés de la zone montagneuse.

Le passage d'une unité pédologique à une autre dans la séquence a lieu de façon progressive ; c'est pourquoi nous rencontrons différents sols de transition : ferrallitique-fersiallitique, fersiallitique-vertisol, et vertisol-sol marron encroûté et riches en ion Na⁺, en certaines positions de bas de séquence.

Les sols fersiallitiques de cette séquence située au nord présentent une couleur rouge beaucoup plus intense, et un plus grand développement que ceux que nous avons observés dans la séquence du sud de l'île (QUANTIN, FERNANDEZ CALDAS, TEJEDOR SALGUERO, 1977 ; TEJEDOR SALGUERO, QUANTIN, FERNANDEZ CALDAS, 1978).

Les vertisols sont aussi plus développés et leur couleur est plus noire. Les sols ferrallitiques n'apparaissent pas dans la séquence méridionale étant donné des conditions climatiques de plus grande aridité.

2. Caractéristiques physico-chimiques

2.1 MÉTHODES ANALYTIQUES

Les méthodes analytiques ont été indiquées dans des travaux précédents (QUANTIN, FERNANDEZ CALDAS,

TEJEDOR SALGUERO 1977 ; TEJEDOR SALGUERO, FERNANDEZ CALDAS, QUANTIN, 1978).

2.2. MATIÈRE ORGANIQUE (TABLEAU II)

Le taux de matière organique, en surface, est similaire dans les sols ferrallitiques et fersiallitiques (2-4 %) ; dans les vertisols il est beaucoup plus faible (0,8 %).

En général, la proportion de matière organique décroît rapidement dans le reste du profil (jusqu'à 0,2 à 0,8 %), sauf dans le cas du profil Las Lajas, où se maintiennent des valeurs importantes (2,7 %) jusqu'en profondeur. Dans ce cas, la matière organique est formée principalement par des acides fulviques, qui proviennent du sol andique superficiel. Dans le vertisol, la diminution est aussi plus progressive (de 0,8 à 0,3 %).

Le rapport C/N oscille entre 6,6 et 11,8 en surface (on ne considère pas le sol rajeuni au-dessus du sol ferrallitique), ce qui indique une matière organique assez évoluée, généralement de type mull ou rarement mull-modér.

Nous observons donc tout au long de la séquence que le contenu en matière organique est relativement plus faible que dans les sols jeunes, et notamment les andosols. De plus, les sols sont d'autant plus humifères que le climat est plus humide.

TABLEAU II

Matière organique totale

| Profil | Horizon | % C | % M.O | % N | C/N |
|------------|--------------------|------|-------|------|-------|
| Poleo | A | 3,82 | 6,57 | 0,28 | 13,64 |
| | (B) | 0,64 | 1,10 | 0,09 | 6,73 |
| | II B | 0,42 | 0,72 | 0,05 | 8,75 |
| Las Lajas | II B ₁ | 2,12 | 3,64 | 0,19 | 11,15 |
| | II B ₂ | 1,58 | 2,71 | 0,12 | 13,16 |
| | II B/C | 1,55 | 2,66 | 0,08 | 17,61 |
| Las Rosas | A | 2,00 | 3,44 | 0,17 | 11,76 |
| | A/B | 0,34 | 0,58 | 0,04 | 8,95 |
| | B | 0,12 | 0,21 | 0,02 | 7,06 |
| | B/C | 0,21 | 0,36 | 0,02 | 8,40 |
| Carboneras | A ₁₁ | 3,65 | 6,28 | 0,37 | 9,86 |
| | B | 0,42 | 0,72 | 0,04 | 12,00 |
| | B/C | 0,21 | 0,36 | 0,03 | 7,50 |
| Mina | A _p | 1,60 | 2,75 | 0,18 | 8,89 |
| | B ₁ | 0,49 | 0,84 | 0,07 | 7,00 |
| | B ₂ | 0,33 | 0,57 | 0,05 | 6,60 |
| | B ₃ | 0,20 | 0,34 | 0,03 | 6,67 |
| | B/C | 0,21 | 0,36 | 0,03 | 8,08 |
| Bajamar | A _p /B | 0,48 | 0,83 | 0,07 | 6,60 |
| | B | 0,48 | 0,83 | 0,07 | 6,90 |
| | II B _{Ca} | 0,19 | 0,34 | 0,03 | 6,40 |

TABLEAU III
pH, capacité totale d'échange (pH = 7), bases échangeables et taux de saturation

| Profil | Horizon | pH | | CaCO ₃ % | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | S | T | S/T % |
|------------|--------------------|------------------|-----|---------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-------|-------|-------|
| | | H ₂ O | KCl | | | | | | | | |
| Poleo | A | 6,0 | 5,2 | | 3,73 | 3,00 | 0,58 | 1,95 | 9,26 | 37,99 | 24,37 |
| | B | 6,1 | 5,4 | | 3,47 | 1,97 | 4,84 | 1,17 | 11,45 | 38,44 | 29,78 |
| | II B | 6,2 | 5,5 | | 2,55 | 2,67 | 1,06 | 0,88 | 7,16 | 18,93 | 37,82 |
| Las Lajas | II B ₁ | 5,3 | 4,2 | | 1,56 | 2,07 | 2,17 | 0,93 | 6,73 | 35,90 | 18,70 |
| | II B ₂ | 5,5 | 4,4 | | 2,12 | 2,63 | 3,80 | 0,19 | 8,74 | 32,80 | 26,70 |
| | II B/C | 5,4 | 4,5 | | 1,12 | 1,43 | 2,38 | 0,09 | 5,08 | 26,30 | 19,20 |
| Las Rosas | A | 5,9 | 4,3 | | 4,79 | 3,19 | 0,75 | 1,91 | 10,64 | 27,36 | 38,88 |
| | A/B | 5,9 | 4,6 | | 4,61 | 3,81 | 3,73 | 1,05 | 13,20 | 23,63 | 55,86 |
| | B | 5,3 | 3,6 | | 1,34 | 1,72 | 1,78 | 0,34 | 5,18 | 14,74 | 35,14 |
| | B/C | 5,7 | 4,7 | | 4,48 | 4,63 | 1,31 | 0,56 | 10,98 | 22,17 | 49,52 |
| Carboneras | A ₁₁ | 6,2 | 4,7 | | 6,66 | 4,58 | 0,86 | 1,37 | 13,47 | 34,45 | 39,10 |
| | B | 6,8 | 5,3 | | 4,98 | 3,69 | 2,47 | 2,37 | 13,51 | 29,13 | 46,38 |
| | B/C | 6,8 | 5,3 | | 6,13 | 5,03 | 3,28 | 1,24 | 15,68 | 29,68 | 52,83 |
| Mina | A _p | 6,5 | 5,5 | | 7,55 | 5,00 | 1,01 | 4,89 | 18,45 | 28,24 | 65,33 |
| | B ₁ | 6,5 | 5,4 | | 6,45 | 4,68 | 1,15 | 1,43 | 13,71 | 24,78 | 55,33 |
| | B ₂ | 6,6 | 5,4 | | 6,12 | 5,49 | 2,11 | 2,12 | 15,84 | 31,34 | 50,54 |
| | B ₃ | 6,8 | 5,7 | | 8,44 | 7,34 | 3,59 | 1,95 | 21,32 | 34,17 | 62,39 |
| | B/C | 6,9 | 5,8 | | 8,75 | 6,84 | 4,65 | 1,54 | 21,78 | 30,58 | 71,22 |
| Bajamar | A _p /B | 8,8 | 7,3 | 1,06 | 26,60 | 10,90 | 3,06 | 0,69 | 41,25 | 37,40 | — |
| | B | 8,1 | 7,3 | 1,24 | 28,70 | 12,10 | 4,10 | 0,59 | 45,49 | 41,50 | — |
| | II B _{Ca} | 8,6 | 7,6 | 34,25 | * | 19,00 | 5,40 | 0,22 | * | 41,60 | — |

* La présence de CaCO₃ secondaire empêche la détermination de Ca²⁺ échangeable.

2.3. pH, COMPLEXE D'ÉCHANGE (TABL. III)

Le pH est acide ou modérément acide dans les sols ferrallitiques et fersiallitiques, oscillant entre 5,3 et 6,9 ; il augmente considérablement dans les vertisols, atteignant une valeur de 8,8.

La différence de pH mesuré en solution H₂O et KCl est supérieure à l'unité, sauf dans quelques horizons des sols ferrallitiques. Elle atteint même des valeurs proches de 2 ; ce qui est un indice de minéraux argileux à forte capacité d'échange.

La somme des bases échangeables augmente considérablement, en passant des sols ferrallitiques aux vertisols. Elle oscille entre 5,1 et 11,4 mé/100 gr. dans les sols ferrallitiques, 10,6 et 21,8 mé/100 gr., dans les sols fersiallitiques et elle dépasse 45 mé/100 gr. dans les vertisols.

On observe une brusque diminution de la teneur en bases échangeables dans l'horizon B du profil Las Rosas, où elle est seulement de 5 mé/100 gr. Ce sol est en effet à la limite un intergrade vers les sols ferrallitiques.

Les ions Ca⁺⁺ et le Mg⁺⁺ sont les mieux représentés dans le complexe absorbant, tout au long de la séquence. Nous devons faire exception du profil Las

Lajas où Na⁺ est aussi important. La distribution de Ca⁺⁺ et de Mg⁺⁺ dans chaque profil, est irrégulière pour les sols ferrallitiques et fersiallitiques. Dans les vertisols, ces éléments augmentent avec la profondeur. En général les ions Na⁺ et K⁺ sont en plus petite proportion que Ca²⁺ et Mg²⁺. Cependant Na⁺ a tendance à augmenter avec la profondeur dans quelques sols fersiallitiques et surtout dans les vertisols. Pour le reste des profils, sa distribution est irrégulière. Quant à l'ion K⁺, il diminue avec la profondeur dans tous les profils.

La capacité d'échange est la plus basse dans le sol ferrallitique de Poleo (18,9 mé/100 gr.) ; elle augmente dans le profil Las Lajas ; des valeurs similaires se maintiennent dans les sols fersiallitiques ; ce qui correspond à une minéralogie avec prédominance d'halloysite et plus ou moins de gibbsite dans le premier cas, ou d'argiles halloysitiques avec un peu d'argiles 2/1 dans les sols fersiallitiques. On observe exceptionnellement une discontinuité dans les valeurs de capacité d'échange au niveau de l'horizon B dans le profil Las Rosas. Dans le vertisol, la capacité d'échange augmente notablement, avec des valeurs de 42 mé/100 gr. environ ; ce qui correspond à une composition minéralogique avec prédominance d'argiles 2/1.

TABLEAU IV
Analyse chimique totale

| Profil | Hor. | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | MgO | CaO | Mn ₃ O ₄ | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | Perte | SiO ₂ | SiO ₂ | SiO ₂ |
|------------|-------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------|--------------------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|--------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|
| | | | | | | | | | | | | au feu | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ |
| | | | | | | | | | | | | 105° | | | |
| | | | | | | | | | | | | 1000° | | | |
| | | | | | | | | | | | | % | mol. | mol. | mol. |
| Poleo | A | 28,65 | 27,67 | 13,03 | 8,29 | 1,16 | 1,98 | 0,31 | 2,86 | 1,05 | 0,29 | 16,00 | 1,76 | 5,85 | 4,59 |
| | B | 33,62 | 26,40 | 13,94 | 10,07 | 1,11 | 0,75 | 0,16 | 0,66 | 0,65 | 0,24 | 13,02 | 2,16 | 6,41 | 4,44 |
| | II B | 30,12 | 29,52 | 16,08 | 10,92 | 1,50 | 1,44 | 0,28 | 0,84 | 0,94 | 0,16 | 11,80 | 1,73 | 4,98 | 3,67 |
| Las Lajas | B ₁ | 35,90 | 25,62 | 8,41 | | 0,40 | 0,11 | 0,06 | 0,15 | 0,61 | | 17,44 | 2,37 | 11,48 | |
| | II B ₂ | 33,61 | 28,77 | 7,75 | | 0,18 | 0,03 | 0,03 | 0,15 | 0,24 | | 18,50 | 2,13 | 7,35 | |
| | II B/C | 25,81 | 35,36 | 8,16 | | 0,13 | 0,03 | 0,06 | 0,15 | 0,24 | | 22,98 | 1,24 | 8,41 | |
| Las Rosas | A | 39,78 | 25,36 | 13,28 | 8,74 | 1,33 | 0,97 | 0,10 | 0,97 | 1,27 | 0,12 | 8,05 | 2,66 | 7,97 | 6,05 |
| | A/B | 40,72 | 29,68 | 8,21 | 4,77 | 1,37 | 0,86 | 0,04 | 0,89 | 1,14 | 0,06 | 11,93 | 2,33 | 13,19 | 11,37 |
| | B | 47,85 | 27,25 | 7,56 | 4,36 | 1,39 | 1,31 | 0,07 | 3,00 | 2,13 | 0,07 | 6,10 | 2,98 | 16,84 | 14,62 |
| | B/C | 39,95 | 23,63 | 14,90 | 9,40 | 1,73 | 0,99 | 0,12 | 0,51 | 0,83 | 0,19 | 8,06 | 2,87 | 7,13 | 5,66 |
| Carboneras | A ₁₁ | 31,12 | 18,42 | 22,03 | 9,59 | 1,49 | 1,45 | 0,30 | 0,77 | 0,89 | 0,17 | 15,00 | 2,87 | 3,76 | 4,31 |
| | B | 29,84 | 21,26 | 24,58 | 12,00 | 0,79 | 0,82 | 0,14 | 0,46 | 0,27 | 0,13 | 11,00 | 2,38 | 3,23 | 3,31 |
| | B/C | 32,16 | 20,71 | 23,45 | 8,72 | 1,19 | 1,42 | 0,17 | 1,25 | 0,39 | 0,11 | 11,01 | 2,64 | 3,65 | 4,91 |
| Mina | Ap. | 37,65 | 17,14 | 20,52 | 10,90 | 2,38 | 1,61 | 0,23 | 0,87 | 1,82 | 0,16 | 10,00 | 3,73 | 4,88 | 4,56 |
| | B ₁ | 41,27 | 16,55 | 21,48 | 12,34 | 2,50 | 1,62 | 0,22 | 1,74 | 2,06 | 0,12 | 7,30 | 4,23 | 5,11 | 4,41 |
| | B ₂ | 33,64 | 17,81 | 22,34 | 12,73 | 2,49 | 1,15 | 0,21 | 0,90 | 1,57 | 0,13 | 7,80 | 3,21 | 4,00 | 3,46 |
| | B ₃ | 36,30 | 22,20 | 23,80 | 14,00 | 3,40 | 1,42 | 0,30 | 0,72 | 1,01 | 0,12 | 8,00 | 2,80 | 4,08 | 3,48 |
| | B/C | 35,16 | 18,05 | 22,49 | 14,30 | 4,32 | 1,76 | 0,28 | 0,54 | 1,26 | 0,13 | 7,00 | 3,31 | 4,16 | 3,26 |
| Bajamar | A _p /B | 52,23 | 14,56 | 10,25 | 8,27 | 2,36 | 2,08 | 0,26 | 1,44 | 2,62 | 0,14 | 6,60 | 6,09 | 13,57 | 8,40 |
| | B | 53,25 | 14,41 | 10,25 | 8,06 | 2,36 | 2,23 | 0,24 | 1,96 | 2,77 | 0,13 | 6,60 | 6,27 | 13,83 | 8,79 |

Il y a une relation très étroite entre le degré de saturation et les conditions climatiques. Ainsi, les sols situés dans des conditions les plus humides (ferrallitiques), sont fortement ou moyennement désaturés (18,7 % à 37,8 %) ; en situation intermédiaire les sols fersiallitiques sont moyennement ou faiblement désaturés ; enfin, les vertisols, qui sont situés dans la zone la plus sèche de la séquence, sont totalement saturés.

2.4. ANALYSE CHIMIQUE TOTALE

Le tableau IV donne les résultats de l'analyse chimique des sols de cette séquence. On y observe des différences très nettes entre les trois groupes de sols :

Dans les sols ferrallitiques, la perte de silice et de bases est importante, produisant une accumulation relative de Fe₂O₃, Al₂O₃, et TiO₂. Nous devons faire ressortir la grande teneur en aluminium de l'horizon IIB/C du profil Las Lajas, qui correspond à un contenu important en gibbsite.

Dans les sols fersiallitiques, la lixiviation est bien moindre. C'est pourquoi on y trouve des pourcentages de silice et de bases plus élevés, et par contre moindres en aluminium. Le fer y reste en proportion

importante et il représente pratiquement le quart du sol ; ce qui coïncide aussi avec le chroma rouge très intense que ces sols présentent. Nous devons signaler que l'analyse chimique du profil Las Carboneras montre une lixiviation de silice et de bases plus grande que dans les autres sols fersiallitiques ; il s'agit d'un intergrade ferrallitique. Par contre, dans le profil Las Rosas, nous observons une discontinuité au niveau de l'horizon B, qui nous indique l'existence d'un matériau originel phonolitique à sanidine, plus acide et moins altérable ; celui-ci a une plus grande teneur en SiO₂, Na₂O, et K₂O, mais moindre en Fe₂O₃, que les basaltes.

Dans les vertisols, étant donné leur situation en piémont, ceux-ci peuvent être enrichis par les produits de lixiviation latérale des sols situés en amont. Cela pourrait expliquer en partie leur pourcentage plus élevé en SiO₂ et en bases, et relativement moindre en Al₂O₃ et en Fe₂O₃. Mais cela s'explique aussi par une moindre « agressivité » du climat, relativement plus aride.

Le rapport SiO₂/Al₂O₃ molaire nous permet de bien différencier les trois types de sols de la séquence : ainsi, les sols ferrallitiques présentent une valeur inférieure à 2 ou très légèrement supérieure, les sols fersiallitiques entre 2,3 et 4,2, et les vertisols 6 environ.

TABLEAU V
Granulométrie

| Profil | Horizon | Argile < 2 μ | Limon 2 - 20 μ | Sable fin 20 - 200 μ | Sable grossier 200 μ - 2 mm |
|------------|--------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Poleo | A | 42,3 | 38,9 | 14,5 | 3,9 |
| | B | 46,7 | 32,5 | 10,7 | 5,7 |
| | II B | 55,5 | 28,7 | 6,6 | 6,9 |
| Las Lajas | II B ₁ | 83,5 | 10,9 | 0,8 | 1,9 |
| | II B ₂ | 84,9 | 9,8 | 0,8 | 1,8 |
| | II B/C | 59,8 | 27,8 | 2,9 | 6,2 |
| Las Rosas | A | 60,8 | 21,1 | 5,9 | 7,2 |
| | A/B | 76,3 | 12,5 | 2,2 | 5,8 |
| | B | 61,5 | 10,7 | 3,2 | 24,2 |
| | B/C | 63,8 | 26,0 | 3,9 | 2,9 |
| Carboneras | A ₁₁ | 41,6 | 49,2 | 4,4 | 3,4 |
| | B | 49,9 | 36,9 | 4,2 | 4,4 |
| | B/C | 52,4 | 35,3 | 5,4 | 4,8 |
| Mina | A _p | 48,1 | 40,6 | 5,1 | 5,6 |
| | B ₁ | 46,3 | 43,2 | 8,1 | 4,5 |
| | B ₂ | 50,5 | 42,9 | 1,6 | 3,4 |
| | B ₃ | 58,2 | 37,2 | 1,2 | 2,2 |
| | B/C | 57,7 | 34,6 | 2,4 | 3,2 |
| Bajamar | A _p /B | 61,2 | 33,6 | 2,5 | 3,4 |
| | B | 64,7 | 32,4 | 2,3 | 2,6 |
| | II B _{Ca} | 62,2 | 18,5 | 6,2 | 14,3 |

La réalisation de l'analyse chimique dans le sol total par fusion a sans doute provoqué la dissolution des quelques minéraux primaires contenus dans les échantillons : principalement du quartz, de la sanidine et des micas. C'est pourquoi le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ molaire est supérieur à celui auquel on pourrait s'attendre, si l'on considère seulement la nature minéralogique de leurs constituants secondaires (argiles et sesquioxydes d'altération, qui seront analysés dans la deuxième partie de cette étude).

2.5. GRANULOMÉTRIE (TABLEAU V)

Tous les sols de la séquence présentent une texture argileuse. Le profil ferrallitique de Las Lajas a le pourcentage le plus élevé (85 %) de fraction inférieure à 2 μ et la plus petite quantité de sable. Nous pouvons donc prétendre qu'il présente le plus haut degré d'altération. Au niveau de l'horizon B du profil Las Rosas, comme pour les propriétés physico-chimiques déjà étudiées, la répartition granulométrique montre une discontinuité très prononcée : il y a un pourcentage beaucoup plus élevé de fraction sable que dans les horizons supérieurs, mais moindre en limon et en argile.

Le profil « Las Carboneras », présente un contenu plus petit en argile que celui des deux autres sols fersiallitiques. La fraction limon y est très bien représentée et elle dépasse dans l'horizon de surface la

fraction inférieure à 2 μ . Par conséquent, ce profil détient les plus basses valeurs du rapport argile/limon ; celles-ci oscillent entre 0,84 et 1,48. Dans le profil « La Mina », ces valeurs sont légèrement supérieures. Les plus hautes valeurs correspondent au sol ferrallitique de « Las Lajas » (2,1-8,6) et au sol fersiallitique de « Las Rosas » (2,4-6,1), qui présentent, comme nous l'indiquions précédemment, le plus haut degré d'altération. Le vertisol a des valeurs intermédiaires (1,8-3,4).

Le rapport argile/limon a tendance à augmenter régulièrement avec la profondeur dans tous les sols, sauf dans les profils « Las Lajas » et « Las Rosas », où la valeur maximum apparaît au centre du profil. Cet accroissement, du haut vers le bas, du rapport argile/limon indique un rajeunissement probable des sols en surface, plutôt qu'une éluviation d'argile. La granulométrie des horizons superficiels du profil « La Mina » ne correspond pas à la texture argilo-sableuse qui avait été estimée sur le terrain. Cela pourrait correspondre à une micro-structure de pseudo-sables.

III. INTERPRÉTATION

Les études réalisées dans ce travail seront complétées dans un prochain article, dans lequel nous traiterons des propriétés minéralogiques et micromor-

phologiques de ces sols. Cet ensemble de données nous permettra en outre, de disposer de critères quantitatifs suffisants pour arriver à l'interprétation et la classification des sols de cette séquence. Cependant ces premières données ont fait déjà nettement apparaître trois groupes de sols bien différenciés : ferrallitiques, fersiallitiques et vertisols, tous issus de roches volcaniques basiques pléistocènes. Ces trois ensembles sont étroitement reliés entre eux suivant une toposéquence et une variation progressive du climat, du plus régulièrement humide sur les sommets, au plus aride en bas de pente.

En conclusion de cette première partie de notre étude, la séquence topo-climatique septentrionale de Ténérife montre l'évolution suivante des caractéristiques des sols :

Premièrement, morphologique : La couleur, de rouge devient brunâtre, puis très foncée. La structure, de fine, friable et microporeuse, s'élargit pour être vertique et très consistante. La profondeur de l'altération diminue fortement. Un encroûtement calcaire apparaît en bas de séquence.

Deuxièmement, dans le contenu en matière organique : La teneur, très élevée en haut de séquence,

devient faible dans les vertisols. En même temps, le rapport C/N diminue légèrement.

Troisièmement, dans les propriétés chimiques : Le pH nettement acide dans les sols ferrallitiques (4 à 5), devient légèrement alcalin dans les vertisols (7 à 8), en même temps qu'une accumulation calcaire apparaît, ainsi qu'une élévation du taux en ion Na⁺. La capacité d'échange cationique s'élève progressivement, de 15-20 mé/100 gr. à 40 mé/100 gr., en même temps que le taux de bases échangeable, de 20-30 % à la saturation totale. Le rapport silice/alumine molaire, caractéristique du degré d'évolution géochimique de l'altération, est voisin de 2 dans les sols ferrallitiques et s'élève progressivement à plus de 4 dans les vertisols.

Quatrièmement, la répartition granulométrique ne montre pas d'évolution corrélative et significative : Tous ces sols sont riches en fractions argileuses et limoneuses. L'évolution du rapport argile/limon reflète en réalité la nature du matériau originel (phonolitique ou basaltique) et la durée de son altération, plutôt (dans notre séquence) que la nature des minéraux secondaires produits.

Nous verrons dans la deuxième partie l'évolution corrélative des caractéristiques minéralogiques des sols de la séquence.

Manuscrit reçu au Service des Publications de l'ORSTOM, le 26 avril 1979.

BIBLIOGRAPHIE

- FERNANDEZ CALDAS (E.), TEJEDOR SALGUERO (M.L.), 1975.— « Andosoles de las Islas Canarias ». Publicación de la Caja de Ahorros de Sta Cruz de Tenerife.
- FERNANDEZ CALDAS (E.), QUANTIN (P.), TEJEDOR SALGUERO (M.L.), 1978.— « Séquence climatique des sols récents de la région septentrionale de Ténérife (Iles Canarias). 2^e Partie : Caractéristiques minéralogiques, interprétation et classification ». *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XVI, n° 4, 397-412.
- QUANTIN (P.), 1975.— « Sols des Iles Canarias ». *Rapport multigr.*, ORSTOM Bondy, inédit.
- QUANTIN (P.), FERNANDEZ CALDAS (E.), TEJEDOR SALGUERO (M.L.), 1977.— « Climatosequence de la région méridionale de l'île de Ténérife (Iles Canarias). 1^{ère} Partie : Écologie, morphologie, caractéristiques physico-chimiques ». *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XV, n° 4 : 49-65.
- TEJEDOR SALGUERO (M.L.), FERNANDEZ CALDAS (E.), QUANTIN (P.), 1978.— « Séquence climatique des sols récents de la région septentrionale de Ténérife (Iles Canarias). 1^{ère} Partie : Écologie, morphologie, caractéristiques physico-chimiques ». *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XVI, n° 3 : 251-264.
- TEJEDOR SALGUERO (M.L.), QUANTIN (P.), FERNANDEZ CALDAS (E.), 1978.— « Climatosequence de la région méridionale de l'île de Ténérife (Iles Canarias). 2^e Partie : Caractéristiques minéralogiques, interprétation et classification ». *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XVI, n° 1 : 83-106.
- RICHARDS (L.A.), 1954.— « Diagnosis and improvement of saline and alkali soils ». *Agricultural Handbook*, n° 60, p. 100, U.S.D.A.
- RODRIGUEZ HERNANDEZ (C.), 1976.— « Vertisoles y suelos con caracter vértico de las Islas Canarias Occidentales ». Tesis Doctoral, Universidad de La Laguna, Tenerife, España.
- RODRIGUEZ RODRIGUEZ (A.), 1977.— « Contribución al estudio de los suelos fersialiticos de las Islas Canarias Occidentales (Ténérife, La Palma) ». Tesis Doctoral, Universidad de La Laguna, Tenerife, España.