

# Climatoséquence de la région méridionale de l'île de Ténérife (Iles Canaries)

## 1<sup>ère</sup> partie : écologie, morphologie, caractéristiques physico-chimiques

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

\* Pédologue ORSTOM

ORSTOM, 70, route d'Aulnay, Bondy

\*\* Centro de Edafología y Biología aplicada,  
Santa Cruz de Tenerife, Espagne

### RÉSUMÉ

*Une séquence topo-climatique de sols issus de roches volcaniques est observée dans la partie méridionale de Ténérife. Elle comporte la succession de sols suivante, du sommet vers le bas versant : sol brun andique, sol brun eutrophe, sol fersiallitique, vertisol, sol marron et sol sodique à encroûtement calcaire et gypseux.*

*La première partie expose tout d'abord les conditions écologiques actuelles de la pédogenèse sur le versant méridional. Ensuite, elle traite des caractéristiques morphologiques, physiques et chimiques de chacun des sols. Enfin, elle montre l'évolution de ces caractéristiques dans la séquence.*

*La deuxième partie traite des caractéristiques minéralogiques et géochimiques de chaque sol et de leur évolution dans la séquence. Une interprétation générale des faits montre que la concordance entre la distribution des sols et la séquence climatique actuelle n'est qu'apparente. Dans la partie inférieure de la séquence (sol fersiallitique, vertisol, sol marron et sol sodique), les conditions climatiques auraient varié récemment : d'abord plus humides, permettant la genèse des minéraux argileux ; puis plus arides entraînant l'accumulation de carbonates, de sulfates et l'alcalisation de la partie supérieure du profil, à l'extrémité inférieure de la séquence.*

### SUMMARY

*A topo-climatic sequence of soils derived from volcanic rocks has been observed in the southern part of Tenerife. It includes the following soils, from the top to the lower part of the slope : andic Brown Earth, eutrophic-Brown Earth, Fersiallitic-Soil, Vertisol, Cinnamonic-Soil and Sodic-Soil with calcareous and gypseous crust.*

*To begin with the first part states the present ecological conditions of pedogenesis on the southern slope. Then, it deals with the morphological, physical and chemical characteristics of each soil. At last, it shows the evolution of these characteristics along the sequence.*

*The second part deals with the mineralogical and geochemical characteristics of each soil and shows their evolution along the sequence. A general interpretation of data emphasizes that there is an only apparent concordance between the soils distribution and the present climatic sequence. In the lower part of this sequence of soils (Fersiallitic-Soil, Vertisol, Cinnamonic and Sodic Soils), the climatic conditions could have recently changed : at first wetter ones, allowing the Genesis of clay minerals ; then more aridic ones producing the accumulation of carbonates, sulphates, and the alkalization of the upper part of soil profile, at the lowest part of the sequence.*

## SOMMAIRE

## I. GÉNÉRALITÉS

1. Situation
2. Climat
3. Géologie

## II. CARACTÉRISTIQUES ÉCOLOGIQUES DU VERSANT SUD

1. Climat
2. Végétation
3. Géologie

## III. SÉQUENCE PÉDOLOGIQUE DU VERSANT SUD

## 1. CARACTÉRISTIQUES DES SOLS

## 1.1. Morphologie

## 1.2. Caractéristiques physico-chimiques

- Méthodes analytiques
- Matière organique
- Complexe d'échange, pH
- Sels solubles, Ca CO<sub>3</sub>
- Analyse chimique totale
- Granulométrie

## 2. INTERPRÉTATION

## BIBLIOGRAPHIE

## I. GÉNÉRALITÉS

## 1. Situation

Les îles Canaries sont situées face au désert du Sahara à proximité du tropique du Cancer, entre 27°38' et 29°25' de latitude nord.

Ce sont des îles d'origine volcanique. La plus ancienne, l'île de La Gomera, date probablement du Miocène ou du début du Pliocène. Dans l'île de Ténérife, les péninsules d'Anaga et de Teno se sont formées à la même époque. Dans ces zones, on n'a observé aucune manifestation volcanique pendant tout le Quaternaire.

L'île la plus récente, Hierro, correspond au Pléistocène et a subi des éruptions volcaniques pendant la dernière période géologique, tout comme la zone centrale de l'île de Ténérife et d'autres îles de l'archipel.

Après des recherches réalisées par Abdel-Monen, Wathins, Gast (1972), ceux-ci accordent un âge qui oscille entre 4,5 et 16 millions d'années à l'île de Ténérife, en ce qui concerne les formations basaltique du

complexe basal. Par contre, ils attribuent un âge de moins de 200 000 ans à la zone plus récente, se trouvant autour du volcan Teide.

## 2. Climat

Son climat pourrait être défini en première approximation, comme subtropical et maritime, bien que, réellement on ne puisse parler d'un climat général pour l'archipel, mais de différentes zones climatiques parfaitement définies.

Le fait qu'il existe des climats aussi variables obéit à différents facteurs. Les plus importants sont : 1° des vents alizés réguliers venant de l'équateur ; 2° le courant marin froid des Canaries ; 3° une zone d'inversion thermique à 1 500 m d'altitude approximativement ; 4° l'orographie des îles.

Ce dernier facteur détermine, par l'altitude et l'orientation des systèmes montagneux, deux situations opposées. L'une correspond aux versants nord et nord-est, où les vents alizés contribuent à maintenir un climat humide, et l'autre aux versants occidentaux et méridionaux, protégés de ces vents et où l'on note une climatologie plus sèche et plus aride.

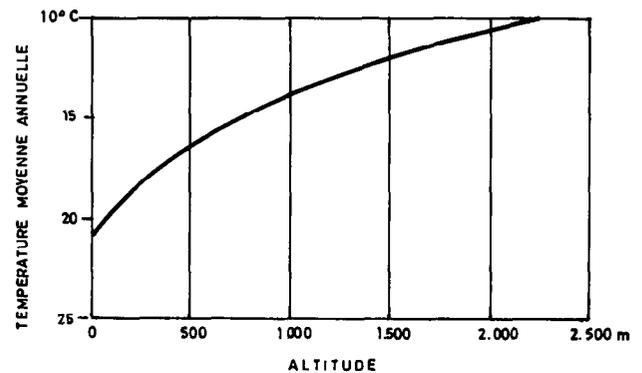


FIG. 1. — Variation de la température moyenne annuelle en fonction de l'altitude.

Sur la figure 1, sont indiquées les températures moyennes annuelles en fonction de l'altitude, températures qui peuvent être généralisées sur ces deux versants climatiques (Kunkel, 1976). Sur ces deux versants, les différences de température peuvent être plus accusées dans leurs amplitudes diurnes, tandis que leurs moyennes annuelles sont très proches les unes des autres. D'une manière générale, on peut

affirmer qu'il existe des différences de 2 °C approximativement pendant l'hiver et de 4 °C pendant l'été, entre les versants Nord et Sud. Il faut noter aussi à basse altitude, que l'écart annuel entre les moyennes mensuelles de température ne dépasse pas 7°. La valeur assez élevée de la température moyenne annuelle, proche de 18 à 19°, et la faible amplitude saisonnière, sont des caractères de climat subtropical.

### 3. Géologie

Les matériaux géologiques, qui sont tous d'origine volcanique, sont constitués principalement de basaltes basiques, formés de coulées de laves ou des produits de projections pyroclastiques et de cendres ; on trouve également des roches saliques et des matériaux phonolitiques et trachitiques (Fuster *et al.* 1968). Ces derniers matériaux acides sont toujours subordonnés, en volume, aux basaltes.

Les basaltes peuvent être de type océanitique (riches en olivine) ou ankaramitique (riches en augite) ou plagioclasiq.

Les phonolites contiennent des phénocristaux de feldspathoïdes, de hornblende, d'augite, de feldspath potassique (sanidine) et de plagioclases sodiques.

Les trachites, moins fréquents que les phonolites, contiennent des feldspaths très alcalins (potassiques et sodiques), des hornblendes, et des augites. Ils sont composés également de biotite et quelquefois d'apatite.

La composition chimique des basaltes et des phonolites varie à l'intérieur des limites indiquées sur le tableau I. (Bravo 1964) (Cabezas Viaño, 1975).

TABLEAU I

Composition chimique des roches volcaniques

	Basaltes		Phonolites	
	Lim. inf.	Lim. sup.	Lim. inf.	Lim. sup.
SiO <sub>2</sub> (%)	41	48	57	64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	8	18	16	20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4	8	1,5	3
FeO (%)	4	9	1,5	2
MgO (%)	6	10	1	2
CaO (%)	12	16	1	2
Na <sub>2</sub> O (%)	1	3	6	7
K <sub>2</sub> O (%)	0,2	0,8	4	5,5
TiO <sub>2</sub> (%)	2	4	0,5	1

Les phonolites se caractérisent par des valeurs élevées en SiO<sub>2</sub> et en alcalins (Na<sub>2</sub>O et K<sub>2</sub>O) tandis que les basaltes présentent des valeurs plus élevées en CaO, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

## II. CARACTÉRISTIQUES ÉCOLOGIQUES DU VERSANT SUD

### 1. Climat

Sur le versant occidental et méridional, on observe deux zones altitudinales climatiques bien définies, une zone basse aride, et une zone haute plus humide, où les précipitations sont encore rares et peu abondantes.

Il existe, en outre, une troisième zone à climat subalpin, qui commence à une altitude approximative de 2 500 m ; dans cette zone, le climat est nettement plus aride et plus froid. En hiver, quand l'air polaire maritime envahit cette zone, d'importantes précipitations peuvent avoir lieu sous forme de neige.

Sur la figure 2 est représentée la courbe des précipitations moyennes annuelles, en fonction de l'altitude (Kunkel 1976). Sur celle-ci figure la situation des profils étudiés dans cette séquence.

Les températures qui correspondent aux différentes altitudes de cette région sont (Kunkel, 1976) :

0 m- 250 m	20-25 °C
250 m- 600 m	15-25 °C
600 m-1 000 m	15-18 °C
1 500 m-2 500 m	12-15 °C
> 2 500 m	4-18 °C

Kunkel distingue 6 zones climatiques, indiquées sur la figure 3.

D'une manière générale, on peut dire que la grande aridité, caractéristique de la région méridionale et occidentale de l'île, est due à ce que les vents humides qui viennent du nord n'atteignent pas cette zone, à cause des barrières montagneuses centrales de l'île, qui s'interposent sur son passage.

### 2. Végétation

La variabilité climatique se manifeste aussi sur la végétation qui forme des strates bien définies à différentes altitudes, comme l'indique la figure 3.

Dans les zones basses prédomine le *Klenio Euphorbion* (Ceballos, Ortuno, 1951) à *Euphorbia canariensis*,

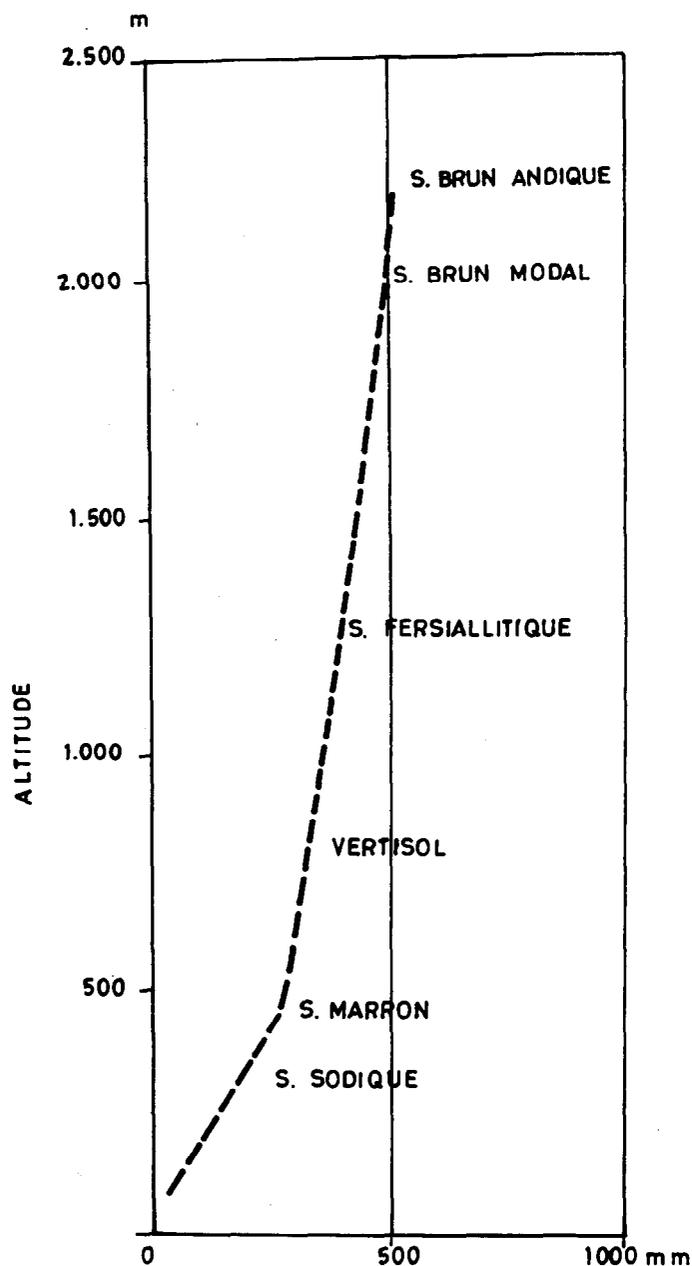


FIG. 2. — Répartition des sols en fonction de la pluviométrie moyenne annuelle.

*Sempervivum canariensis*, *Launaea spinosa*, *Schizogyne sericea*, *Cneorum pulverulentum*, *Kleinia neriifolia*, *Sempervivum holochysum*, etc. qui laisse progressivement la place au pin (*Pinus canariensis*) ; dans les

zones plus élevées, de caractère subalpin, prédominent les Légumineuses de haute montagne, à *Spartocitissus nubigenus*, ainsi que d'autres espèces de plantes : *Adenocarpus viscosus*, *Dichranthus scoparius*, *Scrophularia glabrata*, *Chrysanthemum anethifolium*, etc.

### 3. Géologie

La région méridionale se caractérise du point de vue lithologique, par l'abondance des matériaux acides qui recouvrent sa surface, spécialement de cendres et ponces phonolitiques, sur lesquelles se sont formés principalement ces sols.

On observe fréquemment des altérations de basaltes recouvertes de cendres phonolitiques ou trachitiques.

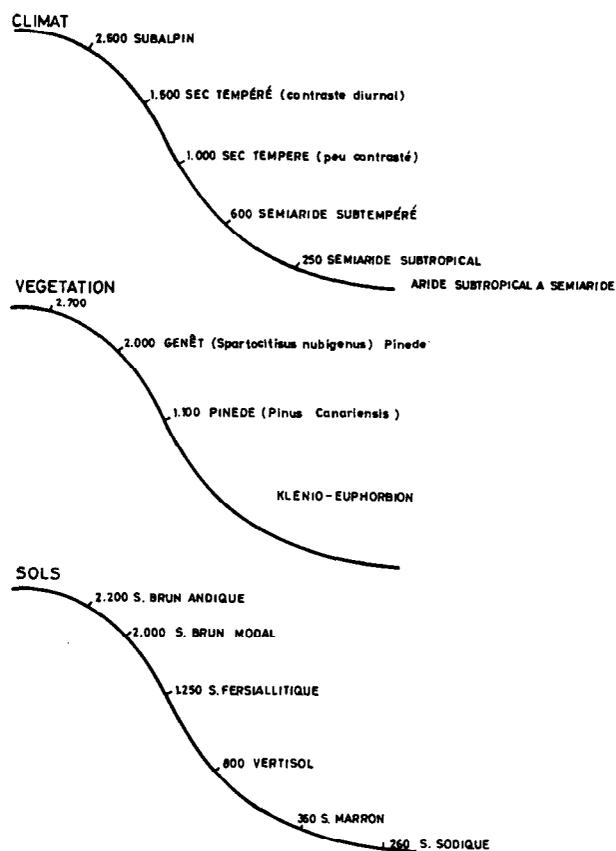


FIG. 3. — Répartition du climat, de la végétation et des sols en fonction de l'altitude.

### III. SÉQUENCE PÉDOLOGIQUE DU VERSANT SUD

La topographie est très accidentée, et les variations d'altitude sont suffisamment larges pour établir une corrélation entre la variabilité climatique, la formation et l'évolution des différents types de sols.

Dans le cas présent, cette circonstance a permis de sélectionner sur le versant méridional de l'île de Ténérife, une zone comprise entre 2 500 m et 100 m d'altitude approximativement, entre les sommets de Vilaflor et Arona qui inclut les différentes zones climatiques et les unités pédologiques de cette région, comme l'indique la figure 3.

La séquence climatique étudiée comprend les types de sols suivants : sol brun andique ; sol brun modal ; sol fersiallitique, vertisol ; sol marron ; sol sodique. Parmi ces sols, certains ont déjà été cités dans des travaux antérieurs (Fernandez Caldas, Guerra Delgado, 1971 ; Perez, Fernandez Caldas, Garcia, 1975 ; Fernandez Caldas, Rodriguez Hernandez, 1977 ; Quantin *et al.* 1976).

#### 1. Caractéristiques des sols

##### 1.1. MORPHOLOGIE

###### 1.1.1. *Sol brun andique (Pino 57)*

Localisation : route de Las Cañadas à Vilaflor, versant du Lomo de Retamas.

Pente : forte, de 30 %.

Altitude : 2 200 m

Végétation : pins (*Pinus canariensis*) et Retama (*Spartocytisus nubigenus*).

Roche-mère : Phonolites.

Le sol est revêtu d'une couche de cailloux phonolitiques.

###### 0-12 cm. Horizon A<sub>11</sub>

— Brun foncé (10 YR 3/3) ; cailloux et graviers abondants, phonolitiques, peu altérés ; terre fine intersticielle sablo-limoneuse et très humifère ; structure, particulière ou grumeleuse fine peu développée et très friable ; sec ; beaucoup de racines ; test de NaF : moyennement positif.

###### 12-20 cm. Horizon A<sub>12</sub>

— Brun-jaune (10 YR 5-4/4) ; graveleux et caillouteux, à terre fine sablo-limoneuse ; structure particulière très friable ; sec ; beaucoup de racines ; test de NaF : faiblement positif.

###### 20-40 cm. Horizon (B) C

— Jaune vif, un peu rougeâtre (7,5 YR 5-4/4) ; graveleux et terre fine un peu plus argileuse (limono-argileuse) ; structure continue ou polyédrique fine peu développée ; cohésion assez forte, friable ; un peu humide ; racines grossières et dispersées ; test de NaF : à peine positif, très faible.

##### 1.1.2. *Sol brun modal (Dornajido)*

Localisation : route de Las Cañadas à Vilaflor, sur un versant de coulées volcaniques, entre les petits cônes volcaniques de Las Lajas et de Mont Colorada.

Pente : 20-30 %.

Altitude : 2 030 m.

Végétation : pins (*Pinus canariensis*) et Escobon, à caractères xérophytiques d'altitude.

Roche-Mère : basalte.

Erosion assez forte, ayant laissé une couche de cailloux de type phonolitique en surface.

###### 0-3/4 cm. Horizon A<sub>11</sub>

— Brun gris foncé ; cendrex (cendres volcaniques fines) ; particuliers ; sec ; test de NaF : négatif.

###### 3/4-23 cm. Horizon A<sub>12</sub>

— Brun foncé (10 YR 3/3-4) ; argilo-sableux et humifère ; grumeleux ou grenu moyen, à consistance assez forte, friable ; très légèrement humide ; porosité et perméabilité fortes ; enracinement moyen ; test de NaF : négatif.

###### 23-60 cm. Horizon B

— Brun (10 YR 3/4) ; argilo-sableux ; polyédrique grossier, à tendance prismatique et cohésion forte ; un peu humide ; présence d'un peu de lapilli scoriacés altérés ; racines grossières dispersées ; test de NaF : négatif.

###### 60-80-90 cm. Horizon (B) C

— Transition ; poches d'argiles brunes entourant des graviers et cailloux de basalte scoriacé très altéré ; limite irrégulière. plus de 90 cm : Horizon C

— Altérations brunes et grises de lave basaltique bulleuse, encore ferme, mais déjà friable.

##### 1.1.3. *Sol fersiallitique (Trevejo)*

Localisation : route Vilaflor-Arona, par la Escalona.

Altitude : 1 250 m.

Pente : moins de 5 % ; érosion nulle.

Végétation : terrasse cultivée.

###### 0-25 cm. Horizon Ap

— 7,5 YR 4/4. Beaucoup de graviers de ponces. Texture argilo-sableuse ; structure granulaire fine et moyenne ; beaucoup de racines de toutes tailles.

## 25-80 cm. Horizon B

- 5 YR 3/4. Quelques éléments grossiers ; présence de minéraux altérables ; texture argilo-sableuse ; structure prismatique à polyédrique grossière ; fissures fines ; forte cohésion ; quelques racines.

## 80-130 cm. Horizon B/C

- 7,5 YR 4/3. Beaucoup de graviers et de petites pierres ; texture limoneuse ; structure massive ; quelques fissures fines ; peu de racines et toujours très fines.

1.1.4. *Vertisol (Arona)*

Localisation : route Vilaflor - Arona.

Altitude : 800 m.

Pente : 10 %.

## 0-50 cm. Horizon Ap/B

- 7,5 YR 4/2-3 ; brun foncé ; structure polyédrique grossière avec début de structure verticale ; argileux. On observe des feldspaths altérés et des graviers.

## 50-80 cm. Horizon B

- 7,5 YR 4/2. Structure typiquement verticale ; slickensides. Les prismes sont de 5 à 10 cm ; ils ont des fentes de retrait de 1-3 cm ; cohésion très forte ; texture argileuse ; peu de racines.

## 80-100 cm. Horizon B/C

- Il correspond à l'altération brun-rougeâtre, avec des poches d'argile brun foncé et avec des nodules friables de calcaire de quelques centimètres, parmi les prismes.

1.1.5. *Sols marrons**Profil Yaco*

Localisation : situé près de la route de Granadilla à San Isidro.

Pente : modérée, de 10 %.

Altitude : 350 m.

Végétation : le profil est observé sur une terrasse cultivée.

Roche-Mère : matériau acide de type phonolitique.

## 0-20/25 cm. Horizon Ap

- Brun foncé (7,5 YR 5/2). Argilo-sableux, avec quelques graviers de basalte ; grenu moyen, à consistance moyenne, friable ; sec ; très poreux et perméable ; racines fines moyennement denses ; limite irrégulière.

## 20-60/70 cm. Horizon BCa

- Brun, faiblement rougeâtre (5 YR 4/4) et taches blanchâtres de nodules calcaires friables (diamètre 1 à 4 cm), situés de préférence entre les prismes ; structure cubique moyenne et polyédrique grossière à cohésion forte ; texture argileuse ; absence de caractères vertiques ; fentes

peu ouvertes et perméabilité limitée ; très peu de racines ; limite irrégulière.

70/100-120 cm. Roche-Mère, ponces phonolitiques

*Profil Tapao*

Localisation : très près de l'autoroute (km 58) et du Barranco El Tapao, en position de bas versant, près d'un petit cône volcanique récent.

Altitude : 160 m.

Végétation : Xérophytique, type Klenio-Euphorbion

Roche-Mère : ponces phonolitiques.

Sur le versant, les sols sont fortement érodés et pavés de cailloux en surface ; ils ont une couleur brun-rougeâtre et sont encroûtés de calcaire friable à la base du profil. En bas de pente, les mêmes sols sont colluvionnés, épais et complexes ; ils peuvent comporter deux ou plusieurs encroûtements calcaires.

— Sol de versant érodé.

## 0-25 cm. Horizon Ap

- Brun-rouge (5 YR 5-4/4) ; graveleux et argilo-sableux ; grenu et polyédrique arrondi, moyen et fin ; sec et friable ; porosité forte ; beaucoup de racines.

## 25-50 cm. Horizon B

- Ocre (5 YR 4/6) ; argilo-sableux et graveleux ; prismatique arrondi, fentes écartées d'un centimètre ; sec et cohésion forte, peu friable ; peu de racines.

## 50-60 cm. Horizon BCa

- Brun-rouge plus pâle (5 YR 5/4) ; argilo-sableux ; paraît moins argileux que B, faisant transition vers l'horizon C ; polyédrico-prismatique, à cohésion assez forte, mais friable ; paraît plus léger que B ; mycélium de calcaire sur les faces des polyèdres.

## 60-100 cm. Horizon C ; basalte altéré

Un échantillon de l'horizon B<sub>Ca</sub> du sol de bas de pente (IIB<sub>Ca</sub>) a également été prélevé.

*Profil Fasnía*

Localisation : le profil est situé sur la partie inférieure du cône volcanique de Fasnía.

Altitude : 250 m.

Roche-Mère : lapilli basaltiques, à phénocristaux d'augite de taille centimétrique.

Dans la même région, il y a deux possibilités : 1) un sol marron qui apparaît en surface, par suite de l'érosion ; il a un horizon humifère anthropique peu épais et une épaisseur inférieure à 50 cm au-dessus de la roche-mère ; 2) ou un sol marron enterré par des coulées de tufs et brèches ponces blancs.

L'horizon A<sub>p</sub> a été observé sur le sol marron érodé, superficiel.

— Morphologie du sol enterré :

— Brèche ponceuse blanche de quelques décimètres à plusieurs mètres d'épaisseur, recouvrant successivement un lit de cinérite blanche indurée en tuf.

0-60 cm (en-dessous du tuf). Horizon B du paléosol

— Brun rouge, à graviers de lapilli basaltiques rubéfiés, gros pyroxènes peu altérés, et terre fine limono-sableuse brun rougeâtre, à structure grenue moyenne, friable.

60-150 cm. Horizon C du paléosol

— Graviers de scories rubéfiées et gros pyroxènes peu altérés ; un peu de terre fine brune, cimentée assez fortement et peu friable.

150 cm. Pellicule blanche foliacée de silice et encroûtement calcaire friable en lentilles discontinues, revêtant une brèche de lave peu altérée.

#### 1.1.6. Sol sodique (Los Olivos)

Localisation : route de Adeje.

Pente : 15 %.

Altitude : 260 m.

Végétation : espèces xérophytiques du genre *Euphorbia* et *Launea spinosa*, dispersées.

Roche-Mère : matériau colluvial d'argiles et cailloux de basalte, stratifié, sur lave basaltique.

0-30 cm. Horizon A<sub>p</sub>

— 5 YR 6/5 sec ; argileux ; structure polyédrique fine ; consistance dure ; quelques racines. Peu de matière organique. On observe des fragments de basalte anguleux et dur de grande taille, d'origine colluviale, et du carbonate de calcium, à l'état discret, faisant effervescence avec HCl.

30-70 cm. Horizon BCa

— 5 YR 6/4. Sec ; argileux ; structure prismatique fine qui a tendance à être colonnaire ; consistance très dure ; sans racines ; limite irrégulière. Comme dans l'horizon précédent, on observe du carbonate à l'état diffus et discret. A la base de cet horizon commencent à apparaître des petits nodules de gypse.

70-85 cm. Horizon Ca

— Croûte calcaire friable ; structure massive.

85-125 cm. Horizon IIB

— 5 YR 3/4. Argileux ; structure prismatique - colonnaire ; nodules de gypse ; calcaire diffus, ou en nodules épars.

125-135 cm. Horizon II Ca

— Croûte calcaire analogue à la précédente ; friable, mais plus dense que la première.

135-215 cm. Horizon IIIB

— 7,5 YR 3/2 sec. Cet horizon a la même structure que IIB, mais plus développée et avec de rares et petits slickensides. Les nodules de gypse sont plus abondants et s'accumulent de préférence en-dessous des morceaux de basalte anguleux qui existent à la base du profil. Un peu de calcaire diffus ou en nodules épars. Limite irrégulière.

215-245 cm. Horizon IICa

— Croûte calcaire foliacée, dure, incluant des cailloux de basalte dur et des gros nodules de gypse. Limite irrégulière.

245-260 cm. Horizon Cca

— Altération de basalte encroûtée de calcaire friable et de gypse diffus (mycélia) ou en nodules. Limite irrégulière.

260 et plus

— Lave basaltique bulleuse, avec cristaux de gypse et calcédoine dans les vides.

#### 1.1.7. Variation de la morphologie dans la séquence

A mesure que nous descendons dans la séquence, les sols ont une texture plus argileuse, et leur structure est plus nette et plus développée. Celle-ci évolue d'une structure continue, comme celle des sols brun andiques, à une structure prismatique-colonnaire dans les sols sodiques, en passant par une structure verticale très développée dans les vertisols, avec des slickensides et des fentes de retrait et une structure prismatique dans le cas des sols marrons (tabl. II).

Dans les vertisols, les sols marrons et les sols sodiques, on observe des accumulations de calcaire, ainsi que des concrétions de gypse dans ces derniers.

Les couleurs varient du brun-jaunâtre au brun (7,5 YR 5-4/4, 10 YR 3/4) dans les sols d'altitude, à une couleur brun gris foncé (7,5 YR 4/2) dans l'horizon B des vertisols. Les sols fersiallitiques et marrons présentent une coloration rougeâtre (5 YR 3/4, 5 YR 4/4) dans les horizons B, très caractéristique de ces sols. Dans ces derniers, cette coloration s'accroît avec la diminution du contenu en carbonates. Dans les sols sodiques, la couleur est à nouveau plus claire (5 YR 6/4).

La réaction avec NaF prouve l'existence de produits allophaniques, mais uniquement dans le profil Pino 57. Ils s'y trouvent en faibles proportions puisque le milieu n'est pas suffisamment humide pour permettre la stabilisation des produits amorphes, qui se produisent dans l'altération des matériaux volcaniques.

Au-dessus de 1 500 m, les sols sont souvent érodés ou fortement remaniés par les cultures. Une mince couche de quelques millimètres, blanchâtre et siliceuse, apparaît fréquemment sur les matériaux qui forment l'horizon C.

TABLEAU II

*Evolution morphologique de l'horizon B dans la séquence*

Type de sol	Horizons	Caractéristiques de l'horizon B		Texture
		Couleur	Structure	
Brun andique .....	A11, A12, (B)C	7,5 YR 5-4/4	Continue	Sablo-argileux
Brun modal .....	A11, A12, B, B/C	10 YR 3/4	Polyédrique grossière à prismatique	Argilo-sableux
Fersiallitique .....	Ap, B, B/C	5 YR 3/4	Prismatique	Argilo-limoneux
Vertisol .....	Ap/B, B, (B/C)Ca	7,5 YR 4/2	Prismatique, slickensides	Argileux
S. marron (yaco) .....	Ap, Bca, C	5 YR 4/4	Cubique moyenne et polyédrique grossière	Argileux
— (tapao) .....	Ap, B, Bca	5 YR 4/6	Prismatique	Argileux
Sodique .....	Ap, Bca, Ca, IIB, IICa, IIIB, IIICa, Cca	5 YR 6/4	Prismatique à tendance columnaire superficielle	Argileux

Les sols de la zone basse de la séquence, sont fréquemment complexes et formés de plusieurs dépôts colluviaux avec des encroûtements calcaires et des nodules de gypse intercalés à l'intérieur de chaque sol (Los Olivos).

Dans certaines zones, les sols marrons sont couverts de cendres volcaniques, comme c'est le cas pour le profil Fasnía, et leur évolution est moins avancée ou fossilisée.

## 1.2. CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CIMIQUES

### 1.2.1. Méthodes analytiques

La matière organique a été déterminée par la méthode Walkey et Black ; l'azote minéralisé par attaque sulfurique selon la méthode Kjeldahl.

Le pH a été mesuré en suspension aqueuse (1 : 2,5) et en suspension KCl N (1 : 2,5).

La capacité totale d'échange a été déterminée avec de l'acétate de sodium à pH 8,2, tandis que les cations d'échange ont été extraits avec de l'acétate d'ammonium N à pH = 7. Les déterminations ont été faites sur un spectrophotomètre Perkin Elmer d'absorption atomique modèle 290 (Richards, 1954).

L'analyse totale a été effectuée après attaque HF, HNO<sub>3</sub>.

L'analyse mécanique a été réalisée par dispersion à l'hexamétaphosphate de sodium, et un prétraitement à l'eau oxygénée.

Le carbonate de calcium a été déterminé par le calcimètre de Bernard.

### 1.2.2. Matière organique

Les variations de la matière organique dans cette séquence apparaissent sur le tableau III.

Les valeurs les plus élevées de la matière organique s'observent dans les horizons superficiels des sols d'altitude (sol brun andique, et sol brun modal). Elles sont de 10,6 % et 18,02 %.

Cependant, dans les horizons profonds, où les caractéristiques de ces sols sont plus définies, on observe une grande différence entre elles. Le sol brun andique a des teneurs en matière organique plus élevées tout au long du profil, tandis que dans le sol brun modal, la diminution de la matière organique est plus rapide et on passe de 18,02 % dans l'horizon A<sub>11</sub> à 0,79 % dans l'horizon B.

Dans les autres sols de la séquence, les teneurs en matière organique sont très basses, comme dans tout sol de ce type ; mais ce sont de plus des sols modifiés par les cultures et par l'érosion superficielle. Les teneurs y sont toujours inférieures à 1 %.

Il existe une différence très nette dans le rapport C/N entre les profils d'altitude et les sols de la zone basse de la séquence. Dans les horizons superficiels des profils Pino 57 et Dornajido, le rapport C/N a des valeurs de 14,4 et 10, qui correspondent respectivement à un humus de type mull-moder et mull.

Dans les autres profils, cette relation est toujours inférieure à 10, en faisant exception de l'horizon A<sub>p</sub> de Fasnía, et dans certains horizons de sols marrons où elle atteint des valeurs très basses, comme pour l'horizon C du profil Yaco où cette valeur est 3, ou encore pour le profil de Fasnía.

TABLEAU III

## Matière organique

Profil	Type du sol	Horizon	C (%)	MO (%)	N (%)	C/N
Pino 57 .....	Brun Andique	A <sub>11</sub>	6,20	10,66	0,43	14,42
		A <sub>12</sub>	3,68	6,33	0,29	12,69
		(B)C	1,16	1,99	0,14	8,28
Dornajido .....	Brun modal	A <sub>11</sub>	10,48	18,02	1,04	10,07
		A <sub>12</sub>	1,12	1,93	0,11	10,18
		B	0,46	0,79	0,05	9,79
		B/C	0,28	0,48	0,04	7,00
Trevejo .....	Fersiallitique	B	0,24	0,41	0,04	6,00
		B/C	0,21	0,36	0,02	10,50
Arona .....	Vertisol	B	0,26	0,45	0,02	13,00
		C	0,31	0,53		
Yaco .....	Marron	A <sub>p</sub>	0,38	0,65	0,08	4,75
		B <sub>Ca</sub>	0,11	0,19	0,03	3,67
		C	0,06	0,10	0,02	3,00
Tapao .....	Marron	A <sub>p</sub>	0,34	0,58	0,07	4,86
		B	0,25	0,43	0,04	6,25
		B <sub>Ca</sub>	0,26	0,45	0,05	5,20
		II <sub>B<sub>Ca</sub></sub>	0,07	0,12	0,02	3,50
Fasnia .....	Marron (enterré)	A <sub>p</sub>	1,16	1,99	0,10	11,60
		B	0,03	0,05	0,03	1,00
		C	0,02	0,04	0,02	1,15
Los Olivos .....	Sodique	A <sub>pCa</sub>	0,38	0,66	0,05	7,2
		B <sub>Ca</sub>	0,22	0,38	0,03	6,7
		II <sub>B</sub>	0,06	0,11	0,03	2,2
		III <sub>B</sub>	0,04	0,08	0,03	1,6

## 1.2.3. pH. Complexe d'échange. Bases échangeables

En passant des sols bruns andiques aux sols marrons et aux sols sodiques, on observe une nette tendance à l'augmentation du pH, et un parallélisme très marqué avec la saturation en bases et l'accumulation des sels.

Cette augmentation de la saturation du complexe d'échange dans la zone basse de la séquence est due surtout à la concentration des sels, résultant essentiellement d'une insuffisance des pluies dans ces zones arides de basse altitude et d'une forte évaporation.

Les valeurs les plus basses de pH correspondent aux horizons les plus riches en matières organique acide (horizon A<sub>11</sub> des profils Pino 57 et Dornajido). Les valeurs les plus élevées apparaissent dans les horizons B<sub>Ca</sub> des sols marrons qui présentent des caractères de sols sodiques.

D'une manière générale, le pH est plus bas dans la partie supérieure des profils, excepté dans le profil de Los Olivos.

La différence entre le pH dans H<sub>2</sub>O et le pH dans KCl est supérieure à l'unité, excepté dans le profil de vertisol et quelques horizons du sol sodique. Cette différence a tendance à augmenter vers les sols marrons où elle atteint une valeur supérieure à 2 unités. Cette acidité d'échange prouve l'existence d'argile à forte capacité d'échange (halloysite, montmorillonite).

Sur le tableau IV figurent les valeurs correspondant au pH, à la capacité d'échange, aux bases échangeables et aux taux de saturation en bases.

La somme des bases échangeables est en corrélation inverse avec l'importance de la pluviométrie et l'altération. Les valeurs les plus basses apparaissent dans

TABLEAU IV

*pH, capacité d'échange, bases échangeables et taux de saturation*

Profil	Type de sol	Horizon	pH		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	S	T	S/T (%)	Na <sup>+</sup> /T (%)
			H <sub>2</sub> O	KCl								
Pino 57	Brun Andique	A <sub>11</sub>	5,6	4,5	3,96	0,96	0,34	1,53	6,79	27,09	25,06	
		A <sub>12</sub>	6,3	4,6	2,62	0,70	0,30	1,38	5,00	25,04	19,97	
		(B)C	6,8	4,8	4,28	1,53	0,40	2,14	8,35	23,81	35,07	
Dornajido	Brun modal	A <sub>11</sub>	5,3	4,3	9,03	2,28	0,43	1,48	13,22	39,96	33,08	
		A <sub>12</sub>	5,7	4,3	3,37	1,70	0,31	2,32	7,70	24,62	31,27	
		B	6,9	5,2	8,06	2,96	0,47	3,45	14,94	26,65	56,06	
		B/C	6,7	5,1	8,42	3,16	0,45	3,34	15,37	27,29	56,32	
Trevejo	Fersiallitique	B	6,6	5,4	9,45	4,56	0,75	1,59	16,25	22,90	70,9	
		B/C	6,7	5,1	9,36	4,14	1,00	1,44	15,94	10,20	83,0	
Arona	Vertisol	B	8,2	7,6	35,99	24,09	7,31	0,92	68,31	51,60	—	14,16
		C	8,6	7,8	56,27	17,71	3,90	0,53	78,41	40,8	—	9,55
Yaco	Marron	A <sub>p</sub>	8,4	7,3	33,40	16,28	4,65	4,11	58,44	37,17	—	12,50
		B <sub>Ca</sub>	9,3	7,7	41,75	16,11	12,78	2,77	73,41	33,30	—	38,37
		C	9,1	7,6	16,77	10,74	27,23	4,78	59,52	41,72	—	65,29
Tapao	Marron	A <sub>p</sub>	8,7	6,5	21,14	12,01	3,16	2,61	38,92	38,78	—	8,14
		B	8,8	6,9	23,31	17,03	10,52	1,94	52,80	50,53	—	20,82
		B <sub>Ca</sub>	8,8	7,2	25,04	16,73	14,62	1,86	58,25	52,50	—	27,84
		II <sub>B<sub>Ca</sub></sub>	9,8	7,7	43,42	16,11	19,62	9,12	88,27	47,57	—	41,24
Fasnía	Marron	A <sub>p</sub>	8,3	6,2	11,55	15,22	1,69	3,16	31,62	31,45	—	5,3
		B	9,2	7,4	7,41	13,66	10,35	4,83	36,25	31,05	—	33,33
		C	8,8	6,6	5,85	13,74	18,50	7,84	45,93	35,85	—	51,60
Los Olivos	Sodique	A <sub>pCa</sub>	9,0	7,8	—	13,20	11,90	4,00	—	36,80	—	32,20
		B <sub>Ca</sub>	8,6	7,9	—	13,00	19,60	4,70	—	39,70	—	49,30
		II <sub>B</sub>	8,4	7,7	9,93	14,70	26,70	6,30	—	48,30	—	55,70
		III <sub>B</sub>	8,7	7,9	27,70	15,70	23,00	5,80	—	50,30	—	49,50

le sol brun andique ; puis elles augmentent progressivement dans les sols bruns modaux jusqu'aux sols fersiallitiques ; dans les autres sols, la saturation est totale.

La somme des bases augmente en général quand on passe des horizons superficiels aux horizons B et B/C. Nous devons faire exception des valeurs correspondant aux horizons A<sub>11</sub> des profils Pino 57 et Dornajido, légèrement supérieures, du fait de la présence de matière organique fraîche en abondance.

Les sols bruns andiques et les sols bruns modaux se caractérisent par des quantités importantes de Ca<sup>++</sup> et, au contraire, par des quantités relativement faibles de Na<sup>+</sup>. Dans les sols fersiallitiques et les vertisols, et surtout dans ces derniers, on observe une augmentation considérable du contenu de Ca<sup>++</sup> et

Mg<sup>++</sup> ; il y a une accumulation relative de Mg<sup>++</sup>. A partir du vertisol, Na<sup>+</sup> devient plus important que K<sup>+</sup>. Dans les sols marrons et les sols sodiques, le contenu en Ca<sup>++</sup> et Mg<sup>++</sup> est aussi important ; cependant dans certaines parties du profil, Na<sup>+</sup> devient l'élément principal.

Il convient de signaler que dans les sols marrons le sodium échangeable représente plus de 15 % de la capacité d'échange ; ceci indique un caractère alcalin, principalement dans les horizons profonds, qui ne se reflète toutefois pas sur les caractéristiques morphologiques. Dans les sols sodiques, cette valeur dépasse également 15 % tout au long du profil ; ce qui est caractéristique de ces sols.

Dans certains cas (horizons C du profil Arona et B<sub>Ca</sub> du profil Yaco), le contenu en Ca<sup>++</sup> dépasse la

valeur de la capacité d'échange ; ce qui indique l'existence d'un calcaire très soluble.

Dans le profil Fasnía, le contenu en  $\text{Ca}^{++}$  diminue considérablement en comparaison des sols du même type ;  $\text{Mg}^{++}$  baisse aussi légèrement, mais la proportion de  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  reste similaire. Dans ce profil, la somme des bases est inférieure en valeur relative à celle du reste des sols marrons ; ce fait indique une altération moins avancée. Il faut cependant souligner les valeurs élevées de  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  dans ce profil.

En ce qui concerne la capacité d'échange, les sols bruns et les sols fersiallitiques présentent un ordre de grandeur semblable d'environ 25 me/100 g ; ceci est une conséquence d'une composition minéralogique où prédominent les argiles halloysitiques et illitiques, respectivement, dans la fraction fine.

L'horizon  $\text{A}_{11}$  du profil Dornajido présente une valeur plus élevée, due à une teneur plus élevée en matière organique, et à l'existence d'une petite quantité de minéraux argileux de type 2/1.

Dans les vertisols, sols marrons et sols sodiques, ces valeurs augmentent considérablement, puisque ce sont les argiles de type montmorillonitique qui dominent.

#### 1.2.4. $\text{CaCO}_3$ , Conductivité, sels solubles

Les teneurs en  $\text{CaCO}_3$ , la conductivité et les taux de sels solubles se trouvent sur le tableau V.

L'accumulation de carbonate a lieu uniquement dans des sols situés dans la zone basse de la séquence, ceci étant dû à une pluviométrie insuffisante et à une évaporation intense.

La différenciation calcaire se présente en nodules friables dans le cas du profil Yaco, et en mycélium dans celui du profil de Tapao. A la base de ce profil, on trouve un encroûtement calcaire friable. Comme indiqué précédemment, dans la zone basse des versants on a observé des sols polyphasiques, où, après chaque apport de matériel colluvial, a été différencié un nouveau sol qui présente un encroûtement calcaire friable ou partiellement durci à sa base. Tel est le cas du profil de Los Olivos. Dans ce profil, on observe une forte carbonatation dans les horizons superficiels, avec des valeurs de 18 et 17 % de  $\text{CaCO}_3$  ; cette quantité diminue considérablement dans les sols fossiles. A partir de l'horizon  $\text{B}_{\text{Ca}}$  apparaissent des nodules gypseux qui deviennent plus abondants dans l'horizon IIIB.

TABLEAU V

Calcaire, conductivité, sels solubles

Profil	Type de sol	Horizon	$\text{CaCO}_3$ (%)	Conductivité (mho)	Ions solubles (még/100 g)					
					$\text{Ca}^{++}$	$\text{Mg}^{++}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$
Arona .....	Vertisol	B	1,4	3,0	0,31	0,34	2,16	0,01	0,23	0,83
		$\text{B}_{\text{Ca}}$	13,5							
Yaco .....	Marron	$\text{A}_p$	1,54	3,05	0,31	0,36	1,09	0,06	0,43	0,55
		$\text{B}_{\text{Ca}}$	5,77	2,50	0,07	1,41	1,99	0,01	0,71	0,37
		C	0,77	9,70	0,39	0,58	5,17	0,07	0,63	1,91
Tapao .....	Marron	$\text{A}_p$	0,38	1,00	0,09	0,06	0,20	0,008	0,16	0,22
		B	0,38	1,60	0,17	0,12	0,73	0,007	0,24	0,79
		$\text{B}_{\text{Ca}}$	1,15	4,9	0,33	0,19	2,90	0,018	—	2,59
		$\text{II}_{\text{Bca}}$	5,00	1,5	0,04	0,02	1,09	0,059	—	0,73
Fasnía .....	Marron	$\text{A}_p$	0,38	2,0	0,14	0,12	0,19	0,02	0,07	0,29
		B	0,38	3,1	0,04	1,07	1,13	0,02	0,26	0,72
		C	0,38	8,3	0,19	0,41	2,53	0,06	0,31	2,17
Los Olivos .....	Sodique	$\text{A}_p\text{Ca}$	18,10	4,8	0,18	0,12	2,90	0,07	0,52	2,38
		$\text{B}_{\text{Ca}}$	17,80	19,00	2,13	1,87	24,70	0,40	1,21	18,17
		$\text{I}_{\text{Ca}}$	47,0	—	—	—	—	—	—	—
		$\text{II}_B$	0,57	12,5	0,67	1,24	17,70	0,30	1,40	14,50
		$\text{II}_{\text{Ba}}$	53,00	—	—	—	—	—	—	—
		$\text{III}_B$	1,84	11,5	0,56	0,80	13,60	0,23	2,30	9,40
$\text{III}_{\text{Ca}}$	53,9	—	—	—	—	—	—	—		

Dans les sols marrons apparaissent des valeurs élevées de la conductivité dans les horizons profonds, spécialement dans les horizons C, qui atteignent 9,7 mho. Ce chiffre indique que ces sols sont affectés par des phénomènes de salinité en profondeur, mais qui influent très peu sur la morphologie du profil.

Ruellan (1971) a observé des phénomènes de salinisation et d'alcalisation des sols marrons, qui, comme dans notre cas, n'affectent pas la morphologie du profil ; c'est pourquoi on ne les considère pas comme des sols sodiques.

Dans le profil Los Olivos, les valeurs de la conductivité augmentent considérablement et atteignent 19,0 mho dans l'horizon B<sub>ca</sub>. De même, le contenu en ions solubles est beaucoup plus élevé, spécialement celui en Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup>. C'est pourquoi ce profil est classé comme sol sodique.

### 1.2.5. Analyse totale

Les résultats de l'analyse totale, de même que les principaux rapports sont indiqués sur la tableau VI.

Les valeurs élevées de SiO<sub>2</sub>, qui atteignent 45-50 %, et celles relativement basses de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, qui sont de 8 à 10 %, indiquent que ces sols se sont probablement formés sur des matériaux phonolitiques très abondants dans cette zone. Ils se caractérisent également par des valeurs élevées de Na<sub>2</sub>O et de K<sub>2</sub>O.

Seuls les horizons (B) et (B) C du profil Dornajido se sont développés sur un matériau basaltique, comme le montrent les valeurs plus basses de SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O et K<sub>2</sub>O, et celles plus élevées de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et de TiO<sub>2</sub>. L'horizon A<sub>11</sub> de ce profil présente aussi apparemment une plus faible proportion de SiO<sub>2</sub> due à la perte au feu de 31,2 %, qui correspond à la quantité élevée de matière organique présente.

On observe une augmentation du rapport molaire SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, comme il fallait s'y attendre, en passant des régions les plus hautes aux plus basses de la séquence ; ceci est une conséquence d'une altération minérale plus forte dans les sols de la partie haute, en relation avec l'élévation de la pluviométrie.

Cependant, dans les profils de la zone haute de la séquence, les valeurs de ce rapport sont plus élevées que la normale pour des sols halloysitiques. Ceci est dû à la présence de minéraux primaires.

L'analyse totale de la fraction argile dans l'un des profils (tabl. VII) montre que les valeurs du rapport molaire SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diminuent par rapport aux valeurs trouvées dans le sol total. Cependant, dans les sols halloysitiques (Dornajido), elles restent encore légèrement supérieures à 2, et se situent entre 2,5 et

2,8. Ceci est dû au fait que des minéraux primaires, principalement du quartz et des feldspaths sont dans la fraction fine, ainsi que de la montmorillonite qui apparaît dans l'horizon A<sub>11</sub>.

Quand on passe du sol total à la fraction argile, dans les profils Dornajido et Yaco, le contenu de SiO<sub>2</sub> et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> augmente. Ce phénomène est moins net dans les horizons supérieurs de Dornajido. Le taux de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> présente un comportement différent dans le profil Yaco, où il se maintient plus ou moins constant. Dans le cas de Dornajido, il diminue considérablement spécialement dans la zone profonde du profil.

Quand on passe à la fraction fine, les teneurs en Na<sub>2</sub>O et en K<sub>2</sub>O diminuent également.

Dans la fraction argile, le sol brun contient approximativement deux fois plus de fer par rapport à la silice que le sol marron. Ceci nous amène à dire que les produits secondaires sont plus riches en fer dans les sols bruns que dans les sols marrons.

Dans la partie supérieure des profils, on observe une quantité appréciable de phosphore dans le sol, qui atteint 0,1-0,2 %.

### 1.2.6. Granulométrie

L'analyse granulométrique indique qu'à mesure que nous descendons dans la séquence, les pourcentages de la fraction inférieure à 2 μ augmentent avec une valeur maximum dans le vertisol, et les sols s'appauvrissent dans la fraction sable (tabl. VIII).

Dans le profil Fasnía, on observe des teneurs en argile inférieures à celles trouvées dans les autres sols du même type, ainsi qu'une fraction sable en plus grande proportion, ce qui révèle une évolution de ce profil beaucoup moins avancée.

Dans certains cas, on a observé des valeurs plus élevées de la fraction sable en surface, ce qui s'explique par un phénomène d'érosion superficielle et éventuellement un rajeunissement dû à de nouveaux apports.

## 2. Interprétation

L'analyse des données morphologiques et physico-chimiques des sols de cette séquence méridionale de Ténérife fait ressortir une différenciation très marquée du haut vers le bas de l'ensemble du versant.

### 2.1. EVOLUTION DE LA MORPHOLOGIE

On observe tout d'abord une évolution de la structure du sol dans l'horizon B notamment : les sols

TABLEAU VI

Analyse chimique totale du sol total

Profil	Type de sol	Horiz.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Perte au feu % 105/ 1 000 °C	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub> -	SiO <sub>2</sub> -
			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		%	%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
														mol.	mol.	mol.	mol.	mol.
Pino 57	Brun andique	A <sub>11</sub>	46,59	16,69	7,59	3,36	1,39	1,56	0,27	3,60	2,91	0,22	17,0	4,74	16,36	18,47	3,67	3,06
		A <sub>12</sub>	47,88	18,31	8,23	3,88	1,49	1,98	0,28	3,81	2,96	0,22	12,1	4,44	15,48	16,40	3,45	2,85
		(B)C	50,09	19,57	9,78	5,29	1,60	1,95	0,27	3,41	2,67	0,19	7,4	4,34	13,62	12,59	3,29	2,61
Dornajido	Brun modal	A <sub>11</sub>	34,09	15,60	9,25	4,44	1,28	1,49	0,22	1,93	1,68	0,23	31,2	3,71	9,80	10,23	2,69	2,13
		A <sub>12</sub>	42,71	20,40	14,53	9,00	1,39	1,30	0,28	2,27	2,02	0,11	8,6	3,55	7,81	6,31	2,44	1,76
		B	34,12	20,66	21,03	13,28	1,73	1,39	0,22	0,52	0,73	0,08	8,3	2,80	4,32	3,42	1,69	1,13
		B/C	31,58	21,45	21,84	13,36	1,55	1,09	0,23	0,36	0,67	0,09	7,9	2,49	3,85	3,11	1,51	1,02
Trevejo	Fersiallitique	B	51,00	20,10	14,25	5,40	1,52	2,10	0,26	2,76	2,84	—	5,5	4,30	9,52	12,65	2,96	2,40
		B/C	57,60	22,39	8,73	3,90	1,61	2,10	0,23	—	4,20	—	6,6	4,37	17,74	19,95	3,51	2,98
Arona	Vertisol	B	55,29	20,20	11,10	4,80	2,46	2,55	0,15	2,00	1,50	—	9,6	4,64	13,33	15,33	3,44	2,81
		C	48,30	14,02	8,94	4,45	2,44	2,81	0,10	2,57	1,22	—	13,6	5,86	14,33	14,33	4,16	3,22
Yaco	Marron	A <sub>p</sub>	50,67	16,10	9,41	4,21	2,80	1,82	0,17	2,30	2,60	0,14	8,81	5,34	14,32	16,04	3,89	3,13
		B <sub>Ca</sub>	50,50	17,47	8,90	4,01	2,68	1,86	0,17	2,84	2,36	0,11	9,10	4,91	15,00	16,80	3,70	3,03
		C	49,48	17,88	7,60	3,14	2,52	2,48	0,16	3,61	2,18	0,15	7,60	4,69	17,30	21,01	3,69	3,14
Tapao	Marron	A <sub>p</sub>	51,50	16,20	8,87	4,54	2,85	2,86	0,19	2,33	2,47	0,20	7,70	5,39	15,45	15,09	3,99	3,16
		B	51,09	16,88	8,46	3,96	3,37	2,33	0,16	1,78	2,30	0,22	7,72	5,14	16,08	17,16	3,89	3,17
		B <sub>Ca</sub>	54,40	15,67	8,36	3,71	3,33	2,53	0,13	2,18	2,45	0,29	7,75	5,89	17,32	19,52	4,39	3,59
		II <sub>B</sub> Ca	50,34	14,84	7,34	3,69	1,79	3,78	0,12	1,60	3,09	0,33	9,39	5,76	18,26	18,15	4,38	3,53
Fasnía	Marron	A <sub>p</sub>	44,98	16,51	9,16	4,93	3,15	3,48	0,20	1,80	2,20	0,09	9,00	4,62	13,07	12,14	3,42	2,66
		B	47,99	16,98	9,97	5,75	3,08	3,23	0,24	2,76	2,32	0,14	5,58	4,79	12,80	11,11	3,49	2,66
		C	48,33	16,54	8,53	4,78	3,28	3,56	0,22	2,87	2,38	0,18	5,78	4,96	15,07	13,46	3,73	2,92

TABLEAU VII

*Analyse chimique totale de la fraction < 2 μ*

Profil	Type de sol	Horizon	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Mn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Perte au feu 105° - 1000°C	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
			mol.	mol.	mol.	mol.	mol.	mol.	mol.	mol.	mol.	mol.	mol.	mol.	mol.	mol.	mol.
	Sol brun mod.	A11	34,38	20,68	9,26	4,61	2,21	1,54	0,18	0,73	1,08	27,4	2,83	9,86	10,0	2,21	1,81
		A12	42,82	27,02	11,06	5,80	1,63	1,78	0,22	0,90	1,11	16,3	2,68	10,31	9,88	2,13	1,75
		B	39,22	26,39	12,27	8,28	1,38	1,19	0,08	0,44	0,49	15,1	2,59	8,55	6,31	1,95	1,48
		B/C	41,60	27,00	12,12	8,40	1,40	1,51	0,07	0,72	0,65	14,7	2,61	9,20	6,57	2,03	1,55
	Sol marron	Ap	54,60	19,95	9,03	3,44	3,22	2,42	0,12	1,26	2,85	10,0	4,65	16,21	21,11	3,61	3,08
		B Ca	51,48	21,41	9,77	3,68	3,96	2,09	0,14	0,64	2,22	11,5	4,09	14,03	18,61	3,17	2,71
		C	52,43	19,99	6,72	2,59	3,45	2,07	0,15	1,08	1,66	12,3	4,44	20,76	27,25	3,66	3,22

TABLEAU VIII  
Granulométrie %

Profil	Type de sol	Horizon	Argile < 2 $\mu$	Limon 2-20 $\mu$	Sable fin 20-200 $\mu$	Sable grossier 200-2 000 $\mu$
Pino 57 .....	Brun andique	A <sub>11</sub>	24,9	19,9	33,9	21,6
		A <sub>12</sub>	23,7	18,7	32,6	21,6
		(B)C	27,6	23,8	24,4	22,2
Dornajido .....	Brun modal	A <sub>11</sub>	19,5	39,4	26,5	11,5
		A <sub>12</sub>	35,8	24,1	22,8	16,6
		B	43,4	29,7	16,4	8,1
		B/C	39,6	30,4	14,4	12,1
Trevejo .....	Fersiallitique	B	54,6	27,7	5,7	8,7
		B/C	44,4	28,9	10,4	16,8
Arona .....	Vertisol	B	69,3	14,3	6,8	9,6
Yaco .....	Marron	A <sub>p</sub>	63,0	20,9	8,9	7,6
		B <sub>Ca</sub>	62,5	21,3	7,1	9,4
		C	38,9	16,7	19,8	32,8
Tapao .....	Marron	A <sub>p</sub>	49,2	30,8	13,6	6,5
		B	64,6	21,2	7,2	4,8
		B <sub>Ca</sub>	53,7	31,7	8,4	4,7
		II <sub>B</sub> Ca	65,8	26,2	5,3	2,9
Fasnia .....	Marron	A <sub>p</sub>	40,4	26,8	13,2	18,3
		B	33,0	35,5	16,0	18,8
		C	30,0	35,5	11,3	26,0
Los Olivos .....	Sodique	A <sub>p</sub> Ca	59,0	28,0	6,5	6,5
		B <sub>Ca</sub>	66,0	25,0	5,0	4,0
		II <sub>B</sub>	60,0	32,5	3,5	4,0
		III <sub>B</sub>	67,0	27,5	3,0	2,5

bruns andiques présentent une structure massive et microporeuse, peu différenciée ; dans les sols bruns modaux apparaît une structure polyédrique fine, bien exprimée ; ensuite, dans les sols fersiallitiques se développe une structure large, polyédrique ou prismatique, fortement différenciée ; les vertisols montrent la structure la plus large et la mieux caractérisée (prismatique, avec faces gauchies et striées très développées) ; dans les sols marrons, la structure est encore prismatique et bien nette, malgré un taux parfois élevé de sodium échangeable ; enfin, dans les sols sodiques, la structure prismatique commence à se dégrader, prenant une forme colonnaire dans la partie supérieure de l'horizon B.

On remarque ensuite la disparition de l'horizon humifère, qui, bien différencié dans les sols bruns, sous forêt de pin, devient peu développé ou même totalement érodé dans le bas de la séquence, sous l'effet de la culture en terrasse ou d'un climat subaride.

Enfin, la couleur, de foncée dans les sols bruns, avive son chroma dans les sols fersiallitiques, les sols marrons et les sols sodiques.

## 2.2. EVOLUTION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

La teneur en matière organique de l'horizon humifère superficiel est très élevée dans les sols bruns, en haut de la séquence (de 10 à 20 % en A<sub>11</sub>). Ensuite, elle décroît très fortement dans le bas de la séquence, notamment dans les sols marrons et les sols sodiques, où elle est souvent inférieure à 1 % (0,8 à 1 % en A<sub>p</sub>). La répartition de la matière organique dans le profil varie également. La diminution de la teneur est lentement progressive dans le sol brun andique ; elle est rapide dans le sol brun modal ; elle est faible dans les sols marrons et le sol sodique (isohumisme). La valeur du rapport Carbone/Azote montre aussi une évolution corrélative de celle du climat dans la séquen-

ce. Elle est plus élevée, de 12 à 14 en A11, dans le sol brun andique, soumis à un climat plus frais et très humide, en haut de séquence. Elle est de 10 environ dans le sol brun modal et le sol fersiallitique. Elle devient inférieure à 10 dans les sols marrons et sodiques du bas de la séquence, en climat subaride.

### 2.3. EVOLUTION DE LA TEXTURE

On remarque un accroissement progressif du taux d'éléments fins dans les sols, du haut vers le bas de la séquence. Ceci correspond à une argilification de plus en plus poussée, corrélative vraisemblablement de l'âge des sols et de la nature des matériaux, plutôt que des conditions climatiques actuelles. En effet, les sols bruns andiques, sont plus limoneux et sableux, du fait de l'érosion, du matériau phonolitique et d'un apport volcanique superficiel probable. Le sol brun modal montre un accroissement de la teneur en argile dans l'horizon (B) du fait d'un apport superficiel de matériaux phonolitiques. Les autres sols, fersiallitiques, vertiques, marrons et sodiques, sont généralement très argileux, sauf cas particuliers de sols fortement rajeunis par érosion, ou par des colluvions, ou par un recouvrement de ponces phonolitiques.

### 2.4. EVOLUTION DES PROPRIÉTÉS CHIMIQUES ET DES ACCUMULATIONS SALINES

Cette séquence montre aussi une évolution des caractéristiques chimiques. Allant du climat le plus humide, dans le cas des sols bruns andiques, vers le climat plus aride, dans le cas des sols sodiques, on observe corrélativement un accroissement du pH, qui d'acide (5 à 6) devient neutre, puis alcalin (8 à 9), et du taux de saturation en bases échangeables (de 20 à 100 %). On note en même temps une élévation de la capacité d'échange cationique (de 25 à 50 mé/100 g), mais à un moindre degré de progression, en raison de l'accroissement de la teneur en argiles et notamment en montmorillonite. Les sols bruns sont acides et désaturés en bases. Les sols fersiallitiques sont peu acides et faiblement désaturés. Les vertisols, sols marrons et sols sodiques sont alcalins et totalement saturés en bases. C'est dans ces sols, en bas de séquence, qu'apparaissent les accumulations salines : d'abord

calcaires dans les vertisols et les sols marrons, puis calcaires et gypseuses dans les sols sodiques. Le calcaire est d'abord différencié à la base de l'horizon B dans les vertisols et les sols marrons, puis il tend à envahir tout le haut du profil dans les sols sodiques, en même temps que le concrétionnement du gypse s'intensifie dans l'horizon B. Simultanément, la saturation en ion  $\text{Na}^+$  de la capacité d'échange s'élève très sensiblement : de moins de 15 % dans les vertisols, elle atteint 20 à 40 % dans les sols marrons et elle dépasse 40 % dans les sols sodiques. On observe un accroissement corrélatif de la conductivité, inférieure à 7 mmhos dans les vertisols et les sols marrons, de 10 à 20 mmhos dans les sols sodiques. Les sels solubles (chlorures surtout, et sulfates) ne sont présents qu'en traces dans les sols marrons et les vertisols ; ils n'atteignent des teneurs importantes (1 à 2 %) que dans les sols sodiques, mais sans former d'efflorescences nettement visibles.

### 2.5. EVOLUTION GÉOCHIMIQUE

La valeur du rapport molaire Silice/Alumine de la fraction inférieure à  $2 \mu$  du sol manifeste aussi dans la même séquence une évolution bien caractérisée. Cette valeur est proche de 2,5 dans l'horizon B du sol brun, en haut de séquence ; elle atteint 4 à 4,5 dans le sol marron, en bas de séquence. Ceci signifie que l'altération entraîne une désilicification assez poussée du matériau originel dans les conditions les plus humides qui sont celles des sols bruns ; au contraire, ce phénomène décroît pour n'être plus que très faible dans les sols marrons en climat subaride. Corrélativement, les teneurs en oxydes de fer, d'alumine et de titane, sont relativement deux fois plus grandes dans les sols bruns que dans les sols marrons.

Cette étude sera complétée, dans une deuxième partie, par l'analyse minéralogique des fractions sableuses et argileuses du sol. De cet ensemble de données, nous déduisons une interprétation générale de la genèse des sols dans le contexte de cette séquence et nous dégagerons les critères servant à établir leur classification.

*Manuscrit reçu au Service des Publications de l'ORSTOM le 23 décembre 1977*

## BIBLIOGRAPHIE

- ABDEL MONEM (A.), WATKINS (S.D.), GAST (P.W.), 1972. — Potassium-Argon ages, volcanic stratigraphy and geomagnetic polarity history of Canary Islands: Tenerife, La Palma and Hierro. *Amer. Journal of Soil Sci.* vol. 272 : 805-825.
- BOULAIN (J.), 1957. — Etude des sols des plaines du Chélif. Ministère de l'Algérie. Serv. des études Scientifiques. Travaux des sections d'Agronomie et de Pédologie. Etude Régionale n° 7.
- CABEZAS VIANO (O.), 1975. — Estudio mineralógico (fracción < 2  $\mu$ ) de los Andosoles de las Islas Canarias. Thèse doctorale Université La Laguna (Tenerife).
- CEBALLOS (L.), ORTUNO (F.), 1951. — Vegetación y flora forestal de las Canarias Occidentales. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. 465 pp. Madrid.
- FERNANDEZ CALDAS (E.), GUERRA DELGADO (A.), 1971. — Condiciones de formación y evolución de los suelos de Tenerife. *Anales de Edaf. y Agrob.* Tomo XXX, n° 5-6.
- FERNANDEZ CALDAS (E.), RODRIGUEZ HERNANDEZ (C.M.), 1977. — Vertisoles formados sobre materiales volcánicos (Islas Canarias). Typic Chromusterts. Características morfológicas, fisico-químicas y mineralógicas. (Sous presse).
- FERNANDEZ CALDAS (E.), RODRIGUEZ HERNANDEZ (C.M.) 1977. — Suelos formados sobre materiales volcánicos (Islas Canarias). Aridisoles : Natric Calciorthids. I. Características generales de estos suelos. (Sous presse).
- FUSTER (J.M.), 1968. — Geología y vulcanología de las Islas Canarias. Tenerife. Instituto « Lucas Mallada ». Madrid.
- KUNKEL (G.), 1976. — Biogeography and ecology in the Canary Islands. Dr. W. Junk b.v. Publishers the Hague. 511 pp.
- PÉREZ GARCÍA (V.), FERNANDEZ CALDAS (E.), GARCÍA (V.), 1975. — Distribution y características de los suelos salinos de la isla de Tenerife. *Anales de Edaf. y Agro.* Tomo XXXIV, n° 7-8.
- QUANTIN (P.), 1975. — Observations sur les sols de Tenerife, Lanzarote, et La Palma. SSC de l'ORSTOM, Bondy. Inédit.
- QUANTIN (P.), RODRIGUEZ HERNANDEZ (C.M.), FERNANDEZ CALDAS (E.), RODRIGUEZ PASCUAL (C.), 1976. — Signification pedogénétique de l'attapulгите d'un sol à différenciation saline de Tenerife (Iles Canaries), provenant d'altérations de basalte. 4<sup>e</sup> Réunion Annuelle des Sciences de la Terre. Paris 13-16 avril 1976.
- RICHARDS (L.A.), 1954. — Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agricultural Handbook*, n° 60, p. 100, USDA.