

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

1^{re} partie : Ecologie, morphologie, caractéristiques physico-chimiques

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

* *Centro de Edafología y Biología Aplicada,
Sta Cruz de Tenerife, Espagne*

** *Services Scientifiques Centraux de l'ORSTOM,
70, route d'Aulnay, 93140 Bondy*

RÉSUMÉ

L'étude d'une toposéquence sur le versant nord du Ténérife, a mis en évidence la relation entre la distribution des sols et les différentes zones climatiques. Il est traité ici tout particulièrement des sols les plus récents formés sur des matériaux basaltiques, dont la pédogenèse peut être le plus sûrement reliée aux conditions climatiques actuelles. La séquence est restreinte à trois segments : andosols en zone perhumide, sols bruns andiques en zone de transition, sols bruns eutrophes en zone subtropicale à deux saisons.

La première partie expose les caractéristiques morphologiques, physiques et chimiques des sols. Elle en montre particulièrement les variations en fonction de l'évolution du régime climatique : réduction de l'horizon humifère, passage d'une texture limoneuse à argileuse, développement d'une structure fragmentaire, décroissance de la réponse au test de Fieldes et Perrott (NaF).

La deuxième partie traite des caractéristiques minéralogiques et micromorphologiques. Elle met en évidence le passage de sols constitués de complexes organominéraux amorphes ou cryptocristallins (allophane et imogolite) et allitisés (à gibbsite fine), à des sols riches en minéraux argileux

(halloysite, interstratifié M-C). Puis résumant la typologie des sols, elle en déduit leur place dans la classification française et la Soil Taxonomy. Enfin, une conclusion générale montre l'effet de la variation climatique entre deux pôles, perhumide d'une part, à deux saisons d'autre part, sur l'évolution de la pédogenèse.

ABSTRACT

The study of a toposequence on the northern slope of Tenerife, has shown a relation between the distribution of soils and the various climatic belts. This paper deals with the most recent soils derived from basaltic materials, the pedogenesis of which can be related more surely with present climatic conditions. This sequence is restricted to three segments: Andosols in a perhumid belt, andic Brown Soils in a transitional belt, eutrophic Brown Soils in a two seasons subtropical.

The first part states the morphological physical and chemical characteristics of soils. It shows their variations according to the evolution of climate: shortening of A horizon, change of texture from loamy to clayey, development of fragmental structure, decrease of reaction with Fieldes and Perrott test (NaF).

The second part deals with mineralogical and micromorphological characteristics. It shows the evolution of some amorphous or cryptocrystalline organomineral complexes (with allophane and imogolite) and allitized (with fine gibbsite) soils, to clay minerals (halloysite, interstratified M-C) soils. Then summarizing the typology of soils, we can deduce their place in the french classification of soils and in the Soil Taxonomy. At last, a general conclusion emphasizes the effect of the climatic variation between two poles, one perhumid and another with two seasons, on the evolution of pedogenesis.

PLAN

1^{re} Partie

INTRODUCTION

I. CARACTÉRISTIQUES ÉCOLOGIQUES DU VERSANT NORD

1. Climat
2. Végétation
3. Géologie
4. Sols de la séquence septentrionale

II. CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS RÉCENTS DE LA SÉQUENCE

1. Caractéristiques morphologiques
2. Caractéristiques physico-chimiques
 - Méthodes analytiques
 - Matière organique
 - pH, bases échangeables, taux de saturation
 - Capacité d'échange cationique
 - Analyse chimique totale
 - Granulométrie
 - Caractéristiques hydriques

CONCLUSION DE LA 1^{re} PARTIE

BIBLIOGRAPHIE

INTRODUCTION

Lors d'une précédente étude (Quantin, Fernandez Caldas, Tejedor Salguero, 1977 ; Tejedor Salguero, Quantin, Fernandez Caldas, 1978) nous avons décrit une climatoséquence de la région méridionale de l'île de Ténérife (îles Canaries), formée sur des basaltes et des matériaux phonolitiques.

Nous y avons établi une corrélation entre la typologie des sols et les différentes zones de la séquence climatique altitudinale méridionale.

Dans ce présent travail, nous étudions plus particulièrement l'incidence de la variation climatique sur la partie moyenne de la séquence septentrionale de Ténérife, et relative seulement aux sols dérivés des formations volcaniques les plus récentes. Nous nous réservons de traiter des sols provenant de matériaux volcaniques anciens dans un article ultérieur.

I. CARACTÉRISTIQUES ÉCOLOGIQUES DU VERSANT NORD

1. Climat

Sur le versant nord et nord-est de cette île, les conditions climatiques, comme nous l'avons déjà indiqué, sont différentes de celles du versant méridional. L'humidité ambiante et la pluviométrie sont plus élevées, déterminant une influence très accusée sur la végétation et les caractéristiques des sols, qui contrastent avec la région sud.

Le climat de ce versant est très influencé par les vents alizés du nord-est, qui se heurtent contre les masses insulaires, remontant les pentes et se refroidissant progressivement jusqu'à ce que se produise une condensation adiabatique de leur humidité, donnant lieu à la formation de nuages dans la région des brumes entre 750 m et 1 500 m d'altitude approximativement, montant occasionnellement jusqu'à 1 800 m. L'existence d'une zone d'inversion thermique produite par le contre-alizé équatorial empêche que cette zone de condensation d'humidité ou zone de brumes s'étende à une altitude supérieure.

Les vents froids du Nord, qui arrivent aux îles pendant les mois d'hiver à cause de l'établissement de régimes cycloniques sur l'Atlantique pendant cette saison, produisent des pluies abondantes sur ce versant et provoquent également des précipitations sous forme de neige sur les régions alpines.

Sur la figure 1, on indique la situation des sols les plus caractéristiques* de cette séquence en fonction de l'altitude et de la pluviométrie (Kunkel, 1976). On observe une pluviométrie de 1 000 mm environ dans cette région des nuages ; cependant, il faut aussi tenir compte, dans cette zone, de l'importance des précipitations occultes par condensation. Le manque d'informations précises à ce sujet est à l'origine d'opinions controversées.

* Les sols dérivés de matériaux anciens, sont mis entre parenthèses.

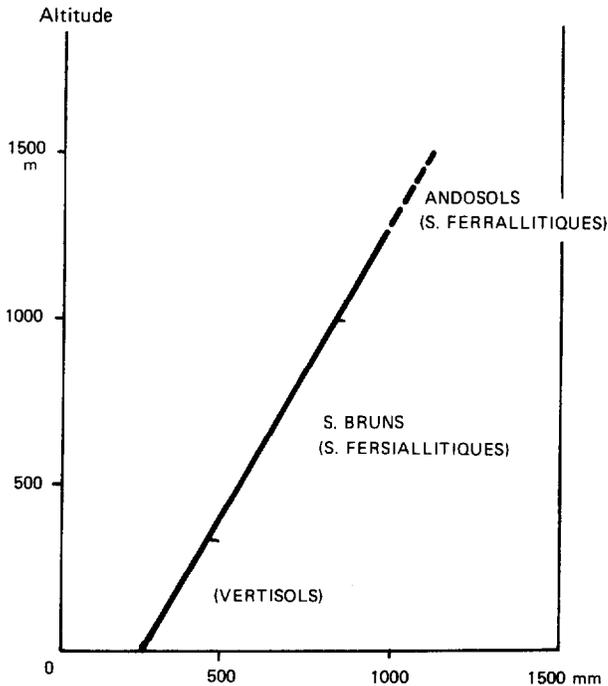


FIG. 1. — Répartition des sols en fonction de la pluviométrie moyenne annuelle.

Les températures correspondant aux différentes zones altitudinales sont déduites du diagramme de la figure 2 (Kunkel, 1976) :

0- 250 m	20-22 °C
250- 650 m	15-20 °C
600-1 000 m	15-18 °C
1 500-2 500 m	12-15 °C

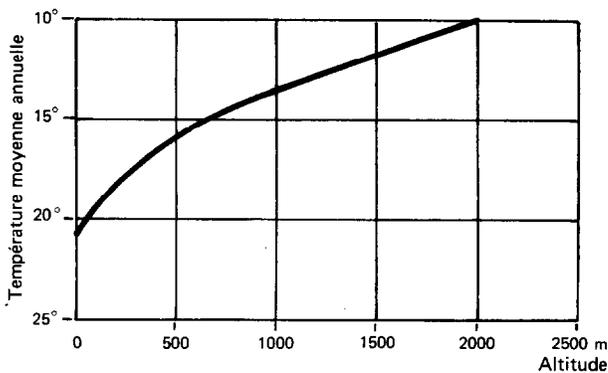


FIG. 2. — Variation de la température moyenne annuelle en fonction de l'altitude.

Sur la figure 3, on observe les séquences climatiques de végétation et de sols correspondantes.

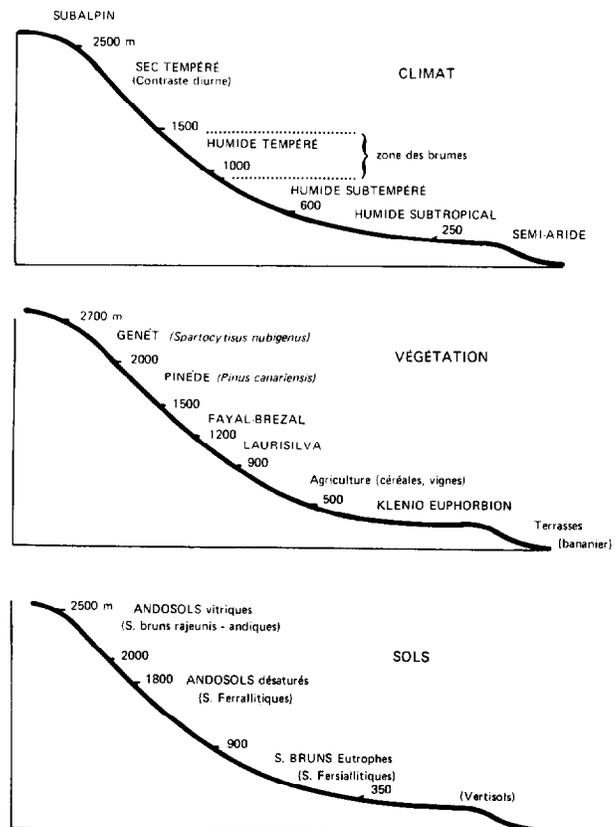


FIG. 3. — Répartition du climat, de la végétation et des sols, en fonction de l'altitude.

2. Végétation

Le grand contraste des températures aux altitudes supérieures de cette séquence, entre l'été et la période d'hiver, donne à cette région un climat subalpin, qui se caractérise par une végétation de haute montagne, formée de : *Spartocytisus nubigenus*, *Adenocarpus viscosus*, *Dichranthus scoparius*, *Nepetea teydea*, *Scrophularia glabrata*, *Chrysanthemum anethifolium*, etc. (Ceballos, Ortuño, 1951).

La région des brumes, dont la température est moins contrastée, est colonisée par une végétation de forêt semi-hygrophile, la « Laurisilva », qui peut être parfois envahie par le pin ; les principales espèces

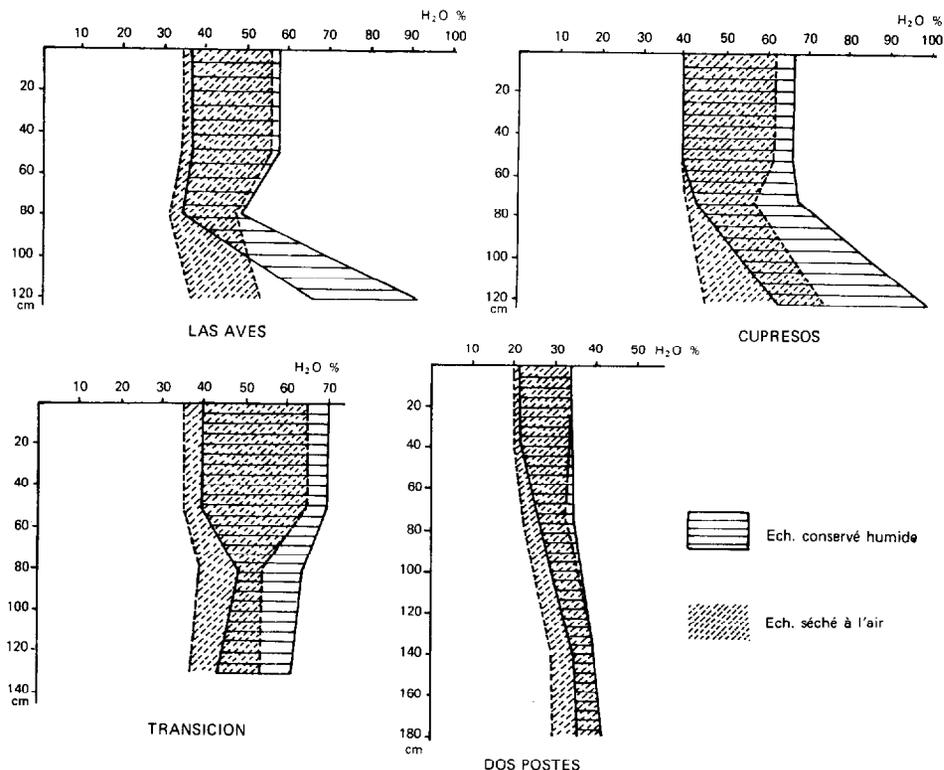


Fig. 4. — Différence pF 2,5 pF 4,2 ou « eau utile ».

en sont : *Laurus canariensis*, *Persea indica*, *Apollo-nias canariensis*, *Qcotea phoetens*, *Ilex canariensis*, *Ilex platyphylla*, *Prunus lusitanica*, *Notelaea excelsa*, *Arbutus canariensis*, etc.

Entre ces deux régions, à partir de 1 000-1 500 m jusqu'à 2 000 m environ, on y trouve les formations résineuses formées par des forêts de *Pinus canariensis*.

Une autre zone de transition de la « Laurisilva », la « Fayal Brezal » est parfois observée de part et d'autre, à des altitudes inférieures ou supérieures ; elle est formée principalement par : *Myrica faya*, *Erica arborea*, *Ulex europaeus*.

La zone inférieure de végétation forme le « Klenio-Euphorbion » caractérisé par : *Euphorbia balsamifera*, *E. regis-juabae*, *E. aphylla*, *E. atro-purpurea*, *E. bungeana*, *E. obtusifolia*, *Kleinia neriifolia*, *Sempervivum holochrysum*, *S. lindleyi*, *Ceropegia dichotoma*, *C. fusca*, *Zygophyllum Fontanesii*, *Lavandula buchii*, *Campylanthus solsoloides*, *Lycium afrum*, etc.

3. Géologie

Les sols de cette climatoséquence se sont formés principalement sur des matériaux basaltiques, au contraire de la séquence étudiée sur le versant méridional, où les sols sont souvent fortement contaminés en surface par des matériaux phonolitiques. Cependant, on trouve aussi dans cette région des interstratifications de matériaux acides, formés notamment par des cendres et des produits pyroclastiques trachytiques.

4. Sols de la séquence septentrionale

Dans cette climatoséquence, on observe les sols suivants : des sols d'évolution récente, dont des andosols et des sols bruns, et des formations plus anciennes, constituées par des sols ferrallitiques, des sols fersiallitiques et des vertisols.

Dans la région climacique des andosols entre 900-1 000 m et 1 600-1 800 m d'altitude, on observe sur les matériaux les plus anciens des altérations de type ferrallitique qui peuvent être rajeunies en surface par des matériaux plus récents ; ceux-ci ont formé le plus souvent un andosol désaturé au-dessus du paléosol. Mais, quand ce rajeunissement date de plus longtemps, les andosols superficiels peuvent avoir évolué en sols bruns acides (oligotrophes) à caractères andiques.

C'est dans la région inférieure à celle des andosols que l'on observe des sols bruns eutrophes, actuellement cultivés. On y observe aussi des altérations, très développées, de type fersiallitique, qui recouvrent de grandes étendues entre les cotes de 300-400 m et 900-1 000 m d'altitude.

Au-dessous de 300-400 m d'altitude, sous un climat de type semi-aride et dans une situation topographique de piémont, qui favorise l'accumulation latérale, se sont formés des vertisols (quelquefois avec accumulation de carbonates) qui prédominent normalement dans cette région. Mais la construction de terrasses* avec des sols allochtones, transportés de la montagne, y a fait disparaître presque totalement les vertisols, dont il reste cependant des témoins importants à Bajamar (N-W).

Dans la séquence pédo-climatique septentrionale de Ténérife, il nous a paru utile de dissocier l'observation des sols formés sur des matériaux volcaniques récents, où la pédogenèse est en équilibre avec les conditions climatiques actuelles, de celle des sols plus anciens dont l'évolution s'explique mieux par des conditions paléo-climatiques. Mais, dans la région nord de Ténérife, nous n'avons pu observer l'influence du climat sur les sols récents que dans la partie moyenne de la séquence, entre 600 et 1 200 m environ, là où les sols sont bien représentés et passent transitionnellement d'andosols désaturés typiques, dans la zone des brumes et de la Laurisilva, à des sols bruns eutrophes, dans la zone inférieure moins humide, à deux saisons, pluvieuse et sèche, alternées, et où la végétation naturelle est totalement remplacée par des plantes cultivées. Entre les deux zones, nous avons pu distinguer un terme de passage, le sol brun « de transition ».

* Pour la culture du bananier, il exige un sol plus léger qu'un vertisol, mais aussi un climat plus ensoleillé et chaud qu'en montagne.

II. CARACTÉRISTIQUES MORPHOLOGIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS RÉCENTS DE LA SÉQUENCE

1. Caractéristiques morphologiques

Des cinq profils étudiés dans la séquence, nous décrivons seulement le plus représentatif des andosols désaturés, des sols bruns andiques de « transition » et des sols bruns eutrophes.

1.1. PROFIL « LAS AVES », ANDOSOL DÉSATURÉ CHROMIQUE

Situation : Mt Agua Garcia

Climat : tempéré perhumide, zone des brumes

Orientation : Nord

Altitude : 1 100 m

Végétation : pinède (*Pinus canariensis*)

Roche-mère : cendres et lapilli basaltiques

Description :

- 0 à 50 cm : horizon A₁₁-A₁₂. Couleur variant de brun-gris très foncé à brun foncé (7,5 YR 2/3) ; texture apparente limono-sableuse et très humifère ; structure grumeleuse fine, « farineuse », très friable ; très faible densité apparente et forte microporosité ; fines racines très denses ; limite nette.
- 50 à 70-90 cm : horizon (B)/C, rouge vif (2,5 YR 3/4), avec passage latéral à brun vif ; graveleux (lapilli) et terre fine limoneuse ; structure particulière, sans cohésion ; racines grossières et fines éparées ; limite irrégulière, ondulée.
- 90 à > 120 cm : horizon II (B), brun (7,5 YR 4/5) ; limono-argileux ; structure massive, friable, microporeuse ; faible densité apparente ; légèrement plastique, humide et collant ; faiblement « thixotropique » ; racines rares et dispersées.

N.B. Réaction forte au test de NaF dans tout le profil ; plus intense et rapide dans l'horizon (B)/C.

1.2. PROFIL « TRANSICIÓN », SOL BRUN OLIGOTROPHE ANDIQUE

Situation : Mt Agua Garcia

Climat : limite inférieure zone des brumes

Orientation : Nord

Altitude : 920 m

Végétation : Laurisilva dégradée, « ouverte »

Roche-mère : cendres basaltiques

Description :

- 0 à 40-50 cm : horizon A₁, brun très foncé (7,5 YR 2/3) ; texture apparente limoneuse et très

humifère ; structure grumeleuse fine, plus nettement développée et plus cohérente que dans l'andosol, encore friable ; faible densité apparente et forte porosité ; racines fines très denses ; limite nette, irrégulière.

- 50 à 120 cm : horizon (B)₁, brun (7,5 YR 4/6) ; texture apparente limono-argileuse ; structure massive avec tendance polyédrique moyenne peu développée ; très friable et microporeux ; racines dispersées.
- 120 à plus de 160 cm : horizon (B)₂, brun rougeâtre (5 YR 4/8) ; argilo-limoneux ; structure polyédrique moyenne nettement développée ; cohésion moyenne, encore friable ; plus collant et plastique ; porosité fine ; racines éparses.

N.B. Réaction au test de NaF, forte dans les deux horizons supérieurs, faible dans le (B)₂.

1.3. PROFIL « BIRNAGEN », SOL BRUN EUTROPHE RUBÉFIÉ

Situation : Llano del Moro, piémont de cône volcanique récent, à forme conservée.

Climat : intergrade méditerranéen-subtropical à deux saisons

Orientation : Sud, fort ensoleillement

Altitude : 750 m

Végétation : terrasse cultivée

Roche-mère : cendres et lapilli basaltiques

Description :

- 0 à 10 cm : horizon A₁₁, brun-rouge foncé (5 YR 3/4) ; argilo-limoneux et humifère ; structure grumeleuse fine et moyenne, très friable ; macroporosité forte ; beaucoup de racines fines ; limite irrégulière.
- 10 à 35 cm : horizon A₁₂, brun-rouge, moins foncé (5 YR 4/4) ; argilo-limoneux, à sables fins de minéraux altérables, un peu humifère ; structure plus large et plus cohérente, subpolyédrique ; moins poreux et moins friable ; racines encore denses ; limite nette.
- 35 à 85 cm : horizon (B), brun-rouge (5 YR 4/7) ; argilo-limoneux ; structure polyédrique moyenne, à cohésion forte ; revêtements brun foncé ; présence de minéraux altérables ; porosité plus faible ; racines moins denses, dispersées.
- 85 à 110 cm : horizon (B)/C, brun, à taches rougeâtres de lapilli altérés (à cœur encore noirâtre) ; mélange de graviers et de terre fine argilo-limoneuse ; structure mal définie, tendance polyédrique peu développée, friable ; porosité plus faible ; racines éparses.
- 110 à 140 cm : horizon C_{1g}, brun clair, à taches verdâtres et fins lapilli rubéfiés ; graviers et terre fine argilo-limoneuse ; structure massive, plastique, peu perméable ; humide et collant ; pas de racines.
- 140 à 160 cm : horizon C_{2R} : Lapilli gris foncé, peu altérés, cimentés par une argile blanche (halloysite).

N.B. Le test de NaF est négatif dans tout le profil.

1.4. CARACTÈRES MORPHOLOGIQUES PRINCIPAUX DES SOLS DE LA SÉQUENCE

a. Les andosols se situent dans la zone la plus humide, sous une végétation de « Laurisilva », de « Fayal-Brezal », ou de pinède.

Ils se caractérisent par un profil : A, (B) ou (B)/C sur un matériau volcanique pyroclastique ; mais le plus souvent, comme à Las Aves, on observe un profil complexe : A, (B)/C, II (B), C, du fait de deux apports volcaniques successifs.

Leurs critères morphologiques les plus fréquents sont les suivants : la structure est fine, peu développée et faiblement cimentée : farineuse (« fluffy ») dans les horizons humifères ; particulière ou massive, mais microporeuse et très friable dans les horizons (B)/C et (B). La densité apparente est très faible dans tout le profil, correspondant à une porosité fine très développée. La texture ne paraît pas argileuse ; le sol n'adhère pas aux doigts, n'est pas plastique, mais très friable. Dans l'horizon (B), quand il est humide, apparaît faiblement le phénomène de « thixotropie » ; la couleur y varie de rouge vif à brun vif, suivant l'origine du matériau. La réaction au test de NaF (Fieldes et Perrott, 1966) est très forte dans tout le profil, indiquant la présence abondante d'allophane-alumineuse.

b. Les sols bruns andiques, de transition, à la limite inférieure de la « Laurisilva », présentent encore des caractères andiques nets dans le haut du profil. Mais on y note déjà un meilleur développement de la structure qui devient grumeleuse fine et plus cohérente. De plus, on observe en profondeur un horizon (B)₂, de couleur brun-rougeâtre, à structure polyédrique fine bien développée, nettement plus cohérent. Le sol y paraît plastique, moins friable, manifestant ainsi la présence abondante de phyllites argileuses. La réaction au test de NaF y est aussi nettement plus faible et plus lente, marquant encore la présence d'un peu d'allophane.

c. Le sol brun eutrophe formé sur un cône volcanique récent dans la zone climatique à deux saisons alternées, est encore plus nettement différencié des andosols. L'horizon (B) montre notamment une structure polyédrique moyenne bien développée, à cohésion forte. Le sol est plastique et la présence abondante de phyllites argileuses est évidente. De plus, la densité apparente est relativement plus élevée et la porosité plus faible. La réaction au test de NaF est négative dans tout le profil. On remarque aussi le caractère hydromorphe de l'horizon C₂, qui y indique une illuviation probable d'argiles.

On observe donc une évolution très nette des caractéristiques morphologiques des sols d'âge récent

(tabl. I), en relation évidente avec la séquence climatique actuelle.

TABLEAU I

Evolution des caractéristiques morphologiques

Type de sol	Horizons	Critères de l'horizon (B)			
		Couleur	Structure	Texture	Test NaF
Andosols Las Aves	A ₁₁ -A ₁₂ , (B)/C, II (B), C	rouge (2,5 YR 3/4)	massif, très friable	limono-sableuse	très fort
Dos Cupresos . .	A ₁₁ , A/(B), (B), C	brun-vif (7,5 YR 4/4)	idem	limoneuse	très fort
Brun-andique Transición	A ₁₁ , (B) ₁ , (B) ₂	brun-rouge (5 YR 4/8)	polyédrique fin, friable	argilo-limoneux	faible
Bruns-eutrophes Dos Postes	A ₁₁ , A/(B), (B), II(B)	brun-vif (5 YR 3/6)	polyédrique large, cohésion forte	argilo-limoneux	négatif
Birmagen	A ₁₁ , A ₁₂ , (B), (B)/C, C _{1g}	(5 YR 4/7)	polyédrique moyen, cohésion forte	argilo-limoneux	négatif

2. Caractéristiques physico-chimiques

2.1. MÉTHODES ANALYTIQUES

La matière organique a été déterminée par la méthode Walkey et Black ; l'azote minéralisé par attaque sulfurique a été analysé par la méthode Kjeldahl. Pour le fractionnement des acides humiques, nous avons suivi la méthode de Kononova (Kononova, 1968).

La capacité totale d'échange de cations a été déterminée avec de l'acétate sodique de pH 8,2, tandis que les cations ont été extraits avec de l'acétate d'ammonium (N), à pH 7 (Richards, 1954). On a mesuré aussi la capacité d'échange à pH 10,5 et pH 3,5, comme préconisé par Aomine et Jackson (1959). La valeur Δ est la différence entre ces deux mesures. Les déterminations ont été faites sur un photomètre d'absorption atomique Perkin-Elmer, modèle 290.

Le pH a été mesuré en suspension aqueuse (1/2,5), en KCl (N) (1/2,5), et dans une solution neutre de NaF (N) (1/50) (Fieldes et Perrott, 1966).

L'analyse chimique totale a été effectuée sur l'extrait par FH+NO₃H.

L'analyse granulométrique des andosols a été réalisée par dispersion ultrasonique, en milieu alcalin. Pour les sols bruns, on a utilisé la méthode classique de la « pipette Robinson », en dispersant avec de l'hexamétaphosphate de sodium.

Les déterminations de l'humidité à différentes valeurs de pF ont été obtenues par succion sur plaques poreuses, modèle de Soil Moisture Equipment Corporation.

2.2. MATIÈRE ORGANIQUE (tabl. II)

Les teneurs en matière organique sont très élevées dans les andosols et dans les horizons rajeunis des sols bruns, avec une valeur maximum de 13,2 % dans l'horizon A du profil « Dos Cupresos ». Les sols bruns eutrophes présentent des valeurs nettement plus basses (2,3-3,2 %, dans les horizons A).

Dans les andosols, la matière organique est profondément incorporée dans le profil, atteignant des valeurs encore très élevées en profondeur, comme on peut l'observer dans le profil « Dos Cupresos » avec 6,02 % de matière organique dans l'horizon (B), à plus d'un mètre de profondeur. Par contre, dans les sols bruns, les teneurs en matière organique

TABLEAU II

Matière organique

Profil	Horizon	Matière organique totale				Matière organique humifiée			
		% C	% M.O.	% N	C/N	% C H	% C A,H,	% C A.F.	A.H. A.F.
Las Aves	A ₁₁ -A ₁₂	3,99	6,86	0,43	9,28	1,75	0,80	0,95	0,84
	(B)C	0,73	1,25	0,07	10,89	0,13	0,04	0,09	0,51
	II B	0,99	1,70	0,14	7,07	0,23	—	0,23	—
Dos Cupresos	A	7,70	13,24	0,72	10,69	4,26	1,09	3,17	0,34
	A/(B)	4,20	7,23	0,42	10,00	2,33	—	2,33	—
	(B)	3,50	6,02	0,28	12,50	1,32	—	1,32	—
Transición	A	6,94	11,94	0,63	11,01	3,23	0,82	2,41	0,34
	(B) ₁	1,06	1,82	0,12	8,83	0,53	—	0,53	—
	(B) ₂	1,06	1,82	0,06	17,38	0,46	—	0,46	—
Dos Postes	A ₁	1,35	2,32	0,20	6,75	0,75	0,19	0,56	0,34
	A/(B)	0,46	0,79	0,08	5,97	0,17	—	0,17	—
	(B)	0,32	0,55	0,06	5,61	0,11	—	0,11	—
	II B	0,25	0,43	0,04	5,81	0,12	—	0,12	—
Birmagen	A ₁₁	1,84	3,16	0,19	9,68	0,73	0,13	0,60	0,22
	A ₁₂	0,74	1,27	0,10	7,47	0,39	0,16	0,23	0,69
	B	0,34	0,58	0,04	8,29	0,14	0,01	0,13	—
	B/C	0,08	0,14	0,02	3,20	0,04	0,01	0,03	0,33
	C	0,19	0,33	0,02	11,17	0,03	—	0,03	—

diminuent rapidement en passant de l'horizon A aux horizons B.

Le rapport C/N, proche de 10 dans les horizons de surface, correspond à un humus du type Mull. Les valeurs sont légèrement plus basses, en général, dans les sols bruns eutrophes, ce qui est dû à une plus grande facilité de minéralisation de la matière organique.

Les acides fulviques, dans tous les cas, prédominent nettement sur les acides humiques, avec des valeurs importantes dans le profil « Dos Cupresos » et l'horizon A du profil « de transition ». Donc, le rapport AH/AF est toujours inférieur à 1. Cela coïncide avec les résultats obtenus par plusieurs auteurs pour ce type de sol dans les régions de climat tropical humide (Quantin, 1972 ; Sieffermann, 1969 ; Tan, 1966).

2.3. pH, BASES ÉCHANGEABLES, ET TAUX DE SATURATION (tabl. III)

Dans les andosols, il est caractéristique que le pH soit élevé, en rapport du faible taux de saturation

en bases. On observe dans ces deux profils une légère diminution du pH des horizons A aux horizons (B).

Dans les sols bruns, les valeurs se maintiennent à peu près constantes. Dans les horizons profonds du profil Birmagen, le pH est proche de la neutralité et correspond à un degré de saturation plus élevé en cations.

La différence de pH déterminé en solution H₂O et KCl (N), dans les andosols oscille entre 0,2 et 1,2 ; les valeurs les plus basses sont observées dans les horizons (B) ; l'horizon IIB du profil « Las Aves » se distingue avec 0,2 unité de pH de différence, ce qui est caractéristique des andosols désaturés riches en sesquioxydes.

Dans les sols bruns, le pH mesuré en KCl sont nettement plus bas, atteignant près de 2 unités de différence dans le profil Birmagen, ce qui indique un plus haut degré de cristallinité des minéraux argileux.

La réaction au test de NaF (Fieldes et Perrott) est nettement positive dans les andosols et dans certains sols bruns andiques, avec une variation

TABLEAU III

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

Profil	Horizon	pH			mé/100 g						S/T
		H ₂ O	KCl	NaF	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	S	T	
Las Aves	A ₁₁ -A ₁₂	6,7	5,6	10,9	6,28	4,00	0,51	1,90	12,69	44,93	28,24
	(B) C	6,3	5,8	10,9	1,33	0,94	0,25	0,66	3,18	28,40	11,19
	II B	5,8	5,6	10,8	1,74	3,19	0,41	1,05	6,39	38,71	16,50
Dos Cupresos	A	6,1	5,1	11,0	8,45	4,82	0,70	0,97	14,94	58,59	25,49
	A/(B)	6,4	5,2	11,1	6,41	2,95	0,55	0,97	10,88	48,30	22,52
	(B)	5,6	5,0	10,9	1,89	1,58	0,50	0,13	4,10	52,58	7,79
Transición	A	5,9	4,9	11,0	9,38	4,14	0,62	1,81	15,95	38,86	41,04
	(B) ₁	6,4	5,1	10,8	4,25	2,91	3,44	2,10	12,70	37,97	33,44
	(B) ₂	6,3	5,0	10,7	3,40	2,27	2,52	1,67	9,86	31,49	31,31
Dos Postes	A ₁	5,4	4,2	10,7	2,15	1,41	0,64	1,09	5,29	27,23	19,42
	A/B	6,5	5,0	10,7	4,98	3,25	1,36	0,76	10,35	24,77	41,78
	(B)	6,5	5,2	10,5	7,48	4,90	3,13	0,51	16,02	28,22	56,76
	II B	6,8	5,4	10,7	7,31	4,46	4,08	0,25	16,10	29,64	54,31
Birmagen	A ₁₁	6,3	5,0	9,9	8,21	4,04	0,36	0,64	13,25	27,14	48,82
	A ₁₂	5,7	4,3	9,9	5,44	3,22	0,38	1,80	10,84	24,67	43,94
	B	6,1	4,9	9,9	7,95	6,11	2,35	1,65	18,06	30,61	59,00
	B/C	7,0	5,1	9,7	6,77	6,15	1,26	1,41	15,59	21,79	71,54
	C	6,7	4,6	9,2	13,39	9,07	4,51	4,79	31,76	42,08	75,47

des valeurs de pH entre 10,7 et 11,1 ; ce qui démontre une importante alcalinité d'échange, produite non seulement par la présence d'allophanes mais aussi par l'existence d'hydroxydes d'aluminium libres (gibbsite) dans ces sols.

Les teneurs en bases échangeables augmentent en passant des andosols aux sols bruns eutrophes. Dans les andosols et les sols bruns de transition, la somme des bases échangeables est relativement importante dans les horizons superficiels et diminue en passant aux horizons d'altération. Au contraire, dans les sols bruns eutrophes ces valeurs augmentent au niveau de l'altération.

Au long de la séquence, les cations dominants sont Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺, à l'exception des horizons (B)₁ et (B)₂ du profil de « transition », où Na⁺ dépasse Mg⁺⁺.

Dans les andosols, les teneurs en cations alcalins, spécialement en Na⁺, sont très faibles ; ces valeurs augmentent dans les sols bruns « de transition » et dans les sols bruns eutrophes.

Le taux de saturation en cations est faible dans

les andosols, avec une valeur minimum de 7,8 % dans l'horizon (B) du profil « Dos Cupresos ». Il augmente dans le sol brun andique et il est supérieur à 50 % dans l'horizon (B) des sols bruns eutrophes.

2.4. CAPACITÉ D'ÉCHANGE CATIONIQUE (tabl. III, IV, V)

La capacité d'échange cationique à pH 7, calculée sur échantillon séché à l'air, est très élevée dans les andosols (38,7-68,6 %), à l'exception de l'horizon d'altération du profil « Las Aves » qui présente une teneur très basse en fraction inférieure à 2 μ (tabl. III).

Ces valeurs diminuent un peu dans le sol brun andique ; mais elles y sont tout de même élevées, étant donné l'influence des produits allophaniques. Dans les sols bruns eutrophes, elles sont proches de la valeur correspondante à la capacité d'échange de l'halloysite (26 mé/100 g environ).

Voulant vérifier l'influence sur la mesure de la capacité d'échange des andosols d'une série de fac-

teurs, comme le degré d'hydratation de l'échantillon ou le pH de la solution d'extraction (Quantin, 1972 ; Sherman *et al.*, 1964 ; Yoshinaga, Aomine, 1962, etc.), nous avons déterminé aussi la capacité d'échange sur échantillon conservé humide, dans les andosols et dans quelques sols bruns (tabl. IV). A l'exception de l'horizon A du profil « de transition », on n'observe aucune variation importante entre les valeurs obtenues sur échantillon sec et humide.

TABLEAU IV

Capacité d'échange en fonction du degré d'hydratation

Profil	Horizon	T Ech. humide	T Ech. séché à l'air
Las Aves	A ₁₁ -A ₁₂	44,95	44,93
	(B)C	25,99	28,40
	IIB	35,46	38,71
Dos Cupresos	A	56,51	58,59
	A/(B)	49,25	48,30
	(B)	50,60	52,58
Transición	A	53,18	38,86
	(B) ₁	31,43	37,97
	(B) ₂	27,17	31,49

D'autre part, nous indiquons au tableau V, les valeurs de capacité d'échange, mesurées à pH 10,5 et à pH 3,5 de deux andosols de la région d'Aguamansa (Fernandez Caldas, Tejedor Salguero, 1975) semblables à ceux de « Las Aves » et « Dos Cupresos ». On observe que les valeurs de capacité

TABLEAU V

Capacité d'échange en fonction du pH de la solution d'extraction « Valeur Δ » (andosols d'Aguamansa)

Horizon	CEC pH 10,5 (A)	CEC pH 3,5 (B)	A/B	«Valeur Δ »
A	69,0	34,5	2,0	34,5
(B) ₁	90,5	48,5	1,9	42,0
(B) ₂	96,4	54,7	1,8	41,7
(B)C	81,5	38,6	2,1	42,9
A	89,0	47,1	1,9	41,9
(B)C	79,5	37,1	2,1	42,4

d'échange mesurées à pH 10,5 sont approximativement le double de celles obtenues à pH 3,5. La différence Δ entre ces deux valeurs de capacité d'échange est de 42 mé/100 g environ, ce qui indique une grande teneur en allophane (Aomine, Jackson, 1959).

2.5. ANALYSE CHIMIQUE TOTALE (tabl. VI et VII)

Dans les andosols, relativement aux matériaux basaltiques originels, on observe une diminution importante des teneurs en silice et en bases, et un fort accroissement en aluminium, fer et titane. Dans le sol total, la valeur du rapport molaire $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ varie de 1,4 à 2,5 ; mais dans la fraction $< 2 \mu$ ce rapport varie de 0,8 à 1,3, valeurs bien caractéristiques des andosols désaturés riches en alumine (Quantin, 1972). Ces sols sont en effet constitués d'allophane, d'imogolite et de gibbsite.

Dans le sol brun andique, « de transition », la valeur $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ du sol total, est légèrement supérieure à 2 (2,2-2,4) ; ce sol est riche en halloysite.

Dans les sols bruns eutrophes, le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ du sol total est proche de 3 (3-4). Mais dans la fraction $< 2 \mu$ cette valeur varie de 2 à 3. On y a déterminé un mélange d'halloysite et de smectite ferrifère.

On observe donc un accroissement très sensible du rapport molaire silice/alumine dans toute la séquence, de valeurs proches de 1 dans les andosols désaturés, à près de 3 dans les sols bruns eutrophes.

2.6. GRANULOMÉTRIE (tabl. VIII)

Les andosols ont présenté une certaine difficulté de dispersion. Celle-ci a été obtenue normalement en milieu alcalin après agitation ultra-sonique, pour la plupart des échantillons. Cependant, le sol de l'horizon II (B) de Las Aves n'est dispersable qu'en milieu acide, en raison de sa forte teneur en imogolite et en hydroxyde de fer. La fraction limon (2-20 μ) prédomine. La fraction argile ($< 2 \mu$) est relativement faible, variant de 10 à 40 %.

Dans le sol brun andique, « de transition », l'argile augmente sensiblement et devient prédominante (50 à 60 %) dans les horizons (B).

Dans les sols bruns eutrophes, la fraction argile est également prédominante (40 à 60 %) dans les horizons A et (B).

TABLEAU VI
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 au feu 105° à 1000°	SiO ₂ Al ₂ O ₃ mol.	SiO ₂ Fe ₂ O ₃ mol.	SiO ₂ TiO ₂ mol.	SiO ₂ Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ mol.
Las Aves	A ₁₁ -A ₁₂	32,51	21,67	14,03	6,78	1,99	1,84	0,48	0,74	1,23	0,37	18,06	2,55	6,16	6,38	1,80
	(B) C	30,50	30,33	16,32	8,65	2,12	0,98	0,34	0,74	1,03	0,43	8,89	1,70	4,97	4,69	1,27
	II B	30,42	28,22	12,84	6,76	1,97	1,01	0,22	0,86	1,17	0,37	14,15	1,83	6,29	5,98	1,42
Dos Cupresos	A	31,06	20,78	11,76	5,55	2,50	1,62	0,19	1,03	1,10	0,34	23,45	2,54	7,02	7,44	1,86
	A (B)	32,12	23,97	11,86	5,48	2,47	1,48	0,19	0,86	1,15	0,35	17,56	2,27	7,21	7,80	1,73
	(B)	24,69	28,92	13,00	5,47	1,94	1,08	0,08	0,55	0,75	0,27	19,53	1,45	5,05	6,01	1,12
Transición	A	31,28	23,89	8,72	3,55	1,71	1,18	0,23	0,76	1,33	0,28	22,82	2,22	9,54	11,73	1,80
	(B) ₁	38,72	27,65	9,22	4,83	1,24	1,05	0,10	0,72	1,12	0,27	11,98	2,38	11,17	10,67	1,96
	(B) ₂	38,10	26,98	11,82	6,34	1,63	1,00	0,10	0,59	0,87	0,13	9,65	2,39	8,57	7,99	1,87
Dos Postes	A ₁	41,68	23,58	12,03	5,03	2,02	1,08	0,45	1,04	1,85	0,36	12,00	3,00	9,21	11,03	2,26
	A/B	45,10	23,73	12,23	6,78	1,86	1,45	0,23	1,96	2,09	0,34	7,50	3,22	9,80	8,85	2,43
	(B)	49,49	26,49	9,39	4,00	1,79	1,41	0,24	1,66	1,65	0,21	8,10	3,17	14,01	16,48	2,59
	II B	42,71	26,41	9,22	4,66	1,27	0,84	0,25	1,13	1,36	0,20	10,62	2,74	12,32	12,19	2,24
Birmagen	A ₁₁	42,52	21,39	13,23	7,37	1,93	1,21	0,23	1,55	1,77	0,13	8,51	3,37	8,55	7,68	2,42
	A ₁₂	44,14	22,75	13,59	7,47	1,89	1,35	0,23	1,68	1,85	0,12	5,17	3,29	8,63	7,86	2,38
	B	41,12	22,77	16,62	10,41	1,51	1,37	0,15	1,38	1,17	0,14	6,16	3,06	6,58	5,25	2,09
	B/C	48,20	18,53	13,15	8,22	1,41	1,20	0,09	2,53	2,07	0,11	5,90	4,41	9,75	7,79	3,04

TABLEAU VII
Analyse chimique. Fraction argile (%)

Profil	Horizon	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	CaO	Mn ₃ O ₄	Na ₂ O	K ₂ O	Perte au feu 105° à 1 000°	SiO ₂ Al ₂ O ₃ mol.	SiO ₂ Fe ₂ O ₃ mol.
Las Aves	A ₁₁ -A ₁₂	25,00	33,23	10,71	2,70	1,82	1,44	0,69	0,34	0,95	26,20	1,27	6,21
	(B)/C	22,16	44,19	19,60	7,55	1,45	1,60	0,41	0,91	0,84	—	0,84	3,01
Birmagen	A ₁₁	38,86	31,08	12,09	6,63	1,53	1,03	0,21	0,69	1,47	13,20	2,12	8,62
	B	39,48	21,41	16,39	10,82	1,29	1,44	0,15	0,99	0,84	13,30	3,14	6,44

On observe donc une évolution de la texture dans la séquence : de limoneuse ou limono-argileuse dans les andosols à argileuse ou argilo-limoneuse dans les sols bruns. On remarque fréquemment aussi le taux de sables plus élevé dans la partie supérieure des sols, indiquant un rajeunissement superficiel par des cendres volcaniques.

2.7. CARACTÉRISTIQUES HYDRIQUES (tabl. IX)

La capacité de rétention en eau du sol a été déterminée à deux valeurs de pF : 2,5 et 4,2 sur sol séché à l'air et sur sol conservé dans son état humide naturel.

TABLEAU VIII

Granulométrie

Profil	Horizon	Argile	Limon	Sable fin	Sable grossier	Humidité	Matière Organique
Las Aves	A ₁₁ -A ₁₂	34,20	36,70	9,20	4,20	12,30	6,86
	(B)C	13,30	53,70	14,82	4,40	11,90	1,25
Dos Cupresos	A	28,00	40,00	9,00	2,70	14,20	13,24
	A/(B)	35,80	39,90	4,80	1,80	14,20	7,23
	(B)	40,40	32,90	3,31	1,40	19,90	6,02
Transición	A	37,50	37,00	7,02	2,60	12,60	11,94
	(B) ₁	53,70	28,70	2,10	1,30	14,70	1,82
	(B) ₂	57,10	25,80	2,10	1,60	13,70	1,82
Dos Postes	A ₁	38,90	31,00	10,10	9,90	6,70	2,32
	A/B	44,70	26,10	6,80	11,60	7,90	0,79
	B	61,70	20,10	2,80	3,00	11,40	0,55
	IIB	52,40	22,50	5,10	5,50	12,10	0,43
Birmagen	A ₁₁	42,80	27,30	6,30	10,10	8,80	3,16
	A ₁₂	49,00	27,50	4,40	6,10	11,90	1,27
	B	41,10	38,90	6,40	3,70	11,20	0,58
	B/C	32,40	26,10	—	—	—	—
	C	33,90	24,80	11,70	18,50	9,90	0,33

TABLEAU IX

Teneur en eau pour 100 g de sol séché à 105 °C, à pF 2,5 et 4,2

Profil	Horizon	Echantillon conservé humide			Echantillon préalablement séché à l'air		
		pF 2,5	pF 4,2	Eau utile	pF 2,5	pF 4,2	Eau utile
Las Aves	A ₁₁ /A ₁₂	57,70	36,80	20,90	56,00	34,20	21,80
	(B)C	49,00	34,00	15,00	47,50	31,40	16,10
	IIB	90,10	66,40	23,70	53,40	36,80	16,60
Dos Cupresos	A	66,90	39,70	27,20	62,30	40,00	22,30
	A/(B)	67,80	43,30	24,50	57,70	41,00	16,70
	(B)	99,60	63,70	35,90	74,50	45,80	28,70
Transición	A	70,60	39,90	30,70	65,80	35,70	30,10
	(B) ₁	64,50	48,80	15,70	54,80	39,50	15,30
	(B) ₂	62,10	43,70	18,40	54,10	37,00	17,10
Dos Postes	A ₁	34,60	22,40	12,20	34,40	20,20	13,50
	A/(B)	34,20	26,40	7,80	32,60	22,80	9,80
	B	40,30	34,90	5,40	40,30	30,40	9,90
	IIB	42,20	35,90	6,30	42,00	30,50	11,50
Birmagen	A ₁₁	28,70	18,60	10,10	30,50	18,60	11,90
	A ₁₂	27,20	19,90	7,30	28,20	19,90	8,30
	B	40,80	33,10	7,70	44,10	33,10	11,10
	B/C	27,20	18,10	9,10	33,10	20,80	12,30

Les andosols présentent une capacité en eau à pF 2,5 proche de 100 % et à pF 4,2 voisine de 65 % dans les horizons (B) et II (B) conservés humides. Ces valeurs très élevées caractérisent les sols riches en allophane (Colmet-Daage, 1972). La dessiccation à l'air réduit sensiblement cette propriété, la rétention en eau à pF 2,5 n'atteignant plus que 50 à 75 % dans les horizons (B) et II (B). Il faut noter que cet effet est peu sensible dans les horizons humifères.

Le sol brun andique, « de transition », a des propriétés semblables dans le haut du profil. Mais on remarque une capacité de rétention en eau sensiblement moindre dans l'horizon (B)₂, relativement à sa forte teneur en argile, que dans le (B) des andosols. De plus, l'effet de déshydratation irréversible y est beaucoup plus faible.

— Les sols bruns eutrophes montrent une capacité de rétention en eau (30 à 40 % à pF 2,5) deux à trois fois plus faible que dans les andosols. De plus, ils ne manifestent plus le phénomène de déshydratation irréversible.

Donc, on observe dans la séquence une très sensible diminution de la capacité de rétention en eau et de l'effet irréversible de la déshydratation, des andosols aux sols bruns eutrophes.

CONCLUSION DE LA PREMIÈRE PARTIE

L'étude d'une séquence pédo-climatique de sols d'âge récent dérivés de matériaux basaltiques, sur le Versant Septentrional de Ténérife, a fait apparaître

une évolution significative de leurs caractéristiques morphologiques et physico-chimiques, en passant des andosols, dans la zone climatique perhumide, à des sols bruns eutrophes, dans la zone climatique à deux saisons alternées.

L'évolution morphologique montre notamment le passage : d'une texture apparente limoneuse à argileuse ; d'une structure peu développée et très friable, à polyédrique, fortement consistante et plastique ; l'accroissement de la densité apparente, due à une diminution de la microporosité.

La capacité de rétention en eau diminue très fortement, de deux à trois fois, et surtout le phénomène de déshydratation irréversible s'atténue et disparaît.

La capacité d'échange cationique rapportée à la teneur en fraction argile diminue très sensiblement. On remarque aussi l'accroissement de l'écart de la valeur de $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) - \text{pH}(\text{KCl})$, corrélative de l'apparition des phyllosilicates et inversement la diminution de la réponse au test de NaF.

L'évolution géochimique, caractérisée par la valeur du rapport molaire, silice/alumine, dans le sol et la fraction inférieure à 2 μ montre au contraire une diminution relative du processus d'altération, des andosols ($K_i \sim 1$ à 2) aux sols bruns ($K_i \sim 3$).

Ces observations seront complétées dans la deuxième partie de cette publication, par l'étude des caractéristiques minéralogiques et micromorphologiques des sols, et par un essai d'interprétation pédogénétique et de classification des divers sols de la séquence.

Manuscrit reçu au Service des Publications de l'ORSTOM
le 27 octobre 1978

BIBLIOGRAPHIE

- AOMINE (S.), JACKSON (M.L.), 1959. — Allophane determination in Ando Soils by cation exchange capacity « delta value ». *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, vol. 23 : 210-214.
- CEBALLOS (L.), ORTUNO (F.), 1951. — Vegetación y flora forestal de las Canarias Occidentales. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias.
- COLMET-DAAGE (F.), GAUTHEYROU (J.M.), KIMPE (C.), 1972. — Contribution à l'étude des propriétés et de la nature de sols à allophane des Antilles et d'Amérique Latine. 2^e Congreso sobre los suelos sobre cenizas volcanicas de America Latina. Pasto, en Colombia, Junio 1972.
- FERNANDEZ-CALDAS (E.), TEJEDOR-SALGUERO (M.L.), 1975. — Andosols de las Islas Canarias. Publicación Caja de Ahorros de Tenerife, S/C de Tenerife.
- FIELDER (M.), PERROTT (K.W.), 1966. — The nature of allophane in soils. 3. Rapid field and laboratory test for allophane. *N.Z. J. Sci.* 9 : 623-629.
- FUSTER (J.M.) *et al.*, 1968. — Geología y vulcanología de las Islas Canarias. Tenerife. Instituto Lucas Mallada. Madrid.
- KONONOVA (M.M.), 1966. — Soil Organic Matter. Pergamon Press. Oxford.
- KUNKEL (G.), 1976. — Biogeography and ecology in the Canary Islands. Dr. W. Junk b.v. Publishers, the Hague, 511 p.
- QUANTIN (P.), 1972 a. — Les Andosols, revue bibliographique des connaissances actuelles. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. X, n° 3 : 273-301.

- QUANTIN (P.), 1972 b. — Note sur la nature et la fertilité des sols sur cendres volcaniques provenant d'éruptions récentes dans l'archipel des Nouvelles Hébrides. 1^{re} et 2^e parties. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. X, n° 2 : 123-151. 3^e partie. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. X, n° 3 : 207-217.
- QUANTIN (P.), FERNANDEZ CALDAS (E.), TEJEDOR SALGUERO (M.L.), 1977. — Climato séquence de la région méridionale de l'île de Ténérife (Iles Canaries). 1^{re} partie : Ecologie. Morphologie. Caractéristiques physico-chimiques. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XV, n° 4 : 391-407.
- QUANTIN (P.), TEJEDOR SALGUERO (M.L.), FERNANDEZ CALDAS (E.), 1978. — Observations sur la présence de sols ferrallitiques dérivés de matériaux volcaniques aux îles Canaries. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, XVI, n° 2 : 155-195.
- RICHARDS (L.A.), 1954. — Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agricultural Handbook*, n° 60 : 100 p., USDA.
- SIEFFERMANN (G.), 1969. — Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun. Thèse Fac. Sc. Univ. Strasbourg, 285 p.
- SHERMAN (G.D.), MATSUSAKA (Y.), IKAWA (H.), UEHARA (G.), 1964. — The role of the amorphous fraction in the properties of the tropical soils. *Agrochim.* 8, n° 2 : 148-162.
- TAN (K.H.), 1966. — On the pedogenetic role of organic matter in volcanic ash soils under tropical conditions. *Soil Sc. Pl. Nut. Jap.* 12, n° 2 : 80-84.
- TEJEDOR-SALGUERO (M.L.), QUANTIN (P.), FERNANDEZ CALDAS (P.), 1978. — Climatosequence de la région méridionale de l'île de Ténérife (Iles Canaries). 2^e partie : Caractéristiques minéralogiques ; interprétation et classification. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. XVI, n° 1 : 83-106.
- YOSHINAGA (M.), AOMINE (S.), 1962. — Allophane in some Ando Soils. *Soil Sc. Pl. Nut. Jap.* 8, n° 2 : 6-13.