

Étude de deux sols andiques dérivés de roches volcaniques d'Italie du Sud (Monts Roccamonfina et Vulture) à caractère cryptopodzolique

1. Environnement, morphologie et caractères des constituants minéraux

Luciano LULLI (1), Donatella BIDINI (1), Bernard DABIN (2) et Paul QUANTIN (2)

(1) *Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo, Piazz. d'Azeglio, 30-50121, Firenze (Italie)*

(2) *O.R.S.T.O.M., Services Scientifiques Centraux, 70-74, route d'Aulnay, 93140 Bondy (France)*

AVERTISSEMENT

Cette étude comporte deux parties. La première traite de l'environnement et des caractères des sols. La deuxième analyse les formes de la matière organique et du phosphore, puis propose une interprétation générale.

RÉSUMÉ (1)

Cette étude, prolongeant un travail antérieur (LULLI, BIDINI, 1978), est l'analyse approfondie de deux sols andiques d'Italie du Sud, dérivés de produits volcaniques pyroclastiques. La première partie expose les caractères morphologiques, minéralogiques, physiques et chimiques de ces deux sols. La seconde, analyse les formes et l'évolution de la matière organique et du phosphore. L'interprétation de ces données conduit à des hypothèses sur la genèse de ces deux sols, puis oriente leur classification et permet la définition de leurs aptitudes culturales.

Les deux sols, quoique en région méditerranéenne, sont dans un climat tempéré-humide. Cependant, leurs conditions stationnelles sont un peu différentes et leurs caractères très distincts. Le sol de Roccamonfina est complexe, car dérivé de deux dépôts de scories (trachy-andésite, latite) : à son sommet il est brun-andique, désaturé et plus riche en allophane ; à sa base, il est brun-acide, riche en halloysite et présente un fragipan. Le sol du Vulture, dérivé de cendres trachy-basaltiques, en climat plus froid et plus régulièrement humide, semble être un andosol désaturé mélanique, typique ; mais il présente deux horizons spodiques discrets (B_{21} et B_{22}). Ces horizons sont expliqués par un processus d'illuviation organo-minérale, et aussi par le recouvrement d'un nouveau sol, ando-podzolique. Ce sol est constitué d'allophane à son sommet, puis d'imogolite dans les horizons spodiques, et d'halloysite à sa base ; cette argile concorde à une discontinuité lithologique (scories) et d'allération.

La comparaison des deux sols andiques montre une analogie : tous deux présentent des signes de crypto-podzolisation. Ce processus est plus évident dans le sol du Vulture. Cette observation pose le problème, fréquent en climat tempéré-humide, mais méconnu encore, de l'ambiguïté de certains caractères des sols andiques et des sols podzoliques.

MOTS-CLÉS : Sols andiques — Cryptopodzolisation — Roches volcaniques — Italie du Sud — Morphologie — Minéralogie — Propriétés physiques et chimiques — Formes de la matière organique et du phosphore — Pédogenèse — Classification — Aptitudes culturales.

RIASSUNTO

STUDIO DI DUE SUOLI ANDICI DERIVATI DA ROCCIE VULCANICHE IN ITALIA DEL SUD (MONTI ROCCAMONFINA E VULTURE), CON CARATTERE CRITTOPODZOLICO

Questo studio, proseguendo un lavoro precedente (LULLI, BIDINI, 1978), costituisce una analisi approfondita di due suoli andici dell'Italia meridionale, che si sono originati da prodotti vulcanici piroclastici. La prima parte

(1) Résumé des deux parties.

espone i caratteri morfologici, mineralogici, fisici e chimici dei due suoli. La seconda, analizza le forme e l'evoluzione della sostanza organica e del fosforo. L'interpretazione dei risultati conduce a delle ipotesi sulla genesi dei due suoli, ne orienta la classificazione e ne permette la definizione delle loro attitudini collturali.

I due suoli, sebbene siano nella regione mediterranea, si trovano in un clima temperato-umido; tuttavia le loro condizioni stazionali sono leggermente differenti ed i loro caratteri sono distinti.

Il suolo di Roccamonfina è complesso poichè deriva da depositi di scorie (trachandesite, latite): in alto è un suolo bruno-andico, desaturato e più ricco in allofane; in basso è un suolo bruno-acido, ricco in halloysite e presenta un fragipan.

Il suolo del Vulture che deriva da ceneri trachibasaltiche e si trova in un clima più freddo e più regolarmente umido, sembra essere un andosuolo desaturato melanico tipico, ma presenta anche due orizzonti spodici discreti (B_{21} e B_{22}). Questi orizzonti trovano spiegazione in un processo di illuviazione organico-minerale e anche nel ricoprimento da parte un nuovo suolo andopodzolico. Il suolo è costituito da allofane nella sua parte superiore, da imogolite negli orizzonti spodici e da halloysite alla base. La presenza di questa argilla è peraltro in accordo con una discontinuità litologica (scorie) e di alterazione.

Il confronto di questi due suoli andici mostra che ambedue presentano segni di criptopodzolizzazione anche se il processo è ben più evidente nel suolo del Vulture. Questa osservazione pone il problema, frequente in un clima temperato umido e ancora sconosciuto, dell'ambiguità di certi caratteri dei suoli andici e di quelli podzolici.

PAROLE CHIAVE : Suoli andici — Crittopodzolici — Rocce vulcaniche — Italia del Sud — Morfologia — Mineralogia — Proprietà fisiche e chimiche — Forme della materia organica e del fosforo — Pedogenesi — Classificazione — Capacità culturali.

SUMMARY

STUDY OF TWO ANDIC SOILS DERIVED FROM VOLCANIC ROCKS, IN SOUTHERN ITALY (MOUNTS ROCCAMONFINA AND VULTURE), WITH SOME CRYPTOPODZOLIC CHARACTERISTICS

This study extending a previous work (LULLI and BIDINI, 1978), consists in the detailed analysis of two andic soils of South Italy. They derive from some volcano-pyroclastic materials. The first part deals with the morphological, mineralogical, physical and chemical characteristics of the both soils. The second part analyses the forms and the evolution of organic matter and phosphorus. The interpretation of these data leads to hypothesis on the genesis of the both soils and then it enables the classification and the definition of their cultural aptitudes.

The both soils are under a humid-temperate climate, although they are in Mediterranean area. Meanwhile their stational conditions are different and their characteristics are distinct.

The soil of Roccamonfina is complex, because it derives from two deposits of scoria (trachandesite, latite): the top-soil is an unsaturated andic-brown soil, which is richer in allophane; at the bottom, it is an acid-brown soil, which is rich in halloysite and presents a fragipan.

The soil of Vulture derives from some trachy-basaltic ash and is under a climate which is colder and more regularly humid than soil of Roccamonfina. It seems to be a typic unsaturated melanic andosol, but it presents two discret spodic horizons (B_{21} and B_{22}). These horizons can be explained by a process of organo-mineral illuviation and also by the overlying of a new ando-podzolic soil. At the top of this soil, there is some allophane; then some imogolite appears in the spodic horizons and finally there is some halloysite at its bottom. The presence of this clay coincides with a lithologic discontinuity (scoria) and shows a different process of weathering.

The comparison of the both andic soils shows they are analogous and mark some signs of crypto-podzolisation, which is more evident in the soil of Vulture than in this of Roccamonfina. This observation puts up the problem of the ambiguity of some characteristics of andic and podzolic soils. This problem is frequent under a humid-temperate climate, but it is until now misunderstood.

KEY WORD : Andic and cryptopodzolic soils — Volcanic rocks — Southern Italy — Morphology — Mineralogy — Physical and chemical properties — Forms of organic matter and phosphorus — Pedogenesis — Classification — Land capabilities.

INTRODUCTION

Les observations portent sur deux sols des monts volcaniques de Roccamonfina et de Vulture, situés respectivement au Nord (à 60 km) et à l'Est (à 125 km) de Naples, dans le Sud de l'Italie, en climat méditerranéen. Les monts Roccamonfina et Vulture sont des appareils volcaniques explosifs, d'âge pléistocène. Mais, les formations superficielles et ultimes, dont dérivent les sols, sont probablement récentes. En altitude, le climat est très humide. Les deux facteurs précédents justifient sans doute la présence de sols andiques sur les sommets (LULLI, BIDINI, 1980). C'est la comparaison de deux de ces sols, en situation un peu différente, que nous analyserons dans cette étude.

Une observation générale des sols du Mont Vulture, puis du Mont Roccamonfina, par L. LULLI et D. BIDINI, a été présentée dans trois publications (1975, 1978, 1980). A la suite de l'excursion-débat sur les sols de Roccamonfina et de Vulture, organisée par la Société Italienne de Science du Sol et dirigée par L. LULLI (1978), et à laquelle P. QUANTIN avait été invité, une étude complémentaire (géochimie, minéralogie, formes de la matière organique et du phosphore) a été faite en collaboration par les deux chercheurs italiens de l'I.S.S.D.S., L. LULLI et D. BIDINI et deux chercheurs français de l'O.R.S.T.O.M., B. DABIN et P. QUANTIN.

Les deux profils de cette étude (Roccamonfina, R 6, et Vulture, V 3) avaient été choisis pour deux raisons : la première étant la difficulté de classer ces sols, à cause de caractères ambigus ou complexes, la seconde étant de comparer, en climat assez voisin, l'effet sur la pédogenèse de conditions stationnelles différentes.

Le sol de Roccamonfina est formé en climat un peu plus chaud et humide, sur le versant sud-ouest, et sur des lapilli scoriacés. Il présente des caractères d'andosol désaturé en haut du profil, de sols brun-acide avec fragipan en profondeur. Le sol de Vulture, en climat un peu plus froid et moins pluvieux, sur le versant nord, est formé sur des cendres plus fines et plus homogènes. Il présente des caractères de sol ando-podzolique (LULLI, BIDINI, 1980) ; mais cette interprétation prête à discussion. La présente étude se propose donc d'apporter une contribution nouvelle à la solution des problèmes concernant la caractérisation, la genèse et la classification de ces deux sols andiques.

1. ENVIRONNEMENT

1.1. Géologie

Les appareils volcaniques des monts Roccamonfina et Vulture, comme tous ceux de l'Italie du Sud,

sont d'âge pléistocène. Celui de Roccamonfina est un strato-volcan semblable au Vésuve (STANZIONE, 1978). Les produits successifs, tufs et laves leucitiques, lapilli trachytiques, laves et lapilli de latites et trachy-basaltes, ignimbrites et lahars, sont riches en silice et en éléments alcalins. La forme bien conservée et les produits peu altérés (en surface) de certains cônes de scories attestent l'âge récent des ultimes éruptions.

Le Mont Vulture, pour la majeure partie, se serait formé entre 0,8 et 0,5 MA (CORTINI, 1975). Mais, ici encore, des formes bien conservées et des produits peu altérés, indiquent des formations ultimes récentes (L. LA VOLPE, 1978). Le Mont Vulture est aussi un strato-volcan, mais de type vulcanien, avec une prédominance de produits pyroclastiques. Ces produits sont aussi alcalins : trachytes, trachy-basaltes, phonolites, téphrites. Mais, en comparaison de Roccamonfina, ils sont (en moyenne) plus pauvres en silice, plus riches en calcium et alcalins (plus Na que K), riches en phosphore, soufre et chlore, plus ferriques et moins alumineux.

En outre, les volcans très actifs de la région de Naples (Vésuve, Champs phlégréens) ont certainement contribué à recouvrir récemment d'une couche de cendres fines, les surfaces des monts Roccamonfina et Vulture les mieux protégées de l'érosion par leur manteau forestier (comm. orale du Pr. MANCINI).

1.2. Climat (d'après RAGLIONE, 1978)

Dans la région de Naples, à basse altitude, le climat est typiquement « méditerranéen » (thermic-xeric). Mais, sur les reliefs volcaniques, le climat devient rapidement plus froid et plus humide en fonction de l'altitude (M. RAGLIONE, 1978), et sans doute aussi de l'exposition. Le climat des deux stations de cette étude est le suivant :

— Roccamonfina, 6 R : altitude 750 m, versant S-O, $P = 1\ 600$ mm/an, $T_m = 11$ °C. Climat tempéré-humide (mesic, udic), versant ensoleillé.

— Vulture, 3 V : altitude 1 250 m, versant N, $P = 1\ 300$ mm/an ; $T_m = 8$ °C, Climat tempéré-froid, humide (limite frigid-mesic, udic), versant non ensoleillé.

Dans les deux stations le climat est tempéré-humide. Mais, sur le site du Vulture, il est plus régulièrement froid et humide du fait de l'altitude plus élevée et de l'exposition nord.

1.3. Végétation (d'après RICCIARDI, 1978).

Le Mont Roccamonfina présente deux zones de végétation : à moins de 500 à 600 m d'altitude, un maquis xérophytique à chêne pubescent (*Quercus*

pubescens); au-dessus une forêt mésophile à châtaignier (*Castanea sativa*), dont le caractère acidiphile est souligné en sous-bois par le genêt (*Cytisus scoparius*), la fougère-aigle, et par endroit la bruyère (*Erica arborea*). C'est dans cette zone que se trouve le profil 6 R; en sous-bois, diverses espèces de *Geranium* indiquent un sol très humifère.

Le Mont Vulture montre une végétation plus différenciée. Au-dessus de 700 à 800 m d'altitude, la végétation xérophile cède la place au boisement secondaire de châtaignier. Mais dès 800 à 900 m, jusqu'à 1 300 m, apparaît une forêt mésophile de chêne (*Quercus Cerris*) ou de hêtre (*Fagus sylvatica*): le chêne, plus thermo-xérophile, sur le versant sud; le hêtre, plus hygrophile, sur le versant nord. C'est dans cette dernière zone (au Nord et près du sommet), reboisée en sapin (*Abies alba*) que se trouve le profil 3 V; en sous-bois, la mercuriale (*Mercurialis perennis*) marque un sol moins désaturé que le précédent et une ambiance très humide.

2. CARACTÈRES MORPHOLOGIQUES (d'après L. LULLI et D. BIDINI, 1978 et 1980).

Sur les Monts Roccamonfina et Vulture les sols évoluent du piémont vers le sommet suivant deux séquences topo-climatiques. Celles-ci présentent des analogies, mais ne sont pas identiques, en raison des différences écologiques entre les deux régions.

2.1. La séquence de Roccamonfina montre successivement, de bas en haut :

— en bas-versant (400 à 600 m), versant sud, sous maquis xérophile; un sol fersiallitique, faiblement désaturé, rouge, lessivé (typic Haploxeralf);

— à mi-versant (600 à 800 m), versant sud, sous forêt mésophile de châtaignier; sol brun-acide, andique en haut du profil, à fragipan à la base (andic Fragiumbrept), qui évolue progressivement vers un andosol désaturé plus typique (typic Dystrandept), mais toujours avec progression d'argile (non illuviale) en profondeur;

— haut-versant (800 à 1 000 m), versant est, sous forêt mésophile (ambiance plus humide); andosol désaturé typique (typic Dystrandept), toujours avec un horizon plus argileux (non illuvial), mais plus en profondeur (> 1 m), et caractères cryptopodzoliques très discrets (non visibles sur le terrain, seulement au laboratoire et sur des poches de Bhs discontinu).

DESCRIPTION DU PROFIL 6 R : situé sur le mi-versant S.O., alt. 725 m, pente 20 %, dans un cratère de cône scoriacé récent, sous châtaigneraie. Les scories à la base du profil sont probablement trachy-andésitiques (latites), tandis que les

cendres supérieures seraient plus trachytiques (contenant du quartz);

- .0 - 26 cm : A₁₁ — Brun foncé (7,5 YR 3/3) humide; limono-sableux, très humifère (21 %) et quelques graviers (< 5 %); structure grumeleuse moyenne, très friable; porosité fine et moyenne; racines fines abondantes; forte activité biologique; limite irrégulière.
- 26 - 56 cm : A₁₂ — Brun-rouge foncé (5 YR 3/4), humide; limono-sableux, humifère (9 %) graveleux (15 à 35 %); structure grumeleuse ou grenue fine, friable; porosité fine et moyenne; racines fines abondantes, mais subhorizontales; limite progressive et irrégulière.
- 56 - 88 cm : B₁ — Rouge-jaunâtre (5 YR 4/8), humide; limono-sableux et graveleux (15-35 %), un peu humifère (4 %); structure polyédrique moyenne, friable; porosité fine et moyenne; peu de racines, sub-horizontales, limite irrégulière.
- 88 - 132 cm : B₂* — Rouge-jaunâtre (5 YR 4/6), humide; limono-sableux et plus graveleux (> 50 %), terre fine sensiblement plus argileuse (12 %) et moins humifère (2 %); structure polyédrique moyenne, moins friable; apparence de cutanes brillants sur les scories altérées; porosité restreinte; peu de racines; limite irrégulière.
- 132 - > 160 cm : Cx* — Brun (7,5 YR 4/4), moins humide; pierres et graviers abondants, mais altérés; terre fine limono-sableuse; structure massive indurée (silice), mais friable; rares cutanes et sesquanes (ferro-manganés); microporosité très faible; peu perméable; sans racines.

* *Remarques* : Sur le terrain, dans l'horizon B₂, le sol manifeste au toucher la présence soudaine de minéraux argileux phylliteux (halloysite, indiquée par l'analyse minéralogique). Des revêtements luisants sur les scories altérées ressemblent à des cutanes. Mais, l'examen micromorphologique (FERRARI, comm. orale, 1978), ne montre pas d'argilanes; il s'agit plutôt de produits argileux d'altération qui entourent les scories, déjà très altérées; quelques silicifications (calcédoine) commencent à apparaître. Dans l'horizon Cx, où les scories sont aussi argilifiées, on observe surtout d'importantes silicifications (calcédoine), qui expliquent le fragipan; on observe bien quelques ferri-argilanes; mais on note aussi une redistribution du fer et du manganèse (taches décolorées), qui manifeste une certaine hydromorphie. Ces remarques, si elles sont confirmées par d'autres caractères analytiques, suggèrent une relative discontinuité du profil, de sorte qu'il conviendrait de noter les horizons B₂, Cx, plutôt II B et II Cx. L'horizon Cx a une induration assez ferme pour être proche d'un duripan.

2.2. La séquence du Vulture présente schématiquement, de bas en haut :

— en piémont (500 à 600 m), en climat xérique méditerranéen, plaine à drainage ralenti, cultivée ; sol brun-eutrophe, lessivé, à caractères planique, vertique et hydromorphe dans l'horizon B, sans calcaire secondaire dans le premier mètre (Udic-vertic-Paleustoll) ;

— en bas-versant (700 à 800 m), climat de transition (udique à courte saison sèche estivale), sur tufs à inclusions calcaires (produit d'éruption « phréatique ») ; sol brun-eutrophe à caractères andiques superficiels, très humifère (andic Hapludoll) ;

— bas et mi-versant (700-900 m), régime udique avec courte saison sèche estivale, sous forêt mésophile (châtaignier, chêne), et sur tufs et lapilli non carbonatés ; sol brun andique désaturé (andic Haplumbrept) ;

— haut-versant, surtout si exposé au nord (800-1 200 m), climat tempéré régulièrement humide et plus froid, forêt mésophile de chêne ou de hêtre, sur cendres et lapilli ; andosol désaturé typique, sans accroissement argileux sur le premier mètre (typic Dystrandepts) ;

— sommet, versant nord (1 200 à 1 300 m), climat tempéré froid et régulièrement humide, forêt de hêtre (ou sapin), sur cendres et lapilli ; andosol désaturé très humifère (typic-hydric Dystrandepts), avec des caractères cryptopodzoliques très discrets (presqu'imperceptibles sur le terrain, mais au laboratoire → affinités avec Haplohumods).

DESCRIPTION DU PROFIL 3 v : situé près du sommet du cratère, versant N., alt. 1 250 m, pente modérée, sous sapin ; dérivant d'un dépôt épais de cendres trachybasaltiques noires, sur un lit de scories brunes très altérées.

- 2 - 0 cm : O₂ — Litière d'aiguilles de sapin peu altérées.
- 0 - 12 cm : A₁₁ — Noir (5 YR 2/1), humide ; limono-sableux et très humifère (27 %) ; structure grumeleuse très fine (farineuse) et très friable ; très poreuse (faible densité) ; lit de sables lavés, isolés, sous la litière (de quelques mm) ; racines fines très abondantes ; activité biologique intense ; transition nette et limite irrégulière.
- 12 - 33 cm : A₁₂ — Brun très foncé (7,5 YR 2,5/2), humide ; limoneux et très humifère (22 %) ; structure grenue très fine (farineuse) et très friable ; très microporeuse (faible densité) ; quelques grains de sables lavés ; racines fines et moyennes abondantes ; transition distincte, limite irrégulière.

33 - 50 cm : A₃ — Brun foncé (10 YR 3/3), humide ; limoneux et humifère (12 %) ; structure grenue fine, très friable ; microporosité importante (faible densité) ; racines éparses tendant à s'orienter horizontalement ; faible activité biologique. Transition graduelle et limite irrégulière.

50 - 80 cm : B₂₁* — Brun plus foncé (7,5 YR 3/2), humide ; limono-sableux et plus humifère (15 %) ; quelques graviers (1-5 %) ; structure d'aspect massif, peu fragmentaire (prismatique fine), friable ; quelques revêtements plus foncés (organs) ; microporosité importante (faible densité) ; racines éparses, presque horizontales ; faible activité biologique ; limite diffuse, ondulée.

80 - 140 cm : B₂₂ — Brun-rougeâtre très foncé (5 YR 2,5/1,5), humide ; limono-sableux et humifère (10 %), un peu graveleux (5-15 %) ; structure d'aspect massif, peu fragmentaire (prismatique fine), friable ; microporosité importante (faible densité) ; revêtements peu apparents (de même couleur) à la surface des agrégats ; racines moyennes éparses ; activité biologique faible ; limite irrégulière.

140 à > 160 cm : C* — Brun foncé (10 YR 4/3), humide ; lapilli scoriacés très altérés ; terre fine sablo-limoneuse, mais présence d'argile phylliteuse plus évidente au toucher ; peu humifère (1 %) ; compact et densité plus élevée.

B₂₁* Sur le terrain il n'est pas évident que B₂₁ est un B spodique. Seule l'analyse chimique semble l'indiquer. Certains pensaient à un horizon A₁ enterré.

C* L'horizon C a été peu observé ; mais le changement de matériau (plus grossier), son degré d'altération accentué et l'apparition nette de minéraux argileux phylliteux (halloysite d'après la minéralogie) peuvent faire penser à une discontinuité du matériau originel ; il conviendrait, si l'analyse le confirme, de noter cet horizon plutôt II C.

3. CARACTÈRES DES CONSTITUANTS MINÉRAUX

Ce chapitre comporte l'analyse minéralogique des constituants minéraux, leurs caractères physiques et leurs caractères chimiques. Certains des résultats ont été publiés précédemment (LULLI et BIDINI, 1978 et 1980). Ils ont été complétés pour la présente étude.

La composition minérale des sols a été acquise successivement par plusieurs méthodes : l'analyse minéralogique qualitative des minéraux primaires et secondaires ; l'analyse chimique élémentaire sur

le sol global < 2 mm, analyse totale par fusion, analyse des produits d'altération sur l'extrait triacide; l'analyse semi-quantitative des produits « amorphes » et crypto-cristallins; l'analyse des formes « libres » et complexées du fer et de l'alumine. Par déduction successive, il est possible de calculer approximativement la part revenant aux minéraux primaires de celle des minéraux secondaires. Puis, parmi les produits « amorphes » et crypto-cristallins, on estime la part revenant aux silicates paracristallins, allophane et imogolite. Ceux-ci sont calculés sur la base de la silice rapidement soluble par HCl (2N), que nous attribuons à l'allophane et à l'imogolite (QUANTIN, 1975). On en déduit la part non-allophanique de l'alumine, c'est-à-dire l'alumine libre, complexée ou non. L'alumine et le fer « libres » (extrait dithionite) ont été distingués de l'alumine et du fer « complexés » (extrait pyrophosphate).

3.1. Minéralogie

Cette étude a été précédée d'autres travaux. D'une part, ceux de VIOLANTE et collaborateurs : VIOLANTE (communication orale de 1978), sur la composition minérale des sols volcaniques d'Italie du Sud; FARMER *et al.*, 1978, sur la proto-imogolite dans les andosols; VIOLANTE et TAIT (1979), qui ont identifié l'imogolite dans les andosols de Vulture. D'autre part, les observations en microscopie optique de FERRARI (communication orale, 1978), notamment sur la présence de calcédoine dans le sol de Roccamonfina.

3.1.1. MÉTHODOLOGIE

Nous avons repris et complété ces analyses par les méthodes suivantes : diffraction de rayons X sur poudre de sol < 2 mm et sur la fraction < 2 μ orientée (normale, glycérolée, chauffée à 100 et à 500 °C). L'imogolite a été déterminée par microscopie électronique à transmission, par sa forme fibreuse et par ses raies de microdiffraction. Les quantités approximatives d'allophane et d'imogolite ont été calculées, partant des taux de silice « amorphe » obtenus par l'analyse chimique, sur la base des formules théoriques : 2SiO_2 , Al_2O_3 , $3\text{H}_2\text{O}$ pour l'allophane et SiO_2 , Al_2O_3 , $2\text{H}_2\text{O}$ pour l'imogolite (cf. SUDO et SHIMODA, 1978 et voir le paragraphe suivant — Caractères chimiques). L'apatite a été estimée d'après l'analyse chimique élémentaire totale et l'analyse des formes du phosphore (cf. 2^e partie). La proportion des minéraux bien cristallisés a été estimée approximativement d'après la hauteur relative de la raie principale de ces minéraux, dans la poudre de sol total pour les minéraux primaires, et dans la fraction < 2 orientée pour les minéraux secondaires.

3.1.2. RÉSULTATS

(a) Profil de Roccamonfina (6 R)

— Sol < 2 mm global (tabl. I)

La partie supérieure du sol (A_{11} , A_{12} et B_1) contient presque autant de minéraux primaires peu altérables, ou peu altérés, que de produits d'altération. Les minéraux primaires comprennent surtout des feldspaths, du quartz et des micas. Le quartz, assez abondant, ne représente cependant pas plus de 10 % du sol. Les feldspaths prédominent; ils comportent de la sanidine et des plagioclases calco-alcalins (oligoclase?); la sanidine semble plus fréquente. Les micas sont peu abondants (~ 5 %) et altérés. Il y a aussi des traces de pyroxènes et de magnétite. Dans la fraction altérée, la présence d'argiles et de goéthite est évidente. Les argiles comportent de l'halloysite-métahalloysite et de l'illite « ouverte », ainsi que des argiles à 10-14 et 14 Å. La proportion d'halloysite et d'argile à 14 Å augmente en B_1 . Mais il n'y a que peu de produits « allophaniques » (< 3 %).

La partie inférieure du sol (B_2 et Cx) manifeste une brusque diminution des minéraux primaires, surtout du quartz (< 5 %), qui disparaît presque en Cx, où il apparaît plus de magnétite. On observe surtout le rapide accroissement des minéraux argileux, surtout de l'halloysite (à 10 Å), l'apparition de calcédoine en Cx et la disparition totale des produits « allophaniques ».

(b) Fraction < 2 μ (tabl. II)

Cette fraction manifeste, dans tout le profil, l'abondance des minéraux argileux, parmi lesquels prédomine l'halloysite. Celle-ci est moins abondante et en partie déshydratée dans les horizons humifères. Elle s'accroît brusquement dans l'horizon B_2 et encore plus en Cx. Les argiles 2:1 ne représentent que 20 à 30 % des minéraux argileux; elles comportent surtout de l'illite « ouverte » et des argiles dérivées I-M, I-C, ainsi qu'un peu de smectites en A_{11} , A_{12} ou plutôt de vermiculite en B_1 , B_2 . La goéthite est bien nette et représente près de 10 à 15 % de la fraction < 2 μ . On note aussi des traces de magnétite dans tout le profil, des traces infimes de kaolinite près de la surface et de gibbsite dans le B_1 . On n'observe que des traces d'allophane et pas d'imogolite (bien que VIOLANTE, 1978, en ait vu des traces en B_1 et B_2 ?). On remarque que l'halloysite est surtout en tubes très fins et qu'elle présente des micro-glomérules, en petite quantité seulement, dans la partie supérieure du profil.

Une variation minéralogique plutôt brusque entre les parties supérieure et inférieure du profil, marquée par la diminution du quartz, la disparition de l'allophane et de la forme glomérulaire de l'halloysite, et l'augmentation rapide de l'halloysite (tubulaire),

suggèrent en même temps une discontinuité dans les dépôts volcaniques et un âge plus récent du sol superficiel. La silicification et l'argilification plus poussée dans l'horizon Cx pourrait aussi confirmer l'effet du rajeunissement du sol superficiel.

(b) *Profil du Vulture (3 V)*

— Sol < 2 mm (tabl. I)

La majeure partie du sol, des horizons A₁₁ à B₂₂, a une composition assez homogène, avec de faibles

variations dans la proportion des feldspaths (potassiques et calco-sodiques). Les minéraux primaires insolubles ou peu altérés représentent plus de 35 % du sol (comme la partie supérieure du sol de Roccamonfina). La fraction altérée est en grande partie « amorphe » (au contraire de Roccamonfina) et ne montre que des traces infimes d'argiles (halloysite, illite, etc.) et d'oxy-hydroxydes (goethite, gibbsite). Parmi les minéraux primaires, le quartz n'est qu'en très faible quantité (< 5 %). Les

TABLEAU I
Composition minéralogique du sol < 2 mm

	Minéraux primaires							Minéraux secondaires							
	F Sa	P	Q	Ma	Am	Op	Ap	All (Im)	H (K)	Io	I-X	14	Go (Hé)	Gi	Si
Roccamonfina							0,04								
6R-A.11-A.12	++ +	ε	++	tr		ε	0,05	3	+	+	tr	tr	+		
B.1	++ tr	ε	++	tr			0,07	2	+	+	tr	+	+		
II B.2	++ tr		+	tr			0,035	0,3	++	+	tr	+	+	ε	tr
II Cx	++ tr		tr	+			0,02	tr	+++	+	tr	+	+		+
Vulture															
3V-A.11	++ +	tr	+	tr			0,48	5	ε	tr					
A.12	++ +	tr	+	tr			0,43	6	ε	tr	ε			ε	
A.3	++ +	tr	+	tr			0,43	11	ε	tr			tr		
B.21	++ +	tr	+	tr	ε		0,54	14	tr	tr	ε		tr		ε
B.22	++ +	tr	+	tr			0,47	19	tr	tr	ε	ε	ε	ε	
II C	+ tr	+	tr	+			1,03	7	+	ε	ε		tr		

F = feldspaths. S = sanidine. Pl = plagioclase. P = Clino-pyroxènes. Q = quartz. Ma = magnétite. Am = amphibole. Op = orthopyroxène ? All-Im = produits « amorphes », allophane-(imogolite). Io = micas altérés. I-X = interstratifié 10-14 Å. 14 = argile à 14 Å. Go(Hé) = goethite (hématite). Gi = gibbsite ? Si = calcédoine, opale. + = un peu ++ = abondant +++ = très abondant. tr = traces (< 5 %). ε = micro-traces. All(Im) = quantités approximatives en % du sol < 2 mm. Ap = apatite en % du sol

feldspaths prédominant largement ; ils comportent apparemment plus de sanidine que de plagioclase (oligoclase?). Il y a très peu de micas, déjà altérés, et de magnétite. On note des traces d'amphibole (hornblende?) en B₂₁. La quantité de produits « allophaniques » et de gels d'hydroxydes augmente progressivement des horizons A à B₂₂. Mais la définition des minéraux argileux s'améliore très peu. On note la présence plus nette de goethite dans les horizons A et B₂₁.

L'horizon C montre un brusque changement, qui se manifeste par la diminution sensible des minéraux inaltérés (~ 28 %) ; ceci est dû principalement à la quasi-disparition du quartz et des micas et à une plus grande altération des plagioclases. Mais on note une présence plus nette de pyroxènes et de magnétite. L'analyse chimique suggère aussi un accroissement sensible de l'apatite (~ 1 % au lieu

de 0,4 à 0,5 % dans le haut du profil). En contrepartie les produits « allophaniques » décroissent subitement tandis que de l'halloysite apparaît nettement, en petite quantité. Ces faits suggèrent une discontinuité lithologique et simultanément un temps d'altération plus long dans l'horizon « C » que dans le reste du sol.

Fraction < 2 μ (tabl. II)

Dans la majeure partie du sol (A₁₁ à B₂₂), les produits « amorphes » ou cryptocristallins représentent près de 80 à 90 % de la fraction < 2 μ. L'allophane prédomine d'abord dans les horizons A, où l'on n'observe que des traces de gel fibreux (proto-imogolite de FARMER, 1978). Dès l'horizon B₂₁ ces gels fibreux augmentent et en B₂₂ l'imogolite devient largement prédominante et bien définie (par des raies de micro-diffraction électronique).

TABLEAU II
Composition minéralogique de la fraction $< 2 \mu$

	A . Im	H . mH . K	Io . I-M . I-C	M . V	Go(Hé) . Ma	Si	Gi
Roccamonfina							
6R-A.11-A.12	1	4 tr	1 1 tr	1	1,5 tr		
B ₁	1 tr	4,5 tr	1 0,5	0,5 1	1,5 tr	tr	tr
II B ₂	tr tr	6 tr	0,5 0,5	0,5 1	1,5 tr	tr	
II Cx	tr	7,5	0,5 tr 0,5	0,5 tr	1 tr	tr	
Vulture							
3V-A.11-A.12	9 tr	tr	0,5	tr	0,5		
A.3	9 tr	tr	0,5	tr	0,5 tr		
B.21	7 1,5	0,5	0,5	tr	0,5 tr	tr	
B.22	4 4,5	0,5 tr	0,5	tr	tr 0,5	tr	tr
II C	3,5	5	0,5	tr	0,5 0,5		

A = allophanes (+gels). Im = imogolite (+proto-imogolite). H = halloysite (10 Å). mH = métahalloysite. K = kaolinite. Io = mica altéré I-M = illite-smectite. I-C = illite-chlorite. M = smectite. V = vermiculite. Go(Hé) = goethite (+hématite). Ma = magnétite (+maghémite). Si = opale+calcédoine. Gi = gibbsite, norstrandite. tr. = traces ; $0,5 \simeq 5 \%$; $1 \simeq 10 \%$; $1,5 \simeq 15 \%$; $2 \simeq 20 \%$, etc.

Des minéraux argileux sont cependant toujours présents en petite quantité (~ 5 à 10%). Il s'agit surtout d'illite et argiles dérivées (à 10-14 et 14 Å). On observe toujours des traces d'halloysite, en tubes et glomérules très fins ($< 0,1 \mu$), et d'infimes traces de micro-kaolinite ; l'halloysite glomérulaire semble un peu plus nette dans les horizons B. De la goethite n'est nettement visible ($\sim 5 \%$) que dans les horizons A₃ et B₂₁, puis n'est plus qu'en traces en B₂₂. On note aussi des traces infimes de gibbsite en B₂₂ et d'organismes siliceux (diatomée?) en B₂₁.

Dans l'horizon C, la quantité de minéraux argileux

augmente très sensiblement. Il s'agit surtout d'halloysite (10 Å) ; par contre la proportion d'argiles illitiques ou à 14 Å diminue. La goethite réapparaît en quantité notable (5 %) ainsi que de la magnétite (titanifère).

3.2. Caractères physiques

3.2.1. GRANULOMÉTRIE, DENSITÉ APPARENTE (tabl. III)

La granulométrie a été faite sur sol $< 2 \text{ mm}$, séché à l'air, après traitement par H_2O_2 , dispersion à l'aide de l'hexamétophosphate de sodium, et

TABLEAU III
Granulométrie, densité apparente

PROFIL Echantillons	Profondeur cm	Densité apparente g/cc	Sables 2000 - 50 μ %	Limons 50 - 2 μ %	argiles < 2 μ %
ROCCAMONFINA					
6 R A ₁₁	0 - 26	0,58	67,6	23,6	8,8
" A ₁₂	26 - 56	-	75,2	17,1	7,7
" B ₁	56 - 88	-	67,9	23,6	8,5
" II B ₂	88 - 132	-	65,2	23,3	11,5
" II Cx	132 - 160	-	72,1	15,6	12,3
VULTURE					
3 V A ₁₁	0 - 12	0,54	52,4	38,1	9,5
" A ₁₂	12 - 33	0,57	46,3	42,0	11,7
" A ₃	33 - 50	0,63	59,0	34,5	6,5
" B ₂₁	50 - 80	0,67	70,5	25,7	3,8
" B ₂₂	80 - 140	0,62	66,4	28,4	5,2
" II C	140 - 160	0,98	76,1	17,2	6,7

détermination des fractions limon (2-50 μ) et argile (< 2 μ) par la méthode « pipette » de ROBINSON.

(a) *Profil de Roccamonfina (6 R)*

Les résultats indiquent un sol très sableux et une texture limono-sableuse dans l'ensemble du profil. L'accroissement du taux d'argile, de 8 % dans les horizons humifères à 12 % dans les horizons B₂ et Cx, paraît faible. En réalité, les valeurs obtenues pour la fraction < 2 μ , et même 2-50 μ , sont probablement bien inférieures à celles que laissent prévoir les analyses chimiques et minéralogiques, la quantité d'argiles étant au moins deux fois plus grande en B₂ et Cx qu'en A₁₁ et A₁₂.

La faible densité (0,6) dans l'horizon humifère, confirme le caractère « andique » du sol superficiel.

(b) *Profil Vulture (3 V)*

Les résultats montrent encore un sol riche en sables, quoique plus limoneux dans les horizons humifères et plutôt sablo-limoneux dans les horizons B. En réalité les faibles taux d'argile, surtout dans les horizons B s'expliquent par une très mauvaise dispersion de la fraction colloïdale, particulièrement riche dans ce cas en allophane et en imogolite. Ces résultats ne sont donc pas valables ; il aurait fallu utiliser une dispersion en solution acide (pH 3) et une agitation par ultra-sons.

Les faibles densités apparentes (0,5 à 0,7) dans

l'ensemble du sol caractérisent bien un andosol. La valeur plus élevée (~ 1) en C, marque la discontinuité déjà notée à ce niveau du profil.

3.2.2. CAPACITÉ DE RÉTENTION EN EAU (tabl. IV)

Les valeurs de rétention en eau ont été mesurées sous une pression de 1/3 bar (pF 3) = capacité de rétention au champ, et sous une pression de 16 bars (pF 4,2) = point de flétrissement. Les mesures ont été faites sur sol < 2 mm séché à l'air et sur sol conservé humide. Mais il semble que le sol a été partiellement déshydraté, ce qui fausse la valeur du taux de déshydratation irréversible (taux Δ).

(a) *Roccamonfina (6 R)*

Les valeurs de la capacité de rétention en eau et du point de flétrissement sont plutôt élevées en regard du taux d'argile ; ce qui semble confirmer le caractère andique de ce sol. Ces valeurs sont assez régulières dans tout le profil, s'accroissant légèrement dans le sol superficiel en proportion de l'enrichissement en humus et en allophane. Cependant le faible taux de déshydratation irréversible n'est pas caractéristique d'un andosol. La réserve d'eau « utile » est modérée (9 à 12 % du sol sec).

(b) *Vulture (3 V)*

Les valeurs de la capacité de rétention en eau

TABLEAU IV

Capacité de rétention en eau à pF 3 (1/3 bar) et pF 4,2 (16 bars) sur sol humide et sol séché à l'air

Echantillons	H ₂ O pF 3 %				H ₂ O pF 4,2 %				H ₂ O utile % pF 3 - pF 4,2 humide
	Humide	sec	Δ	taux Δ	Humide	sec	Δ	taux Δ	
<u>Roccamonfina</u>									
6 R A.11	46,3	44,5	1,8	3,9	34,4	32,3	2,1	6,1	11,9
A.12	44,5	43,4	1,1	2,5	33,9	31,4	2,5	7,4	10,6
B.1	44,2	42,6	1,6	3,6	33,0	30,5	2,5	7,6	11,2
II B.2	41,1	38,9	2,2	5,4	32,0	30,0	2,0	6,7	9,1
II Cx	39,0	38,6	0,4	1,0	32,8	28,3	4,5	13,7	6,2
<u>Vulture</u>									
3 V A.11	55,3	51,0	4,3	8,0	43,5	42,0	1,5	3,4	11,8
A.12	50,1	45,9	4,2	8,4	42,5	41,1	1,4	3,3	7,6
A.3	55,3	46,0	9,3	16,8	45,8	39,2	6,6	14,4	9,5
B.21	53,2	43,8	9,4	17,7	44,3	37,5	6,8	15,3	8,9
B.22	60,2	46,8	13,4	22,3	49,1	36,9	12,2	24,8	11,1
II C	34,3	30,2	4,1	12,0	26,7	21,4	5,3	19,9	7,6

NB : résultats en % sol sec à 105 °C ; Δ = valeur sol humide — valeur sol sec ; taux $\Delta = \frac{\Delta \times 100}{\text{pF sol humide}}$; H₂O utile = pF₃ — pF_{4,2} sur sol humide

TABLEAU V
Analyse chimique élémentaire globale du sol < 2 mm

Profil	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	MnO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Perte au feu (1000°C)	SiO ₂ Al ₂ O ₃ mol.	SiO ₂ R ₂ O ₃ mol.
Echantillons	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
Roccamonfina													
6R A11	43,12	23,20	7,92	1,36	0,45	0,20	1,32	2,67	0,86	0,20	17,00	3,16	2,60
6R A12	45,38	24,25	8,42	1,46	0,40	0,16	1,29	2,75	0,91	0,20	13,30	3,18	2,60
6R B1	46,46	25,29	8,10	1,28	0,37	0,18	1,23	2,64	0,93	0,18	11,81	3,12	2,59
6R B2	46,91	27,39	9,04	1,19	0,31	0,13	1,12	2,13	0,91	0,13	9,93	2,91	2,40
6R Cx	46,91	27,94	9,07	1,06	0,38	0,11	1,31	2,17	0,91	0,13	9,81	2,85	2,36
Vulture													
3V A11	39,07	16,34	6,11	2,46	2,02	0,14	1,18	2,01	0,76	0,61	25,60	4,06	3,28
3V A12	41,23	19,00	6,84	2,58	1,96	0,18	1,24	2,15	0,84	0,63	19,70	3,69	3,00
3V A3	40,81	19,90	6,76	2,22	1,56	0,21	1,41	2,10	0,81	0,65	19,50	3,49	2,87
3V B21	40,03	20,24	7,67	2,61	1,97	0,22	1,20	1,61	0,97	0,88	18,62	3,36	2,71
3V B22	40,37	21,10	7,61	2,55	1,93	0,21	1,30	1,60	0,92	0,70	18,10	3,25	2,64
3V C	43,32	22,15	11,54	3,57	3,21	0,21	0,57	0,52	1,46	0,68	9,61	3,32	2,50

TABLEAU VI
Analyse chimique élémentaire de la fraction altérée du sol < 2 mm

Profil	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	MnO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	SiO ₂ Al ₂ O ₃ mol.	SiO ₂ R ₂ O ₃ mol.	Résidu	Perte au feu
Echantillons	%	%	%	%	%	%	%	%			%	%
Roccamonfina												
6R A11	18,4	18,3	7,50	1,02	0,18	0,20	0,26	0,70	1,71	1,35	33,80	17,00
6R A12	20,3	19,3	8,0	1,08	0,12	0,16	0,26	0,57	1,79	1,41	34,40	13,30
6R B1	23,4	20,8	7,8	1,01	0,15	0,18	0,27	0,66	1,91	1,54	31,40	11,81
6R B2	28,7	23,5	8,8	1,01	0,12	0,13	0,28	0,52	2,07	1,67	25,20	9,93
6R Cx	29,3	23,5	8,8	0,87	0,15	0,11	0,33	0,39	2,11	1,70	25,60	9,81
Vulture												
3V A11	16,6	12,5	5,0	1,32	0,87	0,14	0,44	0,99	2,25	1,79	31,60	25,60
3V A12	16,7	14,3	5,8	1,39	0,75	0,18	0,35	0,82	1,99	1,58	35,20	19,70
3V A3	15,8	14,8	5,8	1,22	0,68	0,21	0,34	0,63	1,82	1,45	35,70	19,50
3V B21	15,7	15,8	6,4	1,22	0,71	0,22	0,38	0,47	1,69	1,34	35,00	18,62
3V B22	16,0	16,5	6,3	1,16	0,68	0,21	0,41	0,44	1,65	1,32	35,20	18,10
3V C	24,2	19,8	9,5	1,55	1,50	0,21	0,26	0,36	2,08	1,59	28,10	9,61

et du point de flétrissement sont encore plus élevées que précédemment et caractéristiques d'andosols des pays tempérés. Ces valeurs augmentent dans l'horizon B₂₂, le plus riche en produits « allophaniques ». Les taux de déshydratation irréversible sont aussi plus élevés que précédemment, surtout dans les horizons B (15 à 25 %). Cependant ces valeurs sont loin de caractériser un andosol perhydraté (peut-être à cause d'une dessiccation partielle des échantillons). Ce que semble confirmer la valeur plutôt modérée du taux d'eau utile (9 à 12 %). La discontinuité entre l'horizon « C » et le sol est bien marquée par une forte diminution de la rétention en eau et du taux de déshydratation irréversible.

3.3. Caractères chimiques

3.3.1. COMPOSITION CHIMIQUE ÉLÉMENTAIRE TOTALE

L'analyse du sol < 2 mm a été faite successivement sur un extrait global par dissolution totale avec les acides HF, HNO₃, puis dissolution partielle de la fraction altérée (plus la magnétite) par « triacide » (HNO₃, HCl, H₂SO₄) ; les dosages élémentaires ont été obtenus par spectrophotométrie d'absorption atomique et d'autres méthodes colorimétriques couplées avec un auto-analyseur. La composition du résidu de minéraux primaires, insolubles par « triacide », a été déduite par différence.

(a) Profil Roccamonfina (6 R)

La comparaison de la composition élémentaire globale (tabl. V) à celle de la fraction altérée (tabl. VI) et du résidu (tabl. VII) montre les faits suivants :

1. Le sol est enrichi en alumine et en fer par rapport à une roche-mère de type latite ou trachy-andésite. Mais il contient encore beaucoup de bases (surtout K₂O, Na₂O et MgO), et donc de minéraux primaires altérables.

2. Le taux de résidu (minéraux les moins altérables), de 35 % environ dans le haut du sol, décroît brusquement à 25 % à sa base (B₂ et Cx) ; cela marque que le sol est moins altéré, donc plus récent, dans la partie supérieure que dans la partie inférieure.

3. La composition du résidu, riche en silice et en éléments alcalins (surtout K₂O), confirme la part importante du quartz, de feldspath potassique et de muscovite, et la faible part des minéraux ferro-magnésiens et calciques (biotite, plagioclases, pyroxènes). La brusque diminution de la silice, indépendamment des autres éléments, dans les horizons B₂ et Cx, souligne la forte baisse du quartz, donc une discontinuité lithologique dans le matériau originel.

4. La composition de la fraction altérée est riche en alumine et en oxydes de fer. Les rapports molaires : SiO₂/Al₂O₃ ~ 1,7 à 2,1 et SiO₂/R₂O₃ ~ 1,4 à 1,7, sont assez voisins de ceux de sols ferrallitiques riches en kaolinite. Dans la fraction < 2 µ de l'ensemble du sol prédominant en effet l'halloysite et la goéthite. Mais il y a encore beaucoup de K₂O et MgO, qui s'expliquent par l'importance de micas et d'argiles qui en sont dérivées dans cette même fraction, et marquent le caractère juvénile de l'altération en cours. La diminution du taux de bases en profondeur montre bien que l'altération y est plus avancée.

5. Le rapport moléculaire SiO₂/Al₂O₃ s'accroît de la surface à la base du sol, à l'inverse du degré d'altération ; ce qui peut paraître curieux. Mais, silice et alumine augmentent en même temps. En B₂ le rapport atteint près de 2, en conformité avec un net développement de l'halloysite. En Cx, ce rapport est de 2,1, simultanément avec le développement de la calcédoine. Le processus actuel d'altération dans la partie supérieure du sol, qui y produit une désilicification intense, induit donc l'argilification en halloysite et même une silicification dans la partie inférieure, et cependant plus altérée.

(b) Profil Vulture (3 V)

Comme précédemment, la comparaison des résultats (tabl. V, VI et VII) montre les faits suivants :

1. Relativement au sol de Roccamonfina, le sol du Vulture est, quoique moins siliceux, moins riche en alumine et en oxyde de fer, et plus riche en bases, surtout CaO et MgO, et en phosphore. Cela peut signifier que le sol du Vulture est moins altéré et surtout que son matériau originel est plus basique, proche d'un trachy-basalte. Dans l'horizon C, l'accroissement brusque des oxydes de fer et de titane, de calcium et de magnésium, et la « chute » des alcalins suggèrent un matériau encore plus basique, et donc une discontinuité lithologique. Alors que l'origine de la partie supérieure du sol semble homogène.

2. Le taux de minéraux résiduels peu solubles est encore très important, environ 35 %. Mais la brusque diminution, à 28 %, dans l'horizon C, souligne la discontinuité du matériau et marque peut-être une altération plus avancée.

3. La composition du résidu montre une part plus importante (qu'à Roccamonfina) des minéraux ferro-magnésiens et calciques (pyroxènes, plagioclases) facilement altérables, et la diminution relative du quartz et des minéraux potassiques (sanidine, muscovite). Ceci s'accuse nettement dans l'horizon C. Le sol du Vulture dérive donc bien d'un matériau plus basique ; en outre il semble moins altéré (plus de minéraux facilement altérables).

TABLEAU VII

Analyse chimique élémentaire du résidu « triacide » de sol < 2 mm, en % du sol

Profil Echantillons	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	MnO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	Résidu	SiO ₂ Al ₂ O ₃ mol.	SiO ₂ R ₂ O ₃ mol.
6R A11	24,74	4,95	0,42	0,34	0,27	0,005	1,06	1,97	33,8	8,50	8,06
6R A12	25,06	5,00	0,42	0,38	0,28	0,005	1,03	2,18	34,4	8,52	8,09
6R B1	23,04	4,54	0,35	0,27	0,22	0,005	0,96	1,98	31,4	8,63	8,22
6R B2	18,19	3,89	0,29	0,18	0,19	0,005	0,84	1,56	25,2	7,95	7,59
6R Cx	17,61	4,44	0,32	0,19	0,23	0,005	0,98	1,78	25,6	6,74	6,45
3V A11	22,47	3,84	1,11	1,14	1,15	0,005	0,74	1,02	31,6	9,95	8,40
3V A12	24,53	4,75	1,09	1,19	1,21	0,005	0,89	1,33	35,2	8,78	7,66
3V A3	24,98	5,15	1,01	1,00	0,88	0,005	1,07	1,47	35,7	8,25	7,33
3V B21	24,36	4,49	1,27	1,39	1,26	0,005	0,82	1,14	35,0	9,22	7,81
3V B22	24,33	4,60	1,31	1,39	1,25	0,005	0,89	1,16	35,2	8,99	7,61
3V C	19,04	2,40	2,04	2,02	1,71	0,005	0,31	0,16	28,1	13,49	8,75

* fraction insoluble dans les acides

TABLEAU VIII

Analyse des produits minéraux « amorphes » ou crypto-cristallins très solubles et du fer « libre »

Profil Echantillon	Méthode	Produits amorphes, cryptocristallins, très solubles (%)								Fer soluble par DEB (4)				Hydroxydes amorphes (5) non-allophaniques	
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Somme	SiO ₂ Al ₂ O ₃ mol.	All. + Im.	Al ₂ O ₃ all.	Al ₂ O ₃ libre	Fe ₂ O ₃ a	% b	Fe libre Fe tot. a	b	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Roccamonfina 6 R - A.11	1	0,8	12,0	1,4	14,2	0,11				2,40	3,35	30,3	42,3	7,9	0,65
	2	0,9	4,1	0,75	5,75	0,37	~ 2,5	~ 1,15	~ 2,95						
	A.12	1,8	13,0	1,25	16,05	0,24				2,80	4,00	33,3	47,5	9,1	0,4
	2	1,4	3,9	0,85	6,15	0,61	~ 3,9	~ 1,8	~ 2,10						
	B.1	0,3	10,8	1,3	12,4	0,05				2,80	4,15	34,6	51,2	7,45	0,4
	2	0,75	3,35	0,9	5,0	0,38	~ 2,1	~ 0,95	~ 2,40						
	B.2	0	0	0	-	-				2,40	3,80	26,5	42,0	-	-
	2	0,1	0,6	0,2	0,9	0,28	~ 0,3	~ 0,15	~ 0,45						
	C.x	0	0	0	0	-				1,80	3,60	19,9	28,7	-	-
	3	0,95	0,95	-	1,8	1,7	0,0	0,0	~ 0,50						
Vulture 3 V - A.11	1	2,9	13,5	1,05	17,45	0,37				1,30	1,30	21,3	21,3	8,15	0,2
	2	1,7	5,35	0,85	7,9	0,54	~ 5,4	~ 2,4	~ 2,90						
	A.12	3,5	18,55	1,65	23,7	0,32				2,00	2,30	29,2	33,6	11,75	0,4
	2	2,2	6,8	1,25	10,25	0,55	~ 6,2	~ 2,8	~ 3,40						
	A.3	3,6	18,95	1,60	24,2	0,32				2,10	2,95	31,1	43,6	12,70	0,3
	2	4,05	6,25	1,3	11,6	1,10	~ 11,4	~ 5,15	~ 1,10						
	B.21	1,75	8,0	1,65	11,4	0,37				2,10	2,75	27,5	35,9	1,95	0,25
	2	4,85	6,05	1,4	12,3	1,36	~ 13,5	~ 6,0	~ 0						
	B.22	4,3	10,55	2,3	17,15	0,69				2,05	2,70	26,9	35,5	2,05	0,8
	2	6,6	8,5	1,5	16,6	1,32	~ 18,7	~ 8,45	~ 0						
II C	1	0,6	4,0	1,3	5,9	0,26				1,40	1,95	12,1	16,9	0,85	0,5
	2	2,9	3,15	0,8	6,85	1,57	~ 7,5	~ 3,1	~ 0						

NB : Résultats en % sol séché à 105 °C

Méthodes (1) HCl (4N), NaOH (0,5 N) à 25 °C (SEGALEN, modifié QUANTIN et LAMOUROUX, 1974).

(2) HCl (2 N) (QUANTIN, 1975). (3) NaOH (0,5 N) à 25 °C

(4) DEB, Na-dithionite. a, 1^{er} extrait après 30' ; b, Fe₂O₃ très soluble d'après courbe sur 6 extractions

(5) Différence méthodes 1 et 2

Les valeurs des rapports molaires $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ et $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ plus élevées dans l'ensemble du profil du Vulture le confirment.

4. La composition de la fraction altérée est encore fort enrichie en alumine et en oxydes de fer. Les rapports molaires $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 \sim 1,7$ à $2,1$ et $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3 \sim 1,3$ à $1,6$ dans les horizons A_{12} à C, attestent une désilicification importante des produits d'altération. Ici, cela correspond à un mélange de produits « allophaniques » et de gels d'hydroxydes. On remarque une petite anomalie ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ mol.} = 2,25$) dans l'horizon A_{11} , un peu plus riche en muscovite, peut-être légèrement rajeuni par des cendres volcaniques. On observe une diminution progressive des mêmes rapports molaires, des horizons A aux horizons B. Mais, plutôt qu'une désilicification croissante, les chiffres suggèrent un enrichissement en oxydes d'alumine et de fer, d'où la genèse préférentielle d'allophane dans les horizons A et d'imogolite dans les horizons B (surtout B_{22}). Dans l'horizon C, moins perméable et plus anciennement altéré, comme à Roccamonfina, l'effet de la re-silicification est attesté par la remontée brusque du rapport molaire $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (de $1,65$ à $2,08$). Ceci à nouveau favorise la genèse d'halloysite ; mais à Vulture, en climat plus régulièrement humide, on n'observe plus de silicifications secondaires (calcédoine).

3.3.2. ANALYSE DES PRODUITS « AMORPHES » OU CRYPTO-CRISTALLINS (tabl. VIII)

La détermination semi-quantitative des produits « amorphes » et crypto-cristallins, exprimés en pour cent de Al_2O_3 , Fe_2O_3 et SiO_2 , a été conduite selon la méthode d'analyse de la cinétique de dissolution de SEGALIN (1968), modifiée par QUANTIN et LAMOUREUX (1974 — HCl 4N, NaOH 0,5 à 25°C), et en utilisant HCl (2N) seul (QUANTIN, 1975) pour distinguer l'allophane et l'imogolite des produits finement cristallisés et rapidement solubles (gibbsite, halloysite, etc.) obtenus également par la première méthode. La comparaison des deux méthodes permet donc d'exprimer certaines différences dans les constituants alumineux et silicatés facilement solubles. Dans le cas d'un sol dont la fraction silicatée para-cristalline est essentiellement de l'imogolite, cas des horizons B_{21} et B_{22} du profil du Vulture, on calcule la quantité d'imogolite d'après le taux de SiO_2 rapidement soluble par HCl (2N), selon la formule $\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, 2\text{H}_2\text{O}$. De même, dans le cas d'un sol à prédominance d'allophane dans la phase « amorphe », cas des horizons A et B_1 de Roccamonfina et du Vulture, on calcule l'allophane à partir du taux de SiO_2 amorphe selon la formule $2\text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, 3\text{H}_2\text{O}$, d'une allophane-halloysitique. Par différence, du taux global d' Al_2O_3 amorphe, on déduit

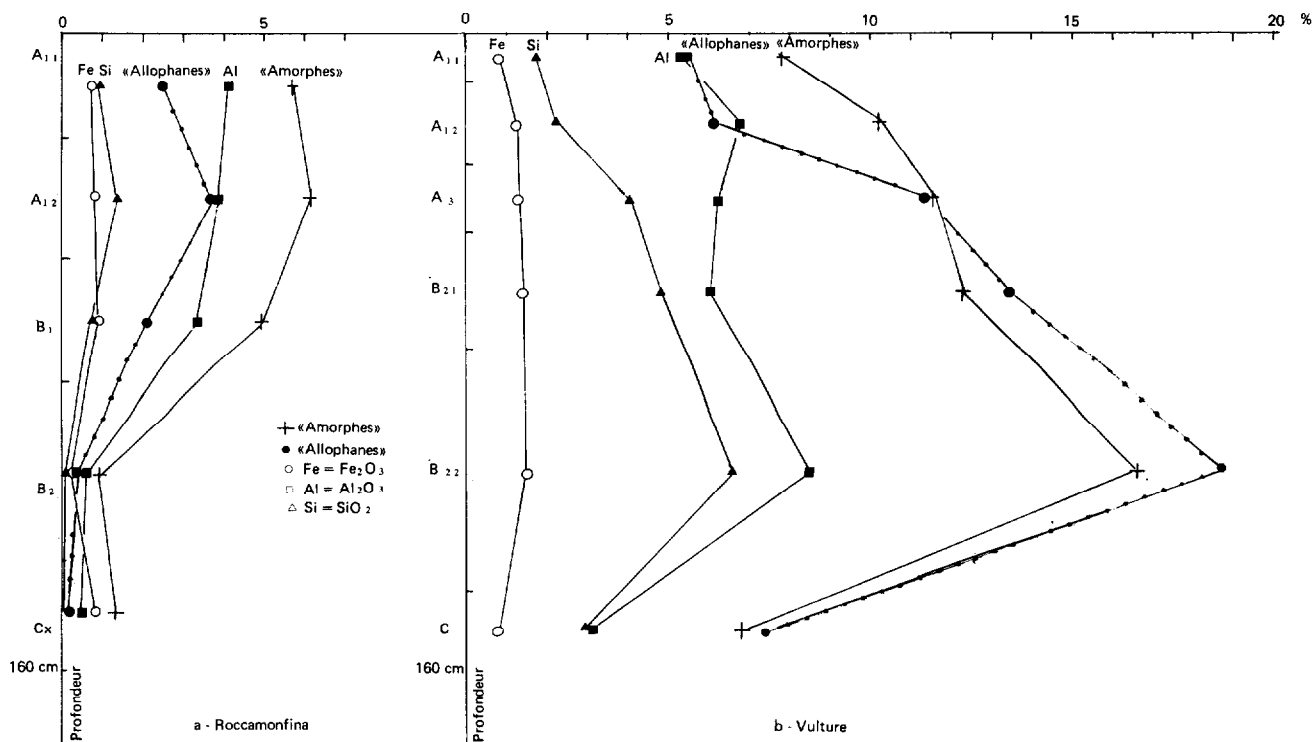


FIG. 1. — Répartition des produits « amorphes » et crypto-cristallins dans les profils (méthode HCl 2N)

la part d'alumine-non allophanique, qui, dans le cas présent, est essentiellement de l'alumine complexée.

(a) *Profil Roccamonfina*

— Analyse par HCl (2N), fig. 1 — La part de l'allophane est faible et limitée à la partie supérieure du profil, riche en acides humiques. Elle augmente légèrement de 2,5 % en A_{11} à 3,9 % en A_{12} , puis diminue à 2,1 % en B_1 et disparaît presque en B_2 et Cx. Le taux d'oxydes de fer « amorphes » est très faible (< 1 %) dans tout le profil, bien que plus notable dans les horizons humifères. C'est l'alumine « amorphe » qui est l'élément le plus remarquable. Elle représente près de 4 % du sol en A_{11} et A_{12} , décroît à 3 % en B_1 , puis disparaît brusquement en B_2 et Cx. En outre, plus de la moitié de cette alumine « amorphe » n'est pas liée à l'allophane, mais probablement « libre » ou complexée par des acides organiques.

— Comparaison des deux méthodes, fig. 2 — Le taux d'alumine rapidement soluble, augmente très fortement par la méthode SEGALÉN (courbe Al_1) dans les horizons humifères (A_{11} , A_{12} , et B_1), indépendamment de la silice et du fer. L'écart entre les résultats obtenus par les deux méthodes montre

près de 8 à 9 % d'alumine, sous une forme qui ne peut être attribuée ni à de l'allophane ni à un hydroxyde cristallisé, ni à une argile ; mais la répartition dans le profil de cette forme d'alumine « amorphe » semble plutôt suivre celle des acides humiques (voir chapitre suivant sur les formes de la matière organique). Ce fait confirme les observations d'HETIER (1975), sur une liaison stable entre aluminium et acides humiques dans les sols « andiques ».

— L'horizon Cx ne manifeste pas une teneur importante en silice amorphe puisque le produit dissous par NaOH a plutôt la composition chimique de l'hallowysite (rapport SiO_2/Al_2O_3 mol. 1,7).

(b) *Profil Vulture*

— Analyse par HCl (2N), figure 1 — La part des produits allophaniques (allophane, imogolite) est importante dans tout le profil, confirmant le caractère typique d'andosol. Cette part augmente rapidement, de 5 à 6 % en surface, à près de 20 % dans l'horizon B_{22} , puis chute brusquement à 7 % dans l'horizon C. La part des oxydes de fer « amorphes » est faible (1 à 2 %), mais constante dans le profil. Ici encore le comportement de l'alumine « amorphe » est très significatif. L'alumine augmente

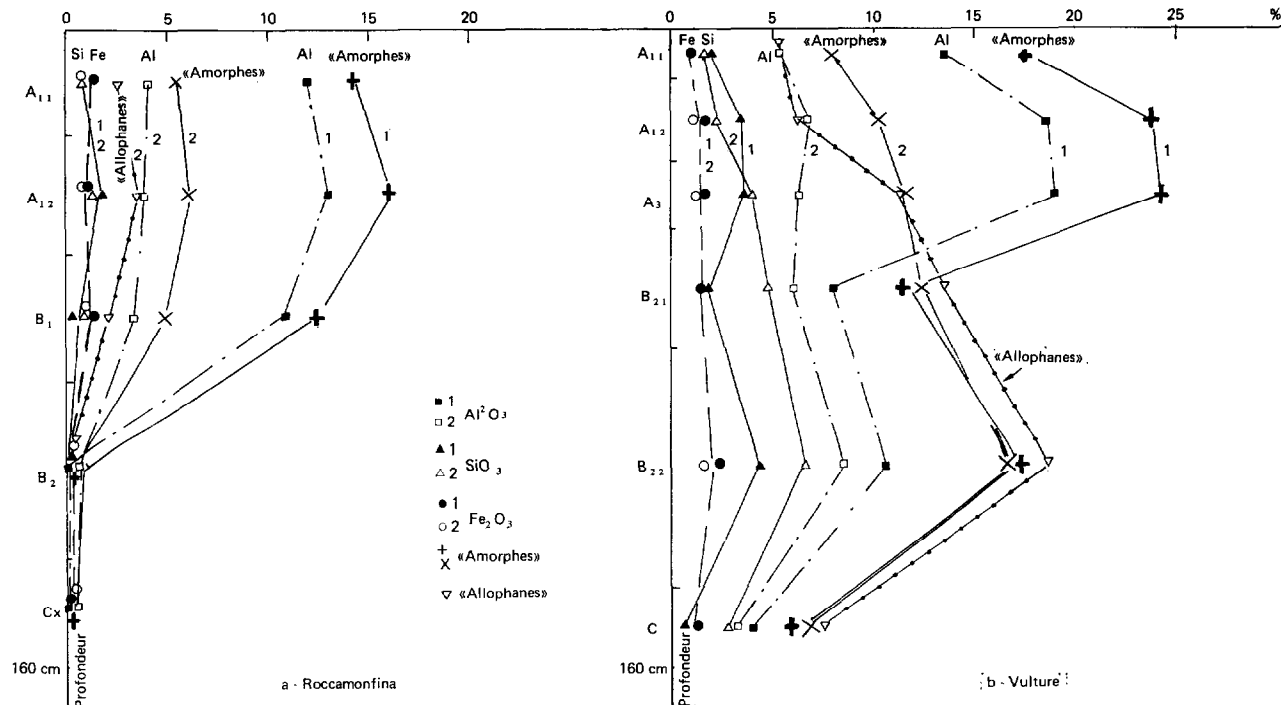


FIG. 2. — Comparaison des produits rapidement solubles dans les profils Roccamonfina et Vulture par les réactifs 1 : HCl 4N- NaOH 0,5N et 2 : HCl 2N

un peu, de A_{11} en A_{12} , puis régresse légèrement en B_{21} et s'accroît sensiblement en B_{22} , pour chuter brusquement dans l'horizon C. Mais, surtout, dans la partie supérieure du profil, comme à Roccamonfina, plus de la moitié de l'alumine « amorphe » n'est pas liée à l'allophane. Puis, brusquement, à partir des horizons B, toute l'alumine amorphe, ou presque, se trouve engagée dans l'allophane et l'imogolite.

— Comparaison des deux méthodes (fig. 2). On observe à nouveau un comportement spectaculaire de l'alumine dans la partie supérieure du profil (A_{11} , A_{12} et A_3). L'écart très élevé (9 à 13 de Al_2O_3) entre les résultats montre une forme d'alumine très rapidement soluble, qui ne peut être attribuée ni à l'allophane ni à des hydroxydes cristallisés. Il semble que cette forme soit attachée à des complexes organo-minéraux, qui sont rapidement stabilisés par leur charge en alumine. Puis ces complexes sont détruits par minéralisation des acides humiques, en libérant de l'alumine, qui sert à former l'allophane et l'imogolite dans les horizons B.

3.3.3. FER « LIBRE »

Les oxydes de fer ont été dissous par le dithionite de sodium (DEB, 1950), en six extractions successives. Les résultats (tabl. VIII) expriment : a) le produit de la première extraction — b) le produit rapidement soluble, déduit de la courbe cumulative. Cette deuxième valeur correspond vraisemblablement à la somme des oxy-hydroxydes « libres » de fer, à l'état « amorphe » et à l'état cristallin facilement soluble.

(a) Profil Roccamonfina

Il y a une quantité importante de Fe_2O_3 « libre » (~ 3 à 4 %) et régulièrement répartie dans tout le profil. Le taux Fe libre/Fe total varie de 40 à 50 % dans tout le sol, sauf l'horizon Cx (29 %). Ce taux élevé apparente plus ce sol aux sols fersiallitiques qu'à un sol brunifié.

(b) Profil Vulture.

La quantité de Fe_2O_3 « libre » est moins élevée que dans le sol de Roccamonfina, bien que le matériau originel soit plus ferrifère. Il y a augmentation progressive des horizons A aux horizons B (de 1 à 3 %). Le taux Fe libre/Fe total est de ~ 35 % seulement dans les horizons B. Ceci est assez caractéristique des andosols, où, semble-t-il, une part importante du fer soit liée aux silicates (QUANTIN et JANOT, 1978).

3.3.4. RAPPORT $\frac{Al+Fe \text{ Pyrophosphate}}{Al+Fe \text{ Dithionite}}$

L'aluminium et le fer « libres », extraits par le dithionite de sodium, et « complexés », extraits

par le pyrophosphate de sodium, ont été dosés précédemment (LULLI et BIDINI, 1978-1980) seulement sur les horizons B_{21} et B_{22} du sol du Vulture, dont nous rappelons les résultats :

	Fe %		Al %		Fe+Al Pyro.
	Pyro.	Dith.	Pyro.	Dith.	Fe+Al Dith.
B_{21}	0,28	0,73	0,60	0,50	0,71
B_{22}	0,29	0,72	0,76	0,80	0,69

Ces résultats soulignent l'importance relative des formes complexées de l'alumine et du fer par rapport aux formes libres ; c'est un critère diagnostique des horizons spodiques.

3.3.5. pH

Le pH a été déterminé sur le sol en suspension dans l'eau et des solutions de KCl (N) et NaF (N) (FIELDES et PERROTT, 1966). L'écart entre les valeurs dans l'eau et KCl est la valeur Δ pH (tabl. IX).

(a) Profil Roccamonfina

Le pH (H_2O) est faiblement acide dans la partie supérieure du sol (6,5 à 5,9) ; puis s'acidifie en profondeur (5,6 à 5,5). La valeur Δ pH, ~ 1 à 1,5, manifeste une forte acidité d'échange, due à l'halloysite, qui augmente sensiblement en profondeur. Les valeurs élevées du pH (NaF), > 10, sauf en Cx, soulignent l'abondance d'alumine « amorphe ». Toutes ces données confirment un certain développement de caractères « andiques » dans la partie supérieure du sol et de caractère plus argileux dans la partie inférieure.

(b) Profil du Vulture

Le pH (H_2O) n'est que très légèrement acide (6,3 à 7,1) dans l'ensemble du sol. La valeur Δ pH est plutôt faible, surtout en A et B_{22} (0,7 à 0,9), comme dans le cas d'andosols riches en allophane et pauvres en sesquioxides libres ; une brusque élévation du Δ pH (1,8) dans l'horizon C confirme le développement, des minéraux argileux, en l'occurrence l'halloysite. Les valeurs pH (NaF) sont proches de 7 dans les horizons A_{11} et A_{12} , en raison de leur taux très élevé en acides organiques ; mais, en dessous, les valeurs montent brusquement à 11, comme dans le cas d'andosols désaturés riches en alumine « amorphe » (ici à allophane-imogolite) ; puis cette valeur chute brusquement dans l'horizon C. Toutes ces données sont caractéristiques d'andosols désaturés.

3.3.6. BASES ÉCHANGEABLES, TAUX S/T (tabl. IX)

Les bases échangeables et la capacité d'échange

TABLEAU IX

pH, bases échangeables, capacité d'échange cationique et taux saturation en bases

Profil Echantillon	pH				Bases échangeables mé / 100 g					C. E. C. mé / 100 g				S/T %	taux Δ CEC %
	H ₂ O	KCl	Na F	Δ pH	Ca	Mg	Na	K	S	pH 4	pH 7	pH 9	Δ CEC		
Roccamonfina															
6 R - A.11	6,5	5,4	10,6	- 1,1	13,35	3,60	1,20	1,50	19,65	11,1	20,4	26,0	14,9	96,3	57,3
A.12	6,1	5,1	10,9	- 1,0	3,45	1,40	0,90	0,90	6,65	9,1	19,2	21,8	12,7	34,6	58,3
B.1	5,9	4,8	10,8	- 1,1	5,40	0,60	0,70	0,85	7,55	16,7	22,1	25,4	8,7	34,2	34,2
II B.2	5,6	4,4	10,4	- 1,2	1,55	1,65	1,95	2,00	7,15	24,0	34,8	46,3	22,3	20,5	48,2
II C x	5,5	4,0	9,6	- 1,5	2,00	1,00	2,35	3,95	6,95	20,0	35,5	49,0	29,0	19,6	59,2
Vulture															
3 V - A.11	6,6	5,5	7,2	- 1,1	17,57	2,11	1,11	1,04	21,83	17,2	41,7	46,8	29,6	52,4	63,2
A.12	6,8	5,6	7,4	- 1,2	10,33	0,71	1,07	1,10	13,21	15,5	31,8	35,0	19,5	41,5	55,7
A.3	6,3	5,6	10,8	- 0,7	10,90	1,05	0,80	0,95	13,70	14,4	25,5	34,8	20,4	53,7	58,6
B.21	6,6	5,4	11,2	- 1,2	9,50	1,05	0,95	1,02	13,47	17,0	38,3	42,1	25,1	35,2	59,6
B.22	6,5	5,6	11,0	- 0,9	9,14	1,40	0,84	1,08	12,46	13,0	36,0	42,2	29,2	34,6	69,2
II C	7,1	5,3	8,9	- 1,8	3,87	0,70	0,98	3,68	9,23	18,1	45,0	51,2	33,1	20,5	64,6

ont été déterminés par suite d'une percolation par l'acétate d'ammonium à pH 7.

(a) Profil Roccamonfina

Le taux de bases échangeables, très élevé en surface (~ 20 mé/100 g en A₁₁), demeure assez élevé (~ 7 mé/100 g) dans l'ensemble du profil, fait plutôt inhabituel pour un sol apparenté à un sol brun-acide. Il y a prédominance du calcium dans la partie supérieure, puis brusquement des alcalins (Na et K) dans les horizons B₂ et Cx. Ceci semble marquer la discontinuité du matériau originel. Cette discontinuité, montrée aussi par le développement de l'halloysite, est soulignée par l'accroissement de la capacité d'échange cationique (de 20 à 35 mé/100 g). Il en résulte que le taux de saturation en bases, d'environ 35 % dans la partie supérieure du sol, chute brusquement à 20 % dans les horizons B₂ et Cx. Cette valeur est plus typique d'un sol brun-acide. La remontée du taux de saturation et du pH dans le haut du sol suggèrent l'effet d'un rajeunissement, qui a modéré les caractères acide et oligotrophe du sol initial, et amélioré les propriétés édaphiques du sol superficiel.

(b) Profil Vulture

Le taux de bases échangeables est très élevé dans tout le profil : d'environ 22 mé/100 g en A₁₁, il demeure à près de 13 mé/100 g dans l'ensemble du sol, avec une large prédominance du calcium. Dans l'horizon C, la brusque élévation des alcalins (Na et K) marque une discontinuité du matériau originel. La capacité d'échange cationique est élevée dans l'ensemble du sol ; elle augmente progressivement (de 26 à 36 mé/100 g) en fonction du taux

d'allophe, puis brusquement en C avec le développement de l'halloysite (de 36 à 46 mé/100 g). Comme précédemment, ceci s'accompagne d'une brusque chute du taux de saturation en bases (de 35 à 20 %) et marque une genèse différente et plus ancienne de la partie profonde du sol. Le taux de saturation en bases est moyen (52 à 42 %) dans la partie supérieure du sol, qui a des caractères édaphiques mésophiles et faiblement acidophiles. Le même taux diminue progressivement vers la partie inférieure du sol. Ces différentes données sont assez caractéristiques d'andosols désaturés.

3.3.7. CEC DÉPENDANTE DU PH ET TAUX Δ CEC

La capacité d'échange cationique a été mesurée à pH 4 (tampon NH₄ acétate, acide acétique) et à pH 9 (Na Cl, Na OH, tampon TEA). La valeur Δ (AOMINE et JACKSON, 1959) est la différence entre les deux mesures et le taux Δ CEC, la valeur relative en pour cent de CEC (pH 9). Les deux sols présentent une forte variation de capacité d'échange en fonction du pH (tabl. IX).

(a) Profil Roccamonfina

Dans la partie supérieure du profil la valeur Δ CEC et le taux Δ CEC diminuent en même temps que la teneur en matière organique. En profondeur, dans les horizons B₂ et Cx, ces deux valeurs remontent brusquement (Δ CEC de 9 à 22-29 mé/100 g et taux Δ CEC de 34 à 48-59 %) simultanément avec l'accroissement de l'halloysite (valeurs semblables à celles de sols ferrallitiques désaturés à halloysite = oxic dystrandepts des régions tropicales, QUANTIN, 1979-82).

(b) Profil Vulture

Les valeurs Δ CEC et taux Δ CEC sont élevées dans l'ensemble du sol et caractéristiques d'andosols désaturés (Δ CEC de 20 à 30 mé/100 g et taux Δ CEC de 55 à 69 %), comme nous l'avons observé en région tropicale (QUANTIN, 1979-82). Dans la partie supérieure du profil, la valeur Δ CEC diminue d'abord en fonction de la teneur en matière organique (de 30 à 25 mé/100 g) ; mais le taux Δ CEC demeure élevé (de 63 à 56 %). Dans la partie inférieure, en B₂₁ et B₂₂, la valeur Δ CEC augmente en raison du taux d'allophane et d'imogolite (25 à 29 mé/100 g). Le taux Δ CEC culmine dans l'horizon B₂₂, le plus riche en imogolite, où il atteint 69 %, valeur proche de celle observée dans les andosols perhydratés et riches en imogolite des régions tropicales (70 à 80 %). Dans l'horizon C, au développement de l'halloysite correspondent encore des valeurs élevées de Δ CEC et du taux de Δ CEC, significatives d'un mélange d'allophane et d'halloysite (hydratée). Le sol de Vulture a donc des affinités avec les andosols désaturés des régions tropicales humides (hydric dystrandepts).

CONCLUSION PARTIELLE

Une interprétation générale, suivie de conclusions, sera proposée à la fin de la deuxième partie de l'étude (dans l'article suivant). Cependant, quelques caractères importants de chacun des deux sols peuvent être déjà soulignés.

Le sol de Roccamonfina présente un profil complexe. Il a des caractères de sol andique et désaturé dans sa partie supérieure, de sol brun-acide à fragipan dans sa partie inférieure. Le sol supérieur, malgré des caractères andiques certains, contient seulement un peu d'allophane ; mais il est riche en alumine « amorphe », dont une part importante

n'est pas liée à de l'allophane et que nous expliquons ultérieurement. En profondeur, le sol est plus argileux et plus acide ; son matériau originel est différent, plus ancien et plus altéré ; on y observe le développement de l'halloysite, la disparition de l'allophane et de l'alumine « amorphe ». A la base du profil, le fragipan est re-silicifié.

Le sol du Vulture présente un profil apparemment homogène et des caractères très évidents d'andosol. Celui-ci est modérément désaturé. Il est beaucoup moins argileux et moins acide que le sol de Roccamonfina. Au contraire de celui-ci, son caractère andique s'affirme même en profondeur (horizons B₂₁ et B₂₂). Ses produits d'altération comportent surtout des produits « amorphes » ou crypto-cristallins. L'allophane prédomine dans le haut du sol, puis l'imogolite en profondeur (en B₂₁ et B₂₂). De l'halloysite apparaît brusquement à la base du profil, dans un matériau d'origine différente, plus scoriacé et plus ancien que les cendres dont dérive le sol. On remarque encore la part très importante d'alumine « amorphe » — non liée à de l'allophane, dans la partie supérieure du sol. En outre, dans l'horizon B₂₂, l'accroissement d'alumine « amorphe » est concomitant du développement de l'imogolite ; cette forme d'alumine est quasiment toute liée à ce silicate. Le taux de capacité d'échange cationique — dépendante du pH, supérieur à 50 % dans tout le profil, est caractéristique d'un andosol ; il s'accroît simultanément au développement de l'imogolite. Enfin, les horizons B₂₁ et B₂₂ présentent un caractère diagnostique de l'horizon spodique, le rapport $\frac{\text{Fe} + \text{Al Pyrophosphate}}{\text{Fe} + \text{Al Dithionite}} > 0,5$

bien que cela ne soit pas évident à l'observation du profil. Ceci pose un problème, que nous aborderons dans la deuxième partie de l'étude.

Manuscrit reçu au Service des Éditions de l'O.R.S.T.O.M.
le 12 janvier 1983

BIBLIOGRAPHIE

- AOMINE (S.), JACKSON (M. L.), 1959. — Allophane determination in Andosols by Cation Exchange Capacity Δ value. *Soil Sci. Soc. Amer., Proc.*, 23 : 210-214.
- CORTINI, 1975. — Cité in La Volpe, 1978.
- DEB (B. C.), 1950. — Estimation of free iron oxides in Soils and clays and their removal. *J. Soil Sci.*, 1 : 212-220.
- FARMER (V. C.) *et al.*, 1978. — Imogolite and proto-imogolite in an Italian Soil developed on volcanic ash. *Clay Miner.*, 13 : 271-274.
- FIELDER (M.), PERROTT (K. W.), 1966. — Rapid field and laboratory test for allophane. *New Zeal. J. Sci.*, 9 : 623-629.
- HETIER (J. M.), 1975. — Formation et évolution des andosols en climat tempéré. Thèse Univ. Nancy, 194 p. *mulligr.*
- LA VOLPE (L.), 1978. — Il complesso vulcanico del Vulture, in LULLI et BIDINI (Suoli dei Vulcani Roccamonfina e Vulture), 1978.
- LULLI (L.), BIDINI (D.), 1975. — Tendenze evolutive di alcuni suoli dell'edificio vulcanico del Vulture (Lucania). *Ann. Ist. Stud. Dif. Suolo*, Firenze, 6 : 87-105.
- LULLI (L.), BIDINI (D.), 1978. — Guida escursione-dibattito sui suoli dei vulcani Roccamonfina e Vulture. Centro Genes. Classif. Cartogr. Suolo, CNR, univ. Firenze. Publ. n° 51.
- LULLI (L.), BIDINI (D.), 1980. — A climosequence of soils from tuffs on slopes of an extinct volcano in Southern Italy. *Geoderma*, 24 : 129-142.
- QUANTIN (P.), 1975. — Problème de la détermination des substances minérales amorphes. Communication Semaine Pédologie O.R.S.T.O.M. (22-26 sept. 1975); résumé 5 p. *mulligr.*, Centre O.R.S.T.O.M. Bondy.
- QUANTIN (P.), 1982. — Le taux de capacité d'échange de cations dépendante du pH, comme critère de classification des andosols des Nouvelles-Hébrides (Vanuatu). Communication 12^e Congrès International de la Science du Sol, New Delhi, février 1982.
- QUANTIN (P.), JANOT (Ch.), 1978. — Évolution de la localisation du fer dans les sols volcaniques des Nouvelles-Hébrides. Communication 11^e Congrès International de la Science du Sol, Edmonton, août 1978.
- QUANTIN (P.), LAMOUROUX (M.), 1974. — Adaptation de la méthode cinétique de Ségalen à la détermination des constituants minéraux de sols variés. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XII, n° 1 : 13-46.
- RAGLIONE (M.), 1978. — Analisi delle variazioni climatiche con l'altitudine per i vulcani di Roccamonfina e Vulture; in LULLI et BIDINI, 1978.
- RICCIARDI (M.), 1978. — Lineamenti essenziali del popolamento vegetale dei distretti del Roccamonfina e del Vulture; in LULLI et BIDINI, 1978.
- SEGALEN (P.), 1968. — Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. VI, n° 1 : 105-126.
- STANZIONE (D.), 1978. — Cenni vulcanologici e petrografici sul vulcano di Roccamonfina; in LULLI et BIDINI, 1978.
- VIOLANTE (P.), VIOLANTE (A.), 1973. — Gli andosuoli del Vulture. *Ann. Fac. Sci. Agr. Univ. Studio Napoli, Portici*, sér. IV, 7 : 3-22.
- VIOLANTE (P.), 1978. — Considerazioni generali sulla genesi delle argille nei suoli vulcanici; in LULLI et BIDINI, 1978.
- VIOLANTE (P.), TAIT (J. M.), 1979. — Identification of imogolite in some volcanic soils from Italy. *Clay Miner.*, 14, 2 : 155-158.