Etude des andosols d'Olot (Gerona, Espagne)

3^e partie : Micromorphologie

Jaime BECH-BORRAS*, N. FEDOROFF** et A. SOLE**

 Catedra de Edafologia. Facultad de Farmacia. Universidad de Barcelona.
 ** Laboratoire de Géologie-Pédologie. Institut National Agronomique Paris-Grignon, 78850 Grignon

Résumé

Les auteurs décrivent la micromorphologie de deux profils types des andosols d'Olot. Celle-ci met en évidence une altération faible, mais sans produits de néogenèse des minéraux primaires, un jaunissement du matériel vitreux et même, un début de rubéfaction de ce dernier.

Par ailleurs, on observe une intense fragmentation des matériaux originels, mais aussi des résidus végétaux. Une structure en petits agrégats élémentaires qui, en se tassant, peuvent donner des agrégats plus gros. Une matière organique monomorphe paraît être l'agent de liaison de ces agrégats.

SUMMARY

The micromorphology of two profiles of andosols (Olot, province of Gerona, Spain) are described.

The weathering is weak. Some primary minerals are slightly corroded, but no new formations can be seen. The colour of volcanic glasses changes from grey to yellow, without any weathering of included minerals; very seldom, in the upper part of the profile, the colour from yellow changes to red and then included minerals are weathered.

Parent material and plant residues are intensively fragmented. For parent material, fragmentation starts in C horizon and is maximum in A horizon and for plant residues, phenomena is reverse.

The base of aggregation is a rounded, $30-40 \mu$ ped with a random distribution of all its camponents (microfragments of primary mineral and plant residues). By packing, these peds give secondary and even tertiary peds. Monomorphic organic matter probably binds the components of the primary peds.

INTRODUCTION

Cette étude micromorphologique constitue la troisième partie d'une étude complète des Andosols d'Olot (Espagne) dont les deux premières parties traitant de l'écologie, de la morphologie, des caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques, ont été réalisées par Bech, Quantin et Segalen (1976) (1).

Les échantillons prélevés pour la micromorphologie proviennent des profils 0-2 et 0-3, déjà décrits.

Les lames ont été décrites de façon essentiellement morphographique, les termes utilisés étant courants en Pédologie. En effet, très peu de termes proposés par Brewer (1964) sont adaptés à la description de ce type de sol.

1. DESCRIPTION MICROMORPHOLOGIQUE

1.1. Micromorphologie du profil 0-2

A_{11} : Entassement libre, la porosité atteignant 40 % de :

— fragments de racines et de tiges, 5 %, à divers stades de décomposition, de grande taille (quelques millimètres de long), distribués au hasard ;

- gros agrégats, entre quelques millimètres et un centimètre, 20 à 25 %, brun à brun foncé, de forme variable, polyédriques, allongés ou à pseudopodes, à angles émoussés, parcourus pour les deux premières formes par un système de fentes à bords dentelés et les agrégats à pseudopodes sont percés par des cavités ; tous ces agrégats sont distribués au hasard. Les agrégats sont constitués de fragments organiques bien humifiés, bruns à brun rouge, d'hyphes mycéliens, de minéraux primaires (fragments d'olivine, de feldspaths, de quartz et de minéraux ferrugineux) et d'une masse basale poussiéreuse peu abondante ; tous ces constituants sont distribués au hasard en entassement dense, les éléments figurés sont bien classés, la médiane se situant dans les limons grossiers. Il faut noter que la teneur en matière organique des agrégats à pseudopodes est très élevée ;

— agrégats arrondis, 400 μ en moyenne, 10 à 15 %, brun foncé, circulaires à elliptiques, pouvant se regrouper localement en amas ; ceux-ci et les agrégats

Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XV, nº 4, 1977 : 381-390

arrondis isolés sont distribués au hasard. Leur composition est comparable à celle des gros agrégats polyédriques ou allongés ;

— petits agrégats, 30 à 40 μ , 15 à 20 %, bruns circulaires, présents entre les éléments précédemment décrits, en entassement libre avec une distribution au hasard ; ils sont particulièrement nombreux dans les cavités des gros agrégats à pseudopodes. Leur composition est comparable aux petits agrégats du (B), mais ils renferment plus de matière organique et de fragments de minéraux ;

- quelques fragments de basanite, moins de 2 %; les scories et les lapillis, même altérés, sont absents ;

— quelques grains anguleux de quartz, moins de 2 %.

 A_{12} : Entassement libre, dense et régulier, la porosité atteignant 25 % de :

— fragments de racines, 5 %, non ou peu décomposées, de taille moyenne et petite, distribuées au hasard ;

— agrégats arrondis, de 400 à 700 μ , 20 %, comparables par leur forme à ceux du A₁₁ et par leur composition à ceux du (B), distribués au hasard ;

— petits agrégats, 20 %, comparables par leur forme à ceux du A_{11} et par leur composition à ceux du (B), distribués au hasard ;

— fragments de basanite devenant plus abondants avec la profondeur, jusqu'à 15 %; l'olivine est fendillée et les minéraux microcristallins ne paraissent pas altérés ; il faut noter l'absence de ferruginisation. Le matériel altéré jaune est encore quasi-absent (décrit dans R), les quelques fragments observés présentent des taches de rubéfaction nette ;

— quelques grains anguleux de quartz, moins de 2 %.

L'ensemble précédent est percé de grosses cavités, circulaires, occupant 25 % de la surface totale, de diamètre supérieur à 1 cm. Ces cavités sont remplies par un matériel dont l'organisation est identique à celle décrite en A_{11} .

B : Entassement libre, régulier, de densité moyenne, la porosité atteignant 40 % de :

— agrégats arrondis, de 400 à 700 μ , 15 à 20 %, bruns, circulaires à elliptiques, distribués au hasard. Leur teneur en matière organique est plus faible que dans les agrégats comparables du A₁₁. On y observe des vides d'entassement incomplet ;

⁽¹⁾ In Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XIV, nº 1 et 2.

PLANCHE I

383



- 1. (13 X) : Horizon Al du profil 0-2. Intérieur d'un agrégat secondaire de grande dimension résultant du tassement d'agrégats élémentaires et de fragments organiques et minéraux.

 - a) fragment de basanite,b) entassement dense de petits agrégats élémentaires
 - c) fentes,
 - d) fragment organique.

2. (34 X) : Horizon A1 du profil 0-2. Agrandissement de la photographie 1.

- a) agrégats secondaires,b) agrégats élémentaires.



- 3. (132 X) : Détail de la photographie 2.
- a) chenal de dessication,
- b) agrégats élémentaires, c) fragments minéraux au sein des agrégats élémentaires,
- d) hyphes mycéliens.

— petits agrégats, 30 à 40 μ , 15 à 20 %, bruns, circulaires, arrondis ou à angles très émoussés, distribués au hasard dans l'ensemble de l'horizon. En général, ils sont constitués de fragments, les uns d'humus brun, les autres sont ferrugineux, noirs à rouge-noir, et enfin de fragments de minéraux primaires (la taille de ces fragments ne dépasse pas quelques microns) et d'une masse fine, avec une distribution au hasard ;

— fragments de basanite, quelques millimètres en moyenne, 15 %; l'olivine est fendillée, une fraction de celle-ci a disparu, mais on n'observe aucun produit de néogénèse ; les minéraux microcristallins ne paraissent guère altérés. Néanmoins, quelques rares fragments de basanite sont plus évolués : on y observe dans la masse microcristalline un nuage dense de grains ferrugineux rouges de l'ordre du micron, en même temps qu'une nette altération des minéraux microcristallins ;

— les scories et les lapillis sont colorés à cœur en jaune, mais les minéraux microcristallins ne paraissent pas avoir subi de transformation ; leur bordure est tapissée d'une pellicule rouge, mince, constituée de petits granules de l'ordre du micron.

C: Entassement libre, de densité moyenne, la porosité atteignant 40 à 50 % de :

— amas de petits agrégats, 2 à 5 %, identiques à ceux du (B) dans un certain nombre de vides ;

- fragments de basanite, 2 à 5 %, non altérée ;

- scories et lapillis colorés en jaune seulement, 70 %; ils constituent l'essentiel de cet entassement.

R : Entassement de fragments de roches, basanites plus ou moins vitrifiées, la porosité atteignant 50 %. Ces fragments sont constitués de :

-- scories basanitiques, que nous avons appelées basanite, de formes externes variables, souvent à pseudopodes, fortement vacuolaires ; à phéno-cristaux d'augite et d'olivine et à pâte micro-cristalline à feldpaths, probablement du Labrador, à augite et à titano-magnétite ; à faible grossissement, cette pâte est de teinte foncée. Dans cet horizon, ces basanites ne sont pas altérées.

— scories basanitiques vitrifiées, de formes externes variables, fortement vacuolaires, les phénocristaux sont rares et au sein de la masse vitreuse gris jaune, on observe des feldpaths et des augites. A la périphérie de ces scories, la couleur de la masse vitreuse devient brutalement jaune, et une pellicule rouge de quelques microns d'épaisseur les borde, celle-ci est

Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XV, nº 4, 1977 : 381-390

constituée de petits granules rouges de la taille du micron. Les feldpaths et les augites ne subissent pas de transformation apparente.

1.2. Micromorphologie du profil 0-3

A_{11} : Aspect micromorphologique comparable à celui du A_{11} du profil 0-2, mais :

— les gros agrégats sont un peu moins nombreux, plus petits et de formes moins nettes ;

— les fragments de basanite sont plus nombreux (5 à 10 % de plus) qu'en A_{11} du profil 0-2 ; il ne reste plus que 20 % des phénocristaux, et on n'observe aucun produit de néoformation. Les microcristaux ont disparu à 50 %, par contre, dans la masse microcristalline, il existe un nuage dense de grains ferrugineux rouges de l'ordre du micron ;

— quelques fragments de scories et de lapillis, colorés à cœur en rouge, sont présents. Les minéraux micro-cristallins ont totalement disparu.

- A_{12} : Aspect micromorphologique comparable à celui de l'horizon précédent, mais les fragments de basanites sont plus nombreux (15 à 20 % de plus). Les fragments de scories et de lapillis sont colorés en rouge et eux aussi plus nombreux qu'en A_{11} .
- (B) : Entassement libre, de faible densité, de quelques gros agrégats, d'agrégats arrondis, de petits agrégats et de nombreux fragments de basanite, de scories et de lapillis. Le mélange de la matière organique à la matière minérale est comparable à celui que l'on observe dans le A₁₁ du profil 0-2. Tous les fragments de basanite présentent l'altération en granules ferrugineux rouges. Dans cet horizon, les scories et les lapillis ne sont que partiellement colorés en rouge ; au sein des zones rubéfiées, on observe quelques domaines biréfringents.

2. INTERPRÉTATION DES OBSERVATIONS MICROMORPHOLOGIQUES

2.1. Altération du matériel originel

D'abord, il faut souligner qu'au microscope polarisant, dans ces andosols, les seuls produits de néoformation visibles sont ferrugineux. Les phénocristaux (augite, olivine) et les microcristaux (feldpaths,

LANCHE JI



4. (330 X): Horizon A1 du profil 0-3. Morphologie interne des agrégats élémentaires. Notez l'aspect de gel de la masse fine au sein de laquelle sont dispersés au hasard des fragments d'humus et de minéraux primaires.

5. (13 X) : Horizon R.

a) fragments minéraux de grande dimension formant l'essentiel de l'horizon,

b) grands vides intergranulaires,

c) entassement de petits agrégats et de petits fragments de scories provenant des horizons supérieurs.



- a) phéno-cristaux,b) vacuoles originelles,
- c) agrégats élémentaires dans les vacuoles,
- d) pâte microscristalline foncée.

Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XV, nº 4, 1977 : 381-390

augite) disparaissent apparemment sans être remplacés. Cette disparition apparente au microscope optique pose un problème d'interprétation géochimique non résolu.

Le matériau vitreux s'altère en premier lieu ; dès l'horizon R, une fraction importante de ce matériel est transformée. En effet, il jaunit de la périphérie vers le centre. Ce jaunissement est-il accompagné d'autres transformations minéralogiques, en particulier de la génèse d' « allophanes » ? A cette question, la microscopie optique ne peut apporter aucun élément de réponse. La rubéfaction est le second stade, nettement postérieur, de transformation du matériel vitrifié. Elle affecte uniquement le matériel préalablement jauni et elle est précédée ou accompagnée (nos observations ne permettent pas de trancher), de la disparition totale de tous les minéraux primaires (visibles au microscope optique). Quelques petits domaines biréfringents se développent au sein des zones rubéfiées. Soulignons que cette rubéfaction se produit toujours de la périphérie vers le centre du fragment scoriacé. La rubéfaction est plus marquée dans le profil 0-3, situé au sommet de l'« hornito » que dans le profil 0-2, situé légèrement en contre-bas.

Ce type d'altération des verres volcaniques basiques (jaunissement, puis rubéfaction) a été aussi observé à Tenerife par Fedoroff (résultats non encore publiés).

Le matériau micro-cristallin se transforme beaucoup moins que le matériau vitreux. La transformation la plus prononcée correspond à l'apparition dans la masse micro-cristalline de nuage de petits granules ferrugineux rouges, accompagnée d'une disparition partielle des minéraux primaires. Cette transformation est synchrone de la rubéfaction de la masse vitreuse.

La rubéfaction du matériau vitreux et l'apparition de petits granules ferrugineux rouges dans la masse microcristalline de la basanite ne concerne qu'une faible fraction du matériau originel; elles ne sont aucunement responsables des couleurs brunes foncées et brun rouge foncé observées sur le terrain. Ces couleurs sont données uniquement par les agrégats dont la couleur en lumière transmise est brune, devenant grisâtre en lumière réfléchie. Une couleur grise en lumière réfléchie indique que les couleurs brunes observées sur le terrain et en lumière transmise ne sont pas dues à des oxydes de fer, mais probablement à un complexe organo-minéral incluant des hydroxydes de fer.

Dans le domaine de l'altération des matériaux originels, l'observation micromorphologique confirme, mais aussi complète, les résultats obtenus à partir de

Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XV, nº 4, 1977 : 381-390

l'analyse minéralogique (J. Bech, Borras, P. Quantin et P. Segalen, 1976). En effet, la disparition des minéraux primaires (non accompagnée de la formation de produits secondaires visibles) pourrait être interprétée comme une hydrolyse complète. Mais les allophanes et les argiles 2:1 à comportement d'interstratifié vermiculite-chlorite échappent totalement à l'observation au microscope polarisant. On peut seulement supposer qu'elles constituent une part importante de la masse fine. Par contre, on peut suivre au microscope polarisant l'évolution résultante des oxydes de fer (jaunissement et rubéfaction).

2.2. Incorporation des matériaux originels au fond matriciel du sol

Le matériau vitreux, en même temps qu'il s'altère, se divise en fragments de plus en plus petits. Cette division commence au sommet de l'horizon C et se poursuit intensivement dans les horizons (B) et A. Dans le profil 0-2, les fragments originels n'existent que jusqu'au sommet du (B), tandis que dans le profil 0-3, ils parviennent jusqu'au sommet du sol. On observe tous les termes de passage entre les fragments originels et des fragments d'une dizaine de microns ; la taille des fragments diminue du bas vers le haut, elle décroît très rapidement dès qu'il ne reste plus de fragments originels. La dizaine de microns est une limite d'observation optique, nous supposons que la fragmentation continue au-delà de cette dimension.

La fragmentation du matériau micro-cristallin est beaucoup plus tardive et plus lente. Dans le profil 0-2, il reste encore quelques fragments originels au sommet du sol tandis que dans la même position dans le profil 0-3, ils sont abondants. Comme pour le matériau vitreux, cette fragmentation est régulière et aboutit à des particules fines.

Tous ces fragments, dès que leur dimension moyenne devient inférieure à 100 μ , sont incorporés aux agrégats.

Ce mode de fragmentation et d'incorporation des matériaux originels n'est pas spécifique aux andosols ; P. Aurousseau (1976) le décrit dans les sols bruns acides sur granite dans le Morvan.

Rappelons qu'analytiquement, cette fragmentation de plus en plus poussée des matériaux originels se traduit par une texture sableuse en C, sablo-limoneuse en (B)/C, limoneuse en (B), et limono-argileuse en A_{11} - A_{12} (J. Bech Borras, P. Quantin et P. Segalen, 1976).

PLANCHE III



7. (340 X): Horizon Al du profil 0-3. Contact entre le fond matriciel et un fragment de basanite.

a) fragment de basanite,
b et c) zone de contact où débute
l'altération,
mycélium.



8. (340 X) : Horizon C du profil 0-2. Altération du verre volcanique en jaune.

a) vacuole,

b) altération en jaune de la masse vitreuse,

c) zone non altérée.

2.3. Transferts de particules et de grains en suspension dans l'eau

Nous n'avons observé, dans ces andosols, aucune accumulation texturale pouvant résulter de transferts en suspension dans l'eau. Cette absence ne nous paraît pas un indice suffisant pour conclure à l'absence absolue de transferts de particules et (ou) de grains en suspension dans l'eau à travers ces andosols.

En effet, les profils n'ont pas été creusés très profondément, au maximum 140 cm pour 0-3. Aucune nappe phréatique n'a évidemment été atteinte. Or, dans un matériel aussi poreux et avec un climat aussi humide, les particules illuviées peuvent facilement atteindre la nappe phréatique et éventuellement, se déposer dans la zone de battement de celle-ci.

2.4. Evolution de la matière organique

L'humification des tissus végétaux est assez lente ; on peut observer tous les stades de la transformation d'un tissu végétal en une masse organique.

Les tissus végétaux se divisent en fragments de plus en plus petits, en même temps qu'ils s'humifient ; cette division est analogue à celle qui affecte le matériel volcanique, mais elle se fait dans un sens inverse. La limite d'observation optique pour les fragments organiques est de l'ordre de quelques microns. Comme les fragments minéraux, les fragments organiques s'incorporent aux agrégats très rapidement, dès que leur dimension devient inférieure à quelques centaines de microns.

La couleur jaune brun de la masse fine des agrégats, comme une tendance à la craquelure des fragments organiques gros et moyens indiquent probablement une imprégnation par une matière organique monomorphe (comparable à celle décrite par de Conink, Righi, Maucorps et Robin, 1973). Ces observations sont confirmées par des observations en microscopie électronique et des analyses chimiques de Bruckert, Hetier et Gutierrez, 1974.

La répartition de la matière organique est comparable à celle des sols bruns acides, mais elle est beaucoup plus abondante dans ces andosols.

2.5. Agrégation

L'agrégat élémentaire est celui que nous avons dénommé « petit agrégat ». Un examen attentif des agrégats arrondis et des « gros agrégats » révèle que

Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XV, nº 4, 1977 : 381-390

pour une grande part, ils sont constitués par un entassement dense à très dense d'agrégats élémentaires.

La distribution des grains, des particules visibles et de la masse fine est parfaitement isotrope dans les agrégats et d'un agrégat à l'autre.

L'examen microscopique permet seulement de supposer que l'agent de liaison des grains et des particules présents dans les agrégats élémentaires est la matière organique monomorphe. Bruckert, Hetier et Gutierrez, 1974, arrivent à une conclusion comparable.

Les agrégats élémentaires de ces andosols présentent de fortes analogies avec les agrégats de même type des sols bruns acides, Aurousseau (1976) et même avec les agrégats des horizons B_{11} des podzols boréaux.

La microscopie optique ne permet pas d'observer des éléments de néoformation au sein des agrégats élémentaires, mais ceci n'exclut pas que des éléments de taille ultra-microscopique puissent y apparaître.

Les agrégats arrondis sont probablement d'origine fécale, leur morphologie l'atteste. De même, certains des agrégats élémentaires très riches en matière organique des horizons A auraient la même origine. Mais la plupart des agrégats élémentaires ne paraissent pas d'origine fécale ; ils résulteraient d'une dessication du fond matriciel imprégné de matière organique monomorphe. Mais la fragmentation des éléments organiques, comme des éléments minéraux, est essentiellement imputable à la faune. On constate qu'elle est particulièrement intense dans les boulettes fécales. L'ensemble du sol passant à un moment ou à un autre par le stade de boulettes fécales, on peut donc supposer que la fragmentation dans ces sols est essentiellement d'origine biologique. Une fragmentation par altération seule est difficile à admettre ; néanmoins, on doit considérer que l'altération chimique rend les matériaux plus facilement fragmentable par la faune.

CONCLUSION

L'organisation micromorphologique caractérisant les andosols d'Olot, est-elle présente dans d'autres andosols ? Les observations de Kawai (1969) au Japon, celles de Fedoroff à Tenerife (Canaries) indiquent que l'organisation présente dans les andosols d'Olot est fréquente dans les andosols, mais qu'elle ne caractérise qu'un seul type d'andosol, les Dystrandepts (Soil Taxonomy, 1975), ou Andosols humifères désaturés (CPCS, 1967). Elle est caractérisée par :

— un entassement libre et régulier, à porosité moyenne à forte, d'agrégats élémentaires, d'agrégats secondaires, fréquemment d'agrégats arrondis et de fragments du matériau originel ;

— des agrégats élémentaires dépassant rarement 50 μ , circulaires, arrondis ou à angles émoussés, bruns et constitués de fragments d'humus, de produits ferrugineux et de minéraux primaires et d'une masse basale, les constituants étant distribués au hasard ;

— des agrégats secondaires à vides d'entassement résiduels ;

— des agrégats arrondis formés des mêmes constituants que les agrégats élémentaires, mais les fragments pouvant être plus grands.

L'altération des matériaux originels dans les andosols d'Olot est encore assez faible. Certains phénocristaux sont très peu altérés ; mais d'autres qui l'ont été, ont disparu presque en totalité. Les microlithes de plagioclases sont encore présents, apparemment inaltérés dans les verres jaunis ; ils disparaissent quand les verres se rubéfient. Mais l'altération affecte surtout les verres avec une progression de la périphérie vers le cœur ; dans un premier temps, on observe un jaunissement, suivi dans un second temps par une rubéfaction. Donc, dans ces andosols, l'altération affecte essentiellement les verres, forme minérale la plus altérable, sans redistribution visible de minéraux de néoformation, c'est-à-dire qu'on est en présence d'une altération « isovolume », par simple soustraction ionique de certains éléments.

Il est impossible de suivre l'altération des matériaux originels au cours de la fragmentation, celle-ci étant brutale. Au sein des agrégats, les fragments sont certainement l'objet d'une altération intense, mais leur faible taille ne permet pas de l'observer au microscope polarisant.

Enfin, le résultat le plus intéressant de l'étude micromorphologique nous paraît être la rubéfaction encore très faible, mais néanmoins nette qui affecte ces scories volcaniques post-würmiennes. Cette rubéfaction se développe donc sous un climat humide proche du climat tempéré « atlantique », sans saison sèche marquée et dans un matériau à drainage interne très élevé. Le faible développement de cette rubéfaction est dû à la durée relativement courte pendant laquelle celle-ci a pu se développer, et aussi semble-t-il à l'hydratation régulière du sol imputable à la rétention de l'humidité par les allophanes et à un micro-climat particulièrement humide.

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

BIBLIOGRAPHIE

- AGUILAR (J.), DELGADO (M.), 1973. Micromorphological study of soils developed on andesitic rocks in oriental Andaloucia, (Spain). Proceedings of the 4th Int. Work, Meeting on Soil Microscopy. Kingston, Canada, pp. 281-295.
- AUROUSSEAU (P.), 1976. Morphologie et genèse des sols sur granite du Morvan. Thèse. Université de Rennes. Série : C/62/6.
- BAL (L.), 1973. Micromorphological analysis of soils. Soil Survey Papers of the Netherlands Soil Survey Institute, Wageningen, nº 6.
- BARRATT (B.C.), 1968-69. A revised classification and nomenclature of microscopic soil materials with particular reference to organic components. *Geoderma*, 2, pp. 257-271.
- BARRATT (B.C.), 1971. Micromorphology of some intrazonal soils of New Zealand. New Zealand Journal of Science, vol. 14, n° 3, pp. 698-733.
- BECH (J.), 1974. Edafogénesis en la region volcànica de Olot (Gerona). Congr. Union Int. Est. Piren. Seo de Urgel-Andorra.
- BECH (J.), SEGALEN (P.), QUANTIN (P.), 1974. Sur la présence d'andosols à Olot (Gerona, Espagne). C.R. Acad. Sc., Paris, tome 278, série D, pp. 1341-1344.

- BECH (J.), QUANTIN (P.), SEGALEN (P.), 1976. Etude des andosols d'Olot (Gerona, Espagne). Première partie : Géologie, morphologie, caractéristiques physiques et chimiques. *Cah. ORSTOM*, sér. Pédol., vol. XIV, nº 1 : 73-87.
- BECH (J.), QUANTIN (P.) et SEGALEN (P.), 1976. Etude des Andosols d'Olot (Gerona, Espagne). Deuxième partie : caractéristiques minéralogiques. Conclusions. *Cah. ORSTOM*, *sér. Pédol.*, vol. XIV, n° 2 : 95-111.
- BENAYAS (J.), ALONSO PASCUAL (J.J.), FERNANDEZ-CALDAS (E.), 1973. — Effect of the ecological environment on the micromorphology and mineralogy of andosols (Tenerife Island). Soil Microscopy (Proceedings of the 4th Int. Work. Meeting on soil micromorphology), pp. 306-319.
- BESOAIN (E.), 1970. Investigación mineralógical de la fracción fina (50 μ) en algunos suelos volcànicos de Costa Rica. Inst. Interamericano Ciencias Agricolas, CEI, Turrialba, Costa Rica. Depto. Agrologia, SAG, Sucre 2391, Santiago Chile.
- BRESSON (L.M.), 1974. Rubéfaction récente des sols sous climat tempéré humide. Séquence évolutive sur fluvio-glaciaire calcaire dans le Jura méridional. Thèse 3° Cycle Université Paris VI, 197 p.

- BREWER (R.), 1964. Fabric and Mineral Analysis of Soils. (John Wiley and Sons).
- BRUCKERT (S.), HETIER (J.M.), GUTIERREZ (F.), 1974. Dynamique de l'humidification des Andosols du Massif Central Français et des Iles Canaries : caractérisation physico-chimique des complexes organo-minéraux. Science du Sol, nº 4-1974, pp. 225-245.
- CALHOUN (F.G.), CARLISLE (V.W.), MEJIA (L.), 1970. Unique micromorphological characteristics of Colombian andosols. Dep. Soils, Univ. Florida, Gainsville, Fla, III. S.A. Inst. Geogràfico A. Godazzi, Bogotà, Colombia.
- CALHOUN (F.G.), CARLISLE (V.W.), LUNA (C.), 1970. Micromorphology and genetic interpretations of selected colombian andosols. Dept. Soils, Univ. Florida, Gainesville, Fla. U.S.A. Dept. Inst. Geog. A. Godazzi, Bogotà, Colombia.
- CONINK (F. de), RIGHI (D.), MAUCORPS (J.) and ROBIN (A.M.), 1973. — Origin and micromorphological nomenclature of organic matter in Sandy Spodosols. *Soil Microscopy*, pp. 263-280.
- CORTES (A.), FRANZMEIER (D.P.), 1972. Weathering of primary minerals in volcanic ash derived soils of the Central Cordillera of Colombia. *Geoderma*, 8, n° 2-3.
- DELGADO (M. y otros), 1972. Estudio edafologico de la isla de Alboràn. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Granada.

- ESWARAN (H.), STOOPS (G.), DE PAEPE (P.), 1973. A contribution to the study of soil formation on Isla Santa Cruz, Galàpagos. *Pédologie*, XXIII, 2, pp. 100-122.
- JACKSON (M.L.), GIBBSONS (F.R.), 1972. Eolian influence on soils developed in a chronosequence of Basalts of Victoria, Australia. *Geoderma*, 8, nº 2-3.
- JEZEQUEL (S.), 1971. Préparation et fabrication des lames minces. ENSA Grignon. Document ronéotypé.
- KAWAI (K.), 1969. Micromorphological studies of andosols in Japan. The Bulletin of the National Institute of Agricultural Sciences (Japan), series B, nº 20.
- MOINEREAU (J.), 1974. Andosols, sols podzoliques, sols andiques et sols bruns : séquence sur matériaux basaltiques dans le Velay oriental et le Vivarais (Massif Central, France).
 2° partie : évolution de la fraction amorphe. Science du sol, 1974, n° 4, pp. 253-267.
- PARFENOVA (E.I.), YARILOVA (E.A.), 1967. Humus microforms in the soils of the USSR, Geoderma, 1, n° 3-4, pp. 197-207.
- QUANTIN (P.), 1972. Les andosols. Revue bibliographique des connaissances actuelles. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. X, n° 3: 273-301.
- RIGHI (D.) and CONINCK (F. de), 1973. Micromorphological aspects of Hunods and Haplaquods of the « Landes du Médoc », France. Proc. 4th Int. Work. Meeting soil Microscopy, Kingston, Canada, pp. 567-588.
- RODRIGUEZ (J.), MONTURIOL (F.), 1973. Andosuelos de la provincia de Gerona. Anales de Edaf. y Agrobiol., t. 32, nº 9-10.

390