

GENESE ET STABILISATION DES ACCUMULATIONS DE FER ET DE SILICE EN MILIEU ALTIMONTAIN PERHUMIDE, SUR ROCHES ULTRA-BASIQUES EN NOUVELLE-CALÉDONIE

LATHAM M.¹

ABSTRACT

Iron and silica accumulations, and their later destabilisation have been observed on a perhumid mountain soil derived from ultramafic rocks in New Caledonia. Observations and analyses have been performed on a vertical sequence of samples, at macroscopic, microscopic (optical microscope, microprobe) and ultramicroscopic (SEM) scales. In the weathering horizon, iron networks appear in the cracks of peridots and pyroxenes. Quartz veinlets, residues of silica accumulation in the rock diachases, can also be identified. In the intermediate horizon, iron reorganizes in a ferruginous matrix, first in weakly differentiated nodules and then in well contrasted, nodules. These nodules appear fragmented in the siliceous upper horizon, and the ferruginous matrix can no longer be seen. Quartz and chromite grains accumulate relatively showing corrosion features which indicate their partial dissolution. The mineral horizons are overlaid by a thick, acid, organic horizon. Iron accumulation (ferritisation), topped by an iron dissolution and a correlative quartz accumulation (podzolisation) are the two main pedogenetic processes which concur to form this soil.

MOTS-CLES :

Nouvelle-Calédonie – Altération de roches ultrabasiques – Ferritisation – Podzolisation.

INTRODUCTION

Les accumulations de fer et de silice recouvrant les massifs de roches ultrabasiques, et leurs évolutions ultérieures ont fait l'objet de nombreux travaux ces dernières années (TRESCASES, 1975 ; DELVIGNE, 1978 ; LEPRUN, 1979 ; NAHON et al 1982 ; LATHAM 1985). Ces accumulations qui sont le résultat de l'altération latéritique peuvent donner naissance à des couvertures pédologiques de plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur. Des accidents siliceux ou "pseudo-meulière", parfois décimétriques, peuvent jalonner la bordure des affleurements ou recouper ces derniers. Dans le cas étudié, la couverture pédologique ne dépasse guère un mètre d'épaisseur. L'objet de cette étude est de tenter d'analyser dans ce cas apparemment simple, les principales transformations ayant pris place au cours de ces différentes accumulations et des destabilisations qui les ont suivies.

MATERIEL ET METHODES

L'analyse a été menée dans la partie altimontaine (altitude 1200 m) d'un massif de roches ultrabasiques du centre ouest de la Nouvelle Calédonie. Le substrat est formé d'une harzburgite à olivine, serpentine, enstatite et chromite. Le climat est extrêmement humide avec des précipitations voisines de 3000 mm/an, sans mois réellement sec. La végétation est une forêt sempervirente à Lichens, Bryophytes et Hymenophyllacées. Des observations sur plaques minces au microscope polarisant, des examens au microscope électronique à balayage (MEB, JEOL 120) et des microanalyses réalisées sur une microsonde CAMEBAX équipée d'un dispositif ORTEC (Tension 15 Kv, courant 2 n A, temps de comptage 200 s) ont été effectués.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

La couverture du bas vers le haut est constituée par quatre ensembles :

- un ensemble d'altération ;
- un ensemble ferrugineux nodulaire ;
- un ensemble siliceux meuble ;
- un ensemble organique.

¹ – ORSTOM-UR 605, Pétrologie de la Surface, International Board for Soil Research and Management (IBSRAM) P.O. Box 9-109 Bangkok 10900 THAILANDE.

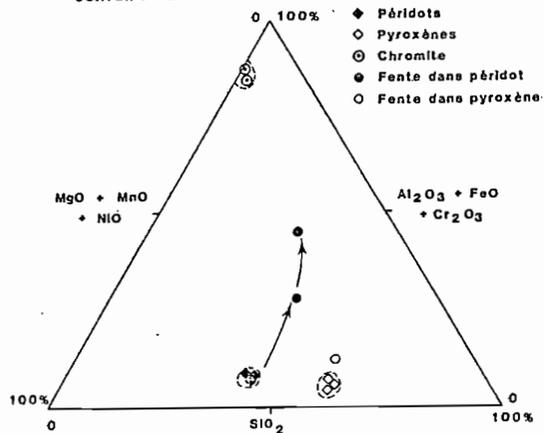
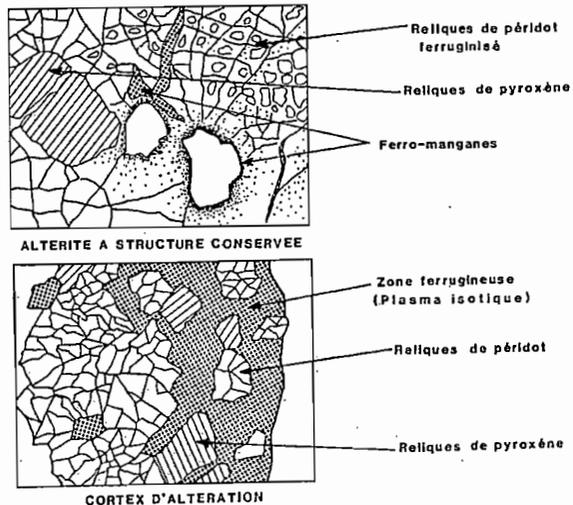


Fig. 1 – Microscopie et microanalyse de l'ensemble d'altération.

	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO	NiO
Périclote (M 3 analyses)	50,9	0,0	40,9	0,0	0,3	7,6	0,3
Produits fissuraux dans périclotes (M 2 analyses)	18,1	0,8	32,6	0,00	1,3	46,7	0,5
Pyroxènes (M 3 analyses)	35,2	1,3	7,6	0,5	0,2	5,4	0,00
Produits fissuraux dans Pyroxènes	29,0	1,3	37,2	0,9	0,5	10,8	0,3
Fond matriciel d'altération (M 2 analyses)	1,5	3,8	12,7	0,7	1,3	77,5	2,5
Imprégnation siliceuse (M 2 analyses)	0,1	1,2	97,0	0,00	0,00	1,7	0,9

Tableau 1 – Microanalyse des ensembles d'altération. (M= moyennes pour chaque phase ramenée à 100%)

	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO	NiO
Stade 1							
Nodule (M 5 analyses)	0,3	2,8	4,7	2,0	0,0	88,0	2,2
Fond matriciel (M 5 analyses)	0,6	5,4	4,9	1,7	0,0	86,4	1,4
Stade 2							
Nodule (M 7 analyses)	0,5	3,2	2,8	1,6	1,5	89,4	1,0
Fond matriciel (M 4 analyses)	9,0	2,4	36,5	0,5	1,1	50,0	0,5

Tableau 2 – Microanalyses de l'ensemble nodulaire (M= moyennes pour chaque phase ramenée à 100%).

L'ensemble d'altération

L'ensemble d'altération, de couleur brun jaune (7,5 YR 5/4) comprend un cortex d'altération de 1 à 2 cm d'épaisseur et, dans les anfractuosités rocheuses, un horizon à très forte microporosité, ayant le plus souvent conservé la texture de la roche.

Dans le cortex d'altération, les minéraux primaires (olivine, enstatite et chromite) sont en grande partie intacts, et l'altération se manifeste par une ferruginisation le long des maillages serpentiniteux de l'olivine et dans les macles des pyroxènes. En s'éloignant de la roche saine, les minéraux primaires s'isolent et leurs reliques diminuent en volume au profit d'un plasma d'altération isotique en lumière polarisée analysée (Fig. 1 et 2). Les micro-analyses réalisées dans ce plasma d'altération indiquent une ferruginisation importante, accompagnée d'une forte perte en magnésie et à un moindre degré en silice (Tab. 1). Cet enrichissement en fer est beaucoup plus précoce dans les péridots que dans les pyroxènes comme l'ont déjà montré GOLDICH, 1938 ; SMITH, 1962 ; MILLOT, 1964 ; TRESCASES, 1975 ; BESSET, 1978 et NAHON et al., 1982. Les produits formés, de composition ferro-silico-magnésienne (Tab. 1), correspondent à un mélange de goethite et de produits mal cristallisés.

L'horizon à très forte microporosité, observé dans les anfractuosités de la roche, est formé d'un assemblage de reliques parentales ferruginisées (maillage serpentiniteux, macles de pyroxènes), de grains de chromite et de minéraux feuilletés (talc). Les textures de ces minéraux sont parfois effondrées. Au MEB, on observe un empilement de cloisons ferrugineuses, goethitiques, d'aspect très poreux, et de densité apparente très faible (0,6 à 0,8, Fig. 3). Les micronalyses permettent de déterminer une composition essentiellement ferrugineuse (Tab. 1). La magnésie a été pratiquement totalement éliminée et la silice en grande partie. Les concentrations de fer sont multipliées par 10 par rapport aux minéraux primaires, sans signes majeurs de dépôt (ferranes). Ces accumulations sont donc essentiellement relatives, les transferts ne semblant affecter que des réorganisations intraminérales.

Certaines de ces reliques minérales sont entièrement imprégnées par la silice qui a recristallisé sous forme de micrograins de quartz, reconnaissables au microscope optique, en lumière polarisée analysée, par sa biréfringence et à la microsonde par une composition presque exclusivement siliceuse (Tab. 1). Par ailleurs, des filonnets de quartz recoupent cet horizon poreux. Ils correspondent à des plaquettes siliceuses dont l'épaisseur peut dans certains cas être centimétrique et qui présentent au MEB la forme caractéristique du quartz. Ces accumulations sont le résultat d'une pseudomorphose du maillage serpentiniteux par de la silice sous forme de quartz et peuvent être attribuées à une accumulation absolue de silice provenant de l'altération superficielle des péridots et des pyroxènes.

L'ensemble ferrugineux nodulaire

Le passage de l'ensemble d'altération à l'ensemble ferrugineux nodulaire se fait de façon progressive par réorganisation des produits ferrugineux sous forme d'amas arrondis de couleur plus sombre que le fond matriciel, puis l'individualisation de ces nodules et par déferruginisation partielle du fond matriciel.

Dans une première phase (stade 1), des plages de formes arrondies, avec des filonnets de quartz se différencient. Aucune discordance périphérique n'est visible, au microscope optique, entre ces nodules et le fond matriciel environnant. Les microanalyses chimiques ne permettent de déceler que de légers gains en fer et en nickel (Tab. 2). Ces faits nous permettent d'avancer qu'il s'agit de nodules formés "in situ" c'est-à-dire de nodules plasmiques comme cela a été noté dans d'autres milieux (MULLER et al., 1980 ; BOULANGE, 1984). L'examen au MEB montre que les nodules sont moins poreux que le fond matriciel. Ils correspondent à une réorganisation structurale et à une densification du plasma. Les concentrations de fer et de nickel dans ces nodules sont donc très probablement le résultat de transfert de ces éléments et d'accumulation centripètes dans la porosité intranodulaire.

Plus haut dans le profil (stade 2), les nodules se différencient véritablement (Fig. 4). Les contacts deviennent plus nets et plus contrastés en lumière transmise. Le fond matriciel apparaît hétérogène avec des plages ferrugineuses et d'autre beaucoup plus riches en grains de quartz et de chromite. Au MEB, ce fond matriciel est très poreux. Les micro-analyses révèlent une légère concentration en fer dans les nodules, mais de très nettes pertes de cet élément au profit de la silice dans le fond matriciel.

L'ensemble meuble siliceux

L'évolution ultérieure de l'ensemble ferrugineux nodulaire se fait par une poursuite de la déferruginisation qui atteint non seulement le fond matriciel mais encore les nodules. Cette déstabilisation se fait par dissolution des zones ferrugineuses les moins bien cristallisées (Fig. 5). Elle commence très généralement par le centre et peut disloquer le nodule en n'en laissant que des fragments dans un fond matriciel formé de grains de quartz et de chromite résiduels. Le devenir des produits ferrugineux dissous doit être recherché dans la constitution de l'horizon nodulaire et, plus bas dans le paysage, dans des réprécipitations de fer à l'exutoire de source où cet élément a pu épigéniser des réseaux racinaires. Au MEB, les grains de quartz et de chromite présentent des

fissures de corrosion signes de leur propre dissolution. Des horizons siliceux blancs de 20 à 30 cm d'épaisseur, composés presque uniquement de petits grains de quartz peuvent se développer dans des zones riches en concentrations siliceuses (Fig. 6).

L'ensemble meuble est donc le produit d'une double dissolution :

- rapide du fer du fond matriciel et des nodules ;
- beaucoup plus lente, des grains de quartz et de chromite résiduels.

Le résultat est une accumulation relative de grains de quartz secondaire (Fig. 7) et de grains de chromite.

L'ensemble organique

De 40 cm à plus de 1 m d'épaisseur, l'ensemble organique recouvre l'ensemble meuble siliceux dans ces zones de haute altitude. Il est formé de matière organique décomposée brun rouge dans laquelle on ne reconnaît que rarement l'organisation de fibres végétales. Très acide (pH $KCl = 2,6$), il est riche en humine et en acides fulviques comme cela est courant dans les mors des sols podzoliques (DUCHAUFOR, 1972 ; BOISSEZON et al., 1973 ; TURENNE, 1977). Associés à un fort drainage, ces humus constituent un solvant actif pour les produits ferrugineux sous jacents.

CONCLUSIONS

Mécanismes impliqués dans la différenciation pédologique, ferritisation, podzolisation.

L'altération des péridotites dans ce secteur est marqué par une ferritisation directe de la roche mère. Ferritisation, car dès l'altérite, la quasi totalité du magnésium et la majeure partie du silicium sont évacuées de la couverture pédologique. "Directe", car, entre cette altérite et la roche mère, ne subsiste qu'un cortex d'altération de 1 à 2 cm d'épaisseur composé de lithoreliques et de produits ferro-silico-magnésiens mal cristallisés. Les minéraux sont vidés par perte de la magnésic et de la majeure partie de la silice et seules subsistent des cloisons ferrugineuses correspondant au maillage des péridots et aux macles des pyroxènes. Il s'agit ici d'une accumulation relative de fer, les migrations de cet élément ne semblant pas dépasser l'échelle du minéral.

Ce fer va par la suite se réorganiser et se concentrer dans des nodules, d'abord sous forme diffuse, puis sous forme bien individualisée. Dans ces nodules, les concentrations du fer sont 10 fois supérieures à celles des minéraux originels. Au processus d'accumulation relative du fer dans le plasma d'altération s'ajoute le mécanisme d'accumulation absolue centripète dans les nodules.

Dans la phase nodulaire, une dissolution des hydroxydes de fer prend tout d'abord place dans le fond matriciel internodulaire. Dans l'ensemble meuble supérieur, cette dissolution affecte non seulement le fond matriciel internodulaire mais les nodules eux-même. Elle est à rapprocher de l'épais manteau de matière organique qui recouvre le sol. Les conditions de forte acidité et de drainage abondant nécessaires à la podzolisation sont ainsi réunies (PEDRO et SIEFFERMANN, 1975). La formation d'un horizon spodique caractéristique des podzols n'a cependant pas pu être mise en évidence. Il semble que les mouvements du fer sous forme de complexe humo-ferrugineux se réalisent sur de plus grandes distances que la simple distribution verticale dans un profil, comme en témoignent des tubules ferrugineux observés autour d'un niveau de source, 200 m en aval. Il y aurait donc podzolisation mais pas de véritables podzols.

La silice précipite dans les reliques minérales et dans les fissures de la roche sous forme de quartz secondaire. Par la suite, les quartz ont eux aussi tendance à se dissoudre, mais moins rapidement que le fer des goethites. Ils s'accumulent donc relativement dans la partie superficielle des sols.

La faible épaisseur de ces sols, recouverts d'un épais manteau de matière organique, et souvent en position de plateau peut étonner. D'autant que des blocs de cuirasse résiduels, signes d'une couverture pédologique plus complète, ont été observés sous le manteau de matière organique. L'érosion apparaît difficile à mettre en cause pour expliquer cette faible épaisseur des sols. Il semble donc bien qu'il faille faire appel pour l'expliquer aux mécanismes de dissolution des produits ferrugineux mais aussi des produits siliceux, décrits dans cette étude.

La couverture pédologique apparaît donc dans ce cas comme le résidu d'un mécanisme d'ensemble de dissolution géochimique du substrat dans lequel seraient éliminés successivement le magnésium, une partie du silicium, l'autre recristallisant sous forme de quartz secondaire, le fer qui s'était concentré sous forme de goethite puis le quartz secondaire lui-même.

Il faut enfin souligner l'intérêt de l'analyse à toutes les échelles. L'analyse macroscopique permet de poser les problèmes. L'analyse aux échelles microscopique et ultramicroscopique permet, par comparaison d'une succession d'échantillon de comprendre dans ce cas la formation et la déstabilisation des accumulations de fer et silice dans ce profil.

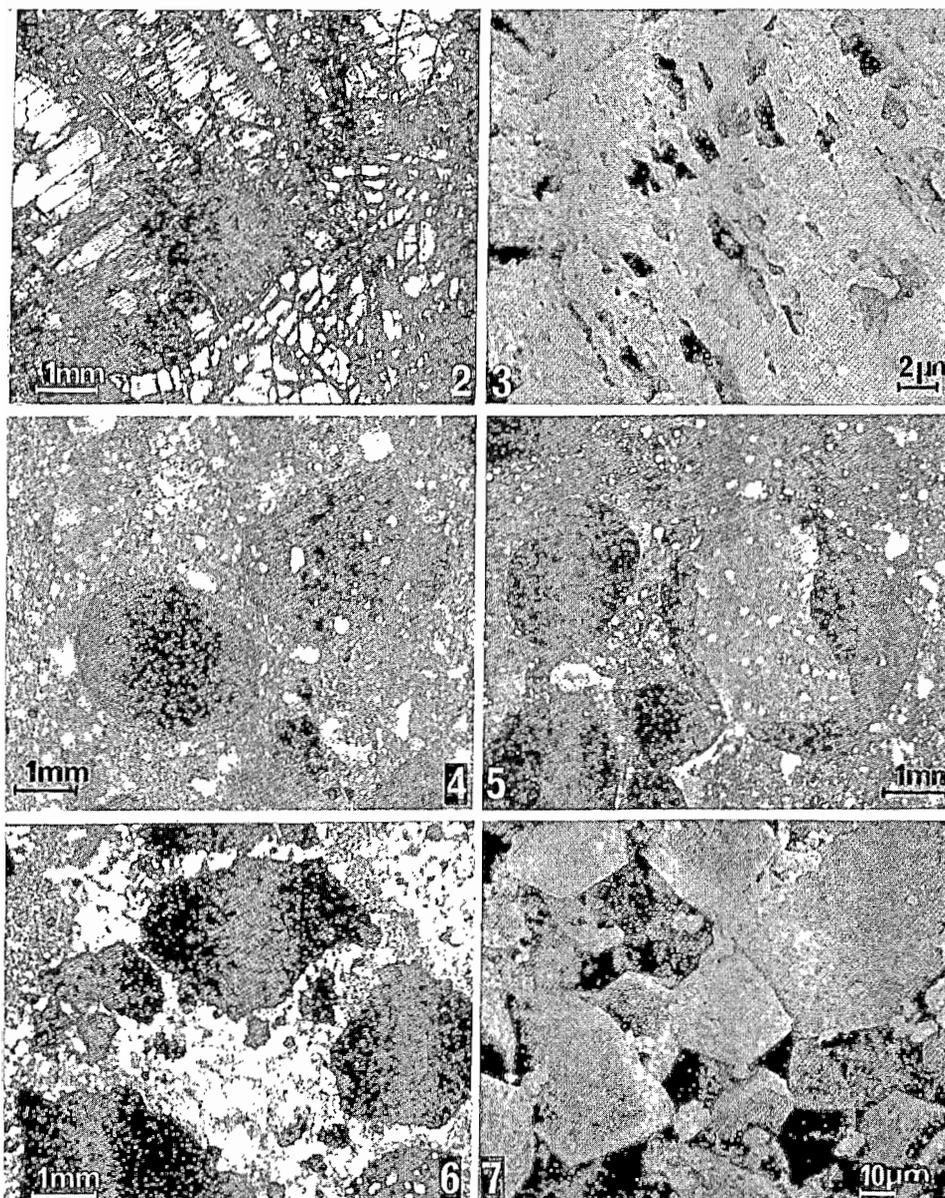


Fig. 2 – Ensemble d'altération. Ferruginisation en réseau des péridots et pyroxènes.
 Fig. 3 – Ensemble d'altération. Réseau ferruginisé dans lithorelict.
 Fig. 4 – Ensemble nodulaire partie inférieure. Nodules individualisés.
 Fig. 5 – Ensemble nodulaire partie supérieure. Nodule déstabilisé.
 Fig. 6 – Ensemble siliceux. Accumulation de quartz.
 Fig. 7 – Ensemble siliceux. Grains de quartz. (MEB)

REFERENCES

- BESSET, F., 1978. Localisation et répartition successives du nickel au cours de l'altération latéritique des péridotites de Nouvelle-Calédonie. Thèse Doct. 3ème cycle Montpellier 129 p.
- De BOISSEZON, P., MOUREAUX, C., BOCQUEL, G., BACHELIER, G., 1973. Les sols ferrallitiques T IV. La matière organique et la vie dans les sols ferrallitiques. Initiation, Documentation technique N° 21 ORSTOM Paris.
- BOULANGE, B., 1984. Les formations bauxitiques latéritiques de Côte d'Ivoire. Les faciès, leurs transformations, leurs distributions et l'évolution du modelé. Trav. et Doc. de l'ORSTOM N° 175 364 p.
- DELVIGNE, J., 1978. Micromorphologie des processus d'altération des roches ultrabasiques de Côte d'Ivoire en vermiculite et kaolinite. Proc. Intern. Work meeting on Soil Micromorphology. Granada Espagne : 389 - 406.
- DUCHAUFOR, Ph., 1972. Processus de formation des sols. Biochimie et Géochimie. Univ. de Nancy. 184 p.
- GOLDICH, S.S., 1938. A study in rock weathering. Journ. of Geology 36 : 280 - 305.
- LATHAM, M., 1985. Altération et pédogénèse sur roches ultrabasiques en Nouvelle-Calédonie. Génèse et évolution des accumulations de fer et de silice en relations avec la formation du modelé. Thèse Doct. Etat Dijon ORSTOM. Coll. Etudes et Thèses 331 p.
- LÉPRUN J.C., 1979. Cuirasses ferrugineuses des pays cristallins de l'Afrique Occidentale sèche. Génèse, transformation, dégradation. Mem. Sci. Geol. Strasbourg 58 : 224 p.
- MILLOT, G., 1964. Géologie des argiles. Masson Paris 499 p.
- MULLER, D., BOCQUIER, G., NAHON, H., PAQUET, H., 1980. Analyse des différenciations minéralogiques et structurales d'un sol ferrallitique à horizon nodulaire du Congo. Cah. ORSTOM ser. Pédol. Vol XVIII (2) : 87 - 109.
- NAHON, D., PAQUET, H., DELVIGNE, J., 1982. Lateritic weathering of ultramafic rocks and the concentration of nickel in the western Ivory Coast. Econ. Geol. 77 : 1159 - 1175.
- PEDRO, G., SIEFFERMANN, G., 1979. Weathering of rocks and formation of soils. In review in modern problems of Geochemistry. F.R. SIEGEL ed. UNESCO Paris : 39 - 55.
- SMITH, W.W., 1962. Weathering in some Scottish basic igneous rocks with reference to soil formation. Soil. Sci. J. 13 : 202 - 214.
- TRESCASES, J.J., 1975. L'évolution géochimique supergène des roches ultrabasiques en zone tropicale. Formation des gisements nickelifères de Nouvelle-Calédonie. Mem. ORSTOM 78 Paris 259 p.
- TURENNE, J.F., 1977. Mode d'humification et différenciation podzolique dans deux toposéquences guyanaises. Thèse Doct. Etat Nancy. Mem. ORSTOM 84 Paris.

MICROMORPHOLOGIE DES SOLS



SOIL MICROMORPHOLOGY

Édité par :

N. FEDOROFF, L.M. BRESSON et M.A. COURTY

Association Française



pour l'Étude du Sol

ISBN 2 903643 15-7

Sous-commission de Micromorphologie des Sols de l'Association Internationale de la Science du Sol.

Actes de la VII^e Réunion Internationale
de Micromorphologie des Sols
Paris - Juillet 1985

MICROMORPHOLOGIE DES SOLS

Édité par/Edited by
N. FEDOROFF, L.M. BRESSON
Institut National Agronomique Paris-Grignon
et
M.A. COURTY
Institut du Quaternaire, Université de BORDEAUX 1

SOIL MICROMORPHOLOGY

Proceedings of the VIIth International
Working Meeting on Soil Micromorphology
Paris - July 1985

Sub-Commission of Soil Micromorphology of International Society of Soil Science

1987

Association Française



pour l'Étude du Sol