

Aspects minéralogiques et pédogénétiques de deux sols dérivés de péridotites dans l'ouest de Cuba

Pierre SÉGALEN (1), Dalmacio BOSCHI (2), Abilio GARDENAS (2), Eloy CAMACHO (2), Annie BOULEAU (1),
Huguette GUÉNIN (1), Dominique RAMBAUD (1)

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

(2) Institut des Sols de l'Académie des Sciences de Cuba. Apartado 8022, Capdevila, Habana, Cuba

RÉSUMÉ

Deux sols dérivés de péridolite ont été examinés dans la partie occidentale de Cuba. L'un d'eux, MAD, est chargé en quartz, et renferme dans ses parties rouges de l'hématite et de la goethite, dans ses parties brunes uniquement de la goethite. L'autre, CAJ, de couleur rouge, contient surtout de la goethite et un peu d'hématite et pas de quartz. Il présente à la base du profil de l'antigorite en abondance. Les teneurs en oxydes de fer, ramenées à la fraction fine sont de l'ordre de 60 %, un seul pedon contient de la gibbsite ce qui abaisse notablement le rapport silice-alumine. Il existe des minéraux argileux 1/1 en quantité modérée et un peu de minéraux argileux 2/1.

Ces deux sols posent des problèmes analytiques : la détermination des oxydes de fer libres ne peut se faire par les méthodes traditionnelles ; la gibbsite ne peut être identifiée qu'après élimination de très fortes quantités d'oxydes de fer.

La genèse de ces sols s'effectue par hydrolyse complète des minéraux constitutifs dominants des péridotites. Mais deux voies peuvent être retenues. Dans l'une, la silice précipite en abondance, sous forme de quartz. Dans l'autre, la silice et le magnésium sont d'abord retenus sous forme d'antigorite qui disparaît à son tour.

SUMMARY

Two peridotite derived soils are examined in western Cuba. One of them (MAD) is quartz rich and presents two colors ; the red parts of the profile contain hematite and goethite, the brown ones only goethite. The other (CAJ) is red but contains amounts of goethite and no quartz, but near the parent rock is rich in antigorite. The amount of iron oxides, after deduction of the sands, is around 60% ; one of the soils contains moderate amounts of gibbsite which lowers the silica/alumina ratio. Clay minerals, in moderate amount, can also be identified.

Both soils set analytical problems : the determination of free iron oxides cannot be done by usual methods. Gibbsite cannot be identified without removal of most of the iron oxides.

Soil genesis is accomplished through complete hydrolysis of the dominant minerals. But two different paths are possible. In the first, silica precipitates abundantly, as quartz. In the second, some silica and magnesium are retained as antigorite before they both disappear completely.

RESUMEN

Fueron estudiados dos suelos derivados de peridotitas en la parte occidental de Cuba. Uno de los dos, MAD, contiene abundante cuarzo, y encierra en las partes rojas, la hemalita y la goethita. El otro, CAJ, es rico en goethita, no contiene cuarzo, pero en la base del perfil es abundante la antigorita. El contenido en óxidos de hierro, en base a la fracción fina es del orden de 60 %, solo un edafón contiene gibbsita, lo cual reduce notablemente la relación sílice/aluminio. Existen en cantidades moderadas minerales arcillosos 1/1 y un poco de minerales arcillosos 2/1.

En ambos casos se presentan problemas analíticos: la determinación de óxidos de hierro libre no puede realizarse por los métodos tradicionales; la gibbsita no puede ser identificada, hasta tanto no sean eliminadas grandes cantidades de óxidos de hierro.

La genesis de estos suelos se produce por un hidrolisis completa de los minerales dominantes que constituyen las peridotitas. Pueden considerarse dos vías: una donde la sílice precipita en abundancia en forma de cuarzo; la otra, la sílice y el magnesio son retenidos primeramente en forma de antigorita, la cual desaparecera posteriormente.

Introduction

Au cours d'une tournée effectuée en 1979 avec G. AUBERT dans l'ouest de Cuba, deux sols dérivés de péridotite ont été examinés. Le premier, dénommé MAD, a été observé près de Madruga, à environ 35 km au Sud-Est de La Havane, à 100 m d'altitude. Le deuxième, dénommé CAJ, a été observé près de l'école forestière de Cajalbana, à environ 90 km à l'Ouest de La Havane, à 700 m d'altitude. Ces deux sols appartiennent au groupement des sols ferritiques (1) de la classification génétique des sols de Cuba (1979). Dans la classification française CPCS (1967), ils appartiennent, par leur genèse, aux sols ferrallitiques, mais à une place encore à préciser. Dans la Soil Taxonomy (1975), ce sont des *acrorthox* et dans la légende des sols F.A.O.-U.N.E.S.C.O., des *ferralsols acriques*.

Ces sols ferritiques ont attiré l'attention depuis fort longtemps. BENNETT et ALLISON (1928) les ont décrits sous le nom de *série de NIPE*. Ils ont fait déjà l'objet de diverses études par CARDENAS *et al.* 1978, SAAVEDRA *et al.* 1976.

Un certain nombre de déterminations et de mesures ont été effectuées sur les échantillons prélevés sur ces profils, afin de préciser la nature des constituants minéraux de ces sols.

1. MATÉRIEL ÉTUDIÉ. MÉTHODES ANALYTIQUES ET D'EXAMEN

Quelques données succinctes sont fournies sur les deux profils :

MAD dérivée d'une roche fortement serpentinisée (cf. photo 1)

- 0-20 cm Brun foncé; argilo-sableux, structure polyédrique émoussée moyenne. La transition brutale avec la partie inférieure du profil fait penser que cet horizon est remanié.
- 20-100 cm Rouge (10 R 3/4) avec des poches brunes (2,5 YR 3/6); argilo-sableux avec de nombreux petits grains de quartz; structure polyédrique émoussée très fine.
- 100 et + Rouge (10 R 3/4) avec de nombreuses lames de quartz verticales.

Deux prélèvements ont été effectués: MAD 1 dans la partie rouge, MAD 2 dans une poche brune afin de déterminer en quoi diffèrent ces deux parties du profil.

CAJ dérivé d'une roche péridotite à olivine et hypersthène (cf. photo 2)

- 0-10 cm Rouge foncé (10 R 3/3); argileux; structure nuciforme très fine; très friable; nombreuses racines.
- 10-80 cm Rouge foncé (10 R 3/2); argileux; structure nuciforme très fine: avec une surstructure en assez gros blocs prismatiques; très friable.
- 80-90 cm Roche recouverte d'un enduit lamellaire blanc.

Quatre échantillons ont été prélevés: CAJ 1 à 0-10 cm, CAJ 2 à 50 cm, CAJ 3 à 75 cm; CAJ 4 correspond aux lames blanches.

Les deux profils sont donc peu épais; la structure est polyédrique émoussée moyenne en surface à polyédrique fine à très fine en profondeur; la couleur est rouge foncé, régulière à Cajalbana; avec des taches brunes à Madruga.

La texture est très différente, puisqu'à Madruga, le quartz est très abondant, et absent à Cajalbana. Les lames blanches sont particulièrement nettes à Cajalbana, absentes à Madruga.

(1) Cf. ZONN *et al.* 1966.

TABLEAU A

Analyse triacide des échantillons : (a) échantillon brut ; (b) après enlèvement du résidu ; PF : perte au feu ; Fe₂O₃ L : 3 extractions dithionite de sodium ; T : attaque acide chlorhydrique concentré bouillant.

	SiO ₂ ½	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	MnO ₂ %	PF %	Résidu %	CaO %	MgO %	K ₂ O %	Na ₂ O %	Total %	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ R ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ Libre %	Fe ₂ O ₃ Total %	Fe ₂ O ₃ L/T
MAD 1....	7,60	6,40	28,3	0,19	0,07	5,70	50,4	0,36	0,30	0,07	0,29	99,68	2,01	0,52	16,1	27,75	58,0
(a) 2....	5,00	3,25	27,8	0,07	0,08	5,45	57,3	0,24	0,46	0,05	0,33	100,03	2,61	0,40	15,0	26,0	57,7
MAD 1....	15,32	12,90	57,11	0,38	0,14	11,49		0,72	0,60	0,14	0,58	99,38			32,4	55,9	
(b) 2....	11,71	7,61	65,10	0,16	0,18	12,82		0,56	1,07	0,12	0,77	100,11			35,1	60,9	
CAJ 1....	7,40	14,9	56,3	0,45	0,81	10,2	6,35	0,61	1,47	0,10	0,27	98,86	0,84	0,25	18,5	50,25	36,8
(a) 2....	8,10	15,0	58,8	0,41	0,64	10,5	3,80	0,29	1,38	0,08	0,30	99,30	0,91	0,26	25,9	54,75	47,3
3....	8,00	13,3	59,4	0,34	0,44	10,5	5,35	0,31	1,46	0,07	0,24	99,41	1,02	0,26	24,9	55,0	45,3
4....	25,50	1,75	10,5	0,02	0,16	5,65	26,30	0,60	28,75	0,04	0,27	99,54	24,71	5,08	4,9	10,25	47,8
CAJ 1....	7,90	15,91	60,12	0,48	0,86	10,9		0,65	1,57	0,11	0,28	98,75			19,8	53,65	
(b) 2....	8,42	15,59	61,12	0,43	0,66	10,9		0,30	1,43	0,08	0,32	99,26			27,8	53,7	
3....	8,48	14,09	62,95	0,36	0,46	11,1		0,33	1,54	0,07	0,25	99,63			26,3	58,1	
4....	34,6	2,4	14,25	0,03	0,22	7,66		0,81	39,0	0,05	0,37	99,39			6,6	13,9	

Sur les échantillons prélevés, on a effectué l'analyse chimique par attaque triacide et la détermination du fer libre et du fer total par les techniques en au laboratoire des sols des S.S.C. de l'O.R.S.T.O.M.

On a également effectué sur le sol total, et sur la fraction < 2 µ, la diffraction des rayons X, avant et après déferrification. La fraction argile a été examinée au microscope électronique à transmission (JEOL JEM 100 µ).

2. RÉSULTATS OBTENUS

ANALYSE CHIMIQUE AU RÉACTIF TRIACIDE (TABL. A)

Un certain nombre de caractéristiques apparaissent :

(a) de fortes teneurs en oxydes de fer ; celles de CAJ 1, 2 et 3 sont, en gros, le double de MAD 1 et 2 ;

(b) de faibles teneurs en silice, alumine et bases ;

(c) de très fortes teneurs en silice et magnésium dans le seul échantillon CAJ 4 ;

(d) de fortes teneurs en résidu d'attaque pour les échantillons MAD. Si on calcule les pourcentages d'oxydes par rapport à la fraction attaquée par le réactif, on constate que, dans les deux sols, les teneurs en oxyde de fer sont très voisines de 60 % ;

(e) les rapports Silice/Alumine. Pour l'échantillon MAD 1, on obtient 2,0, ce qui indique de la kaolinite et pas d'hydroxyde d'aluminium ; pour l'échantillon

MAD 2, on obtient 2,6, ce qui implique la présence de minéraux argileux 2/1.

Par contre, les échantillons CAJ 1, 2 et 3 ont un rapport SiO₂/Al₂O₃ de 1,0 à 0,8 ce qui implique la présence simultanée de kaolinite et d'hydroxyde d'aluminium.

EXTRACTION DES OXYDES DE FER LIBRES ET TOTAUX (tabl. A)

L'extraction des oxydes totaux donne des valeurs inférieures à celles obtenues par le réactif triacide, mais sensiblement du même ordre de grandeur.

L'extraction des oxydes libres a été conduite de deux manières :

(a) suivant la technique habituelle comportant trois extractions au dithionite de sodium ;

(b) en portant le nombre d'extractions à huit.

Le traitement habituel donne des valeurs représentant le tiers des oxydes totaux ; le traitement à huit extractions permet d'avoir les deux tiers des oxydes totaux et la courbe ne donne pas de signe d'un infléchissement significatif (fig. 1). Par conséquent, cette technique ne fournit pas de renseignements significatifs ; cela avait déjà été indiqué pour les échantillons à haute teneur en oxydes de fer (SÉGALEN, 1971). Dans le cas des sols étudiés, il est suggéré de s'en tenir aux extractions à l'acide concentré.

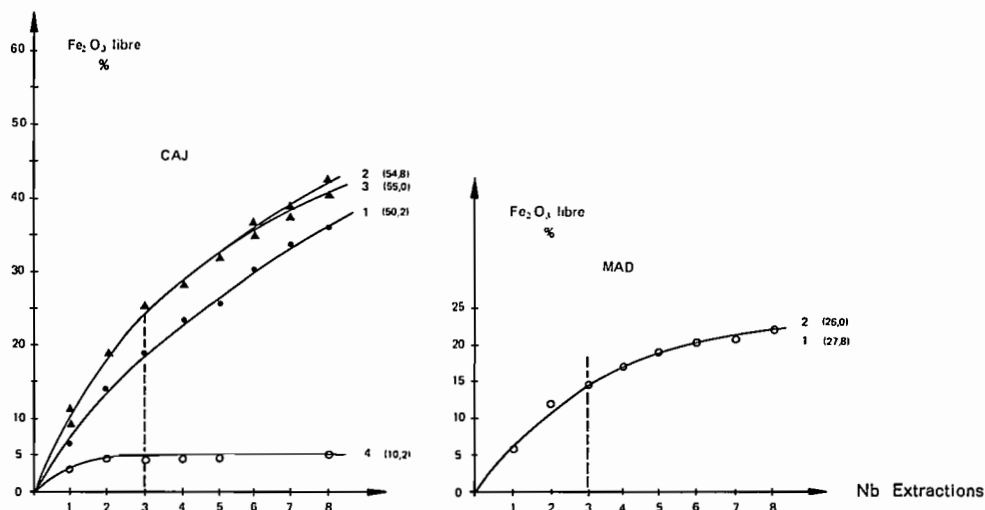


Fig. 1. — Dissolution des oxydes de fer libres par la dithionite de sodium. Les chiffres donnés pour chaque échantillon sont ceux des oxydes de fer totaux.

DIFFRACTION DES RAYONS X (FIG. 2 à 5)

Échantillons MAD 1. Sol entier.

L'examen des diagrammes X permet d'identifier immédiatement la goéthite, l'hématite et le quartz abondants, ainsi que des quantités plus faibles de magnétite identifiée par ailleurs par ses propriétés magnétiques.

La présence d'un minéral argileux 1/1 est décelable par une bosse à 7,3 Å; on ne discerne rien entre 10 et 20 Å.

Échantillon MAD 2. Sol entier.

L'examen du diagramme permet d'identifier quartz et goéthite.

La bosse à 7,3 Å est à peine marquée; un épaulement modéré, mais net, vers 12 Å indique la présence très probable d'un minéral argileux 2/1.

Échantillon MAD 1 et 2. Fraction inférieure à 2 μ.

L'examen des diagrammes sur la fraction argile de ces sols (poudre) apporte des précisions supplémentaires.

— Il y a toujours du quartz dans cette fraction, bien que les pics soient très faibles.

— La goéthite est très abondante dans les deux échantillons; mais, dans MAD 1 le pic de l'hématite est très fort. La magnétite n'est pas identifiable.

— Aucun pic attribuable à la gibbsite n'est visible.

— Dans les deux cas, le pic à 7,3 Å est très net,

mais peu aigu; il lui correspond un pic à 4,4 Å. L'épaulement entre 10 et 14 Å est net dans les deux échantillons.

Les traitements (chauffage, glycérolage) des deux échantillons permettent d'identifier pour MAD 1 un peu de chlorite et pour MAD 2 un interstratifié illite-montmorillonite.

Échantillons CAJ 1, 2 et 3. Sol entier.

Les diagrammes sur le sol entier permettent d'identifier immédiatement la goéthite dominante, l'hématite et un peu de magnétite. On peut reconnaître également, mais à l'état de traces, du pyroxène (hypersthène) et un minéral argileux 2/1 (faible épaulement vers 14 Å). Il n'y a pas de minéral argileux 1/1 visible.

Échantillon CAJ 4. Sol entier.

Cet échantillon renferme une très forte quantité d'antigorite, du pyroxène, de l'olivine et des traces de minéraux argileux 2/1. Les diagrammes établis sur la fraction argile (poudre) confirment, pour CAJ 1, 2 et 3, la prédominance de la goéthite sur l'hématite. La présence faible d'un minéral argileux à 7 Å est difficile à assurer. Les minéraux argileux 2/1 ne sont visibles que dans le CAJ 1. Les minéraux primaires ont disparu. Dans l'échantillon CAJ 4, l'antigorite domine à côté d'un peu d'hématite et de goéthite.

Les traitements (orientation, glycérolage, chauffage) de ces quatre argiles ne permettent pas d'identifier de minéraux argileux 2/1.

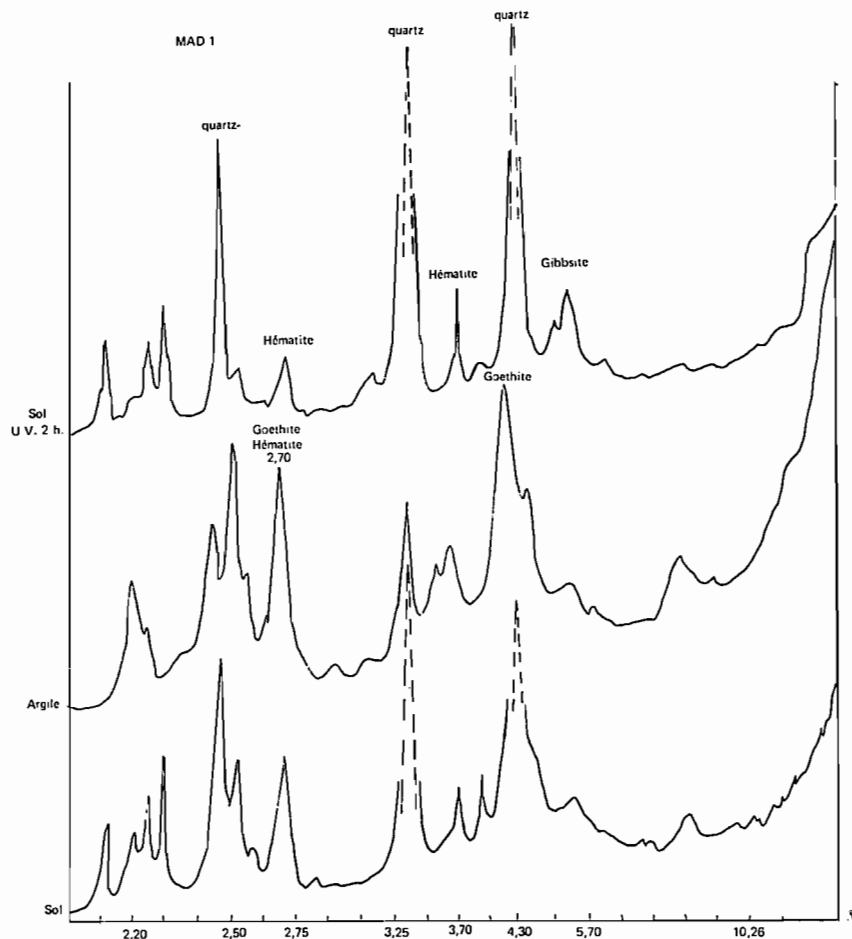


Fig. 2. — Diffraction des rayons X sur l'échantillon MAD 1 (sol, argile et sol traité suivant méthode d'Endredy).

L'examen des diagrammes X des sols ou des argiles sur cette série d'échantillons ne permet pas de voir de pic (à 4,8-4,9 Å ou 6,2 Å) susceptible d'indiquer la présence d'un hydroxyde d'aluminium. Des traitements particuliers ont été effectués pour déferrifier les échantillons, à l'aide de la technique de De Endredy (1963) avec une solution d'acide oxalique et d'oxalate d'ammonium irradiée trois heures par une lampe à ultraviolets. Les échantillons ainsi traités ont été de nouveau soumis à l'action des rayons X. On a alors constaté :

— Échantillons MAD : Des pics peu importants, mais nets à 4,83 et 3,11 Å apparaissent indiquant l'existence de petites quantités de gibbsite.

— Échantillons CAJ : Des pics très développés à 4,86 et 3,13 Å correspondant à la gibbsite apparaissent sur CAJ 2. Les pics des minéraux argileux 1/1 ne sont guère différents; les épaulements des minéraux argileux 2/1 sont mieux visibles.

MICROSCOPIE ÉLECTRONIQUE DE TRANSMISSION (photos 3 à 6).

Un certain nombre d'échantillons ont été préparés et examinés par microscopie électronique, à des grossissements allant jusqu'à 30.000. D'une manière générale, les quantités d'oxydes de fer sont telles qu'elles gênent la transmission du faisceau et que la qualité des images s'en ressent. On peut toutefois procéder à une déferrification partielle qui améliore notablement la qualité des clichés.

MAD. On peut reconnaître de très beaux bâtonnets ou fuseaux de goethite et des petites plaquettes hexagonales de kaolinite. Il est possible de reconnaître quelques masses nuageuses de smectites. La gibbsite n'est pas identifiable.

CAJ. Sur les clichés des échantillons 1, 2 et 3 déferrifiés, il est possible d'identifier à côté de la goethite, de la kaolinite en petites plaquettes, de

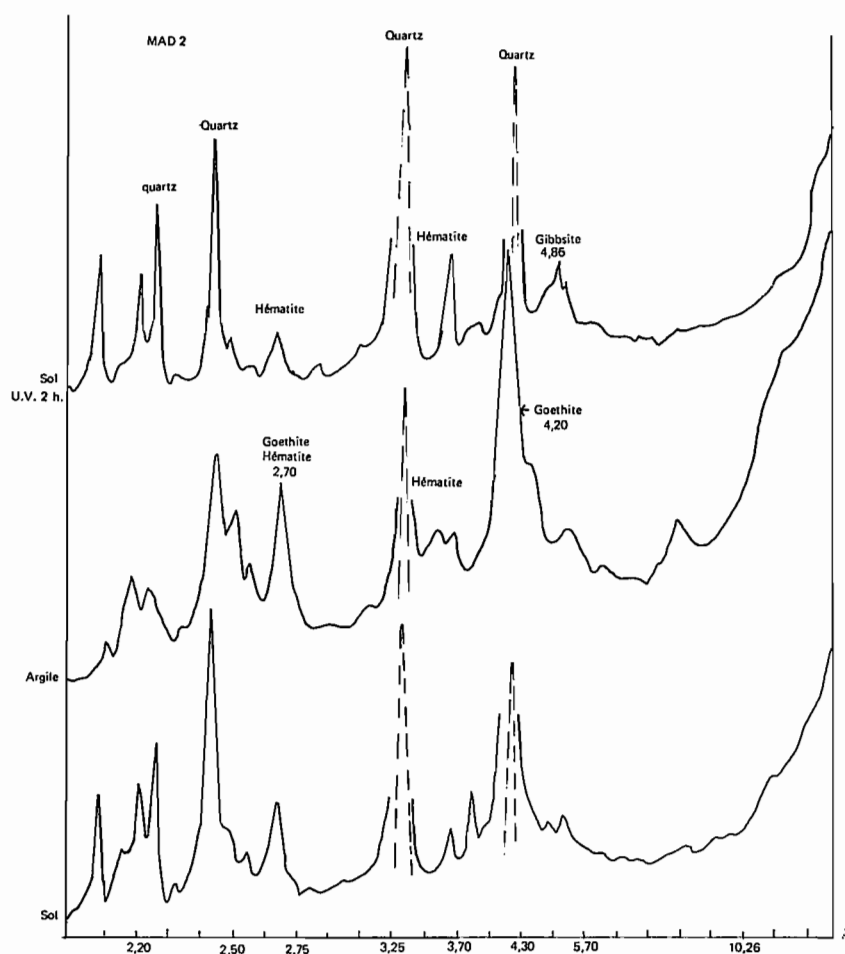


Fig. 3. — Diffraction des rayons X sur l'échantillon MAD 2 (sol, argile et sol traité suivant méthode d'Endredy).

TABLEAU B

Estimation des constituants dans les échantillons étudiés : MAD 1 et 2 : La présence simultanée de smectites et kaolinites ne permet pas une estimation quantitative. CAJ 1, 2 et 3 : L'attribution de toute la silice à la kaolinite permet d'estimer la gibbsite avec l'alumine restante ; la répartition de l'eau restante permet d'estimer la goethite et l'hématite. CAJ 4 : Le calcul est approximatif. Il est probable qu'il y a un léger excès de silice et de magnésium dû à une attaque des minéraux primaires.

	Résidu	Kaolinite	Smectite	Antigorite	Gibbsite	Goethite	Hématite	Reste	Total
MAD	1...	50,4	**	°	°	°	**	1,3	
	2...	57,3	*	°	°	**	*	1,2	
CAJ	1...	6,35	15,8	°	°	13,0	36	23,9	98,7
	2...	3,8	17,4	°	°	12,4	39	23,7	99,4
	3...	5,35	17,2	°	°	9,9	47	17,1	99,45
	4...	26,3	4,4	°	54	°	6	5,0	97,8

** abondant
 * peu abondant
 ° nul.

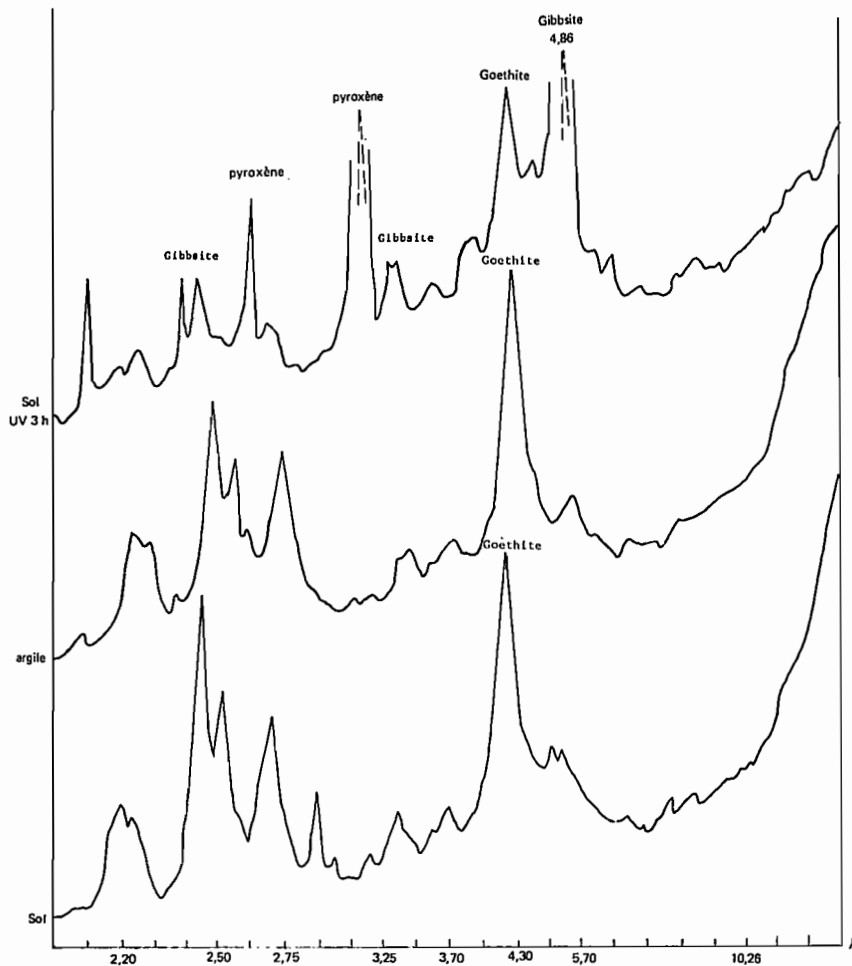


Fig. 4. — Diffraction des rayons X sur l'échantillon CAJ 3 (sol, argile et sol traité suivant méthode d'Endredy).

l'halloysite tubulaire; on ne voit ni smectite ni gibbsite. Sur les clichés de l'échantillon 4, on observe des bâtonnets rectangulaires de grande taille d'antigorite, dont l'identification est confirmée par microdiffraction d'électrons; on observe également quelques petites plaquettes de kaolinite et de très beaux cristaux de goethite.

Estimation des constituants. A partir des teneurs en oxydes, des diagrammes X et de la microscopie électronique, on a tenté d'estimer les teneurs en constituants des sols. Cette estimation est pratiquement impossible pour les échantillons MAD où coexistent kaolinites et smectites. Par contre, pour l'échantillon CAJ, on peut estimer les teneurs en kaolinite, antigorite, gibbsite, goethite et hématite. Les résultats sont portés sur le tableau B.

3. DISCUSSION ET CONCLUSIONS

Un certain nombre d'enseignements peuvent être tirés de cet ensemble de résultats :

1^o *Couleur des échantillons.* On ne peut décider au vu des échantillons, du minéral ferrugineux dominant. Certes, dans les échantillons MAD, le brun est plus riche en goethite, et le rouge est plus riche en hématite. Mais tous les échantillons CAJ, pourtant rouges, sont beaucoup plus riches en goethite qu'en hématite. Le pouvoir colorant de cette dernière est donc beaucoup plus fort que celui de la goethite.

2^o *Teneurs en oxydes de fer.* Les teneurs en oxydes de fer total déterminées par l'attaque triacide sont plus fortes que celles obtenues par l'acide chlorhydrique bouillant. On peut penser que la différence

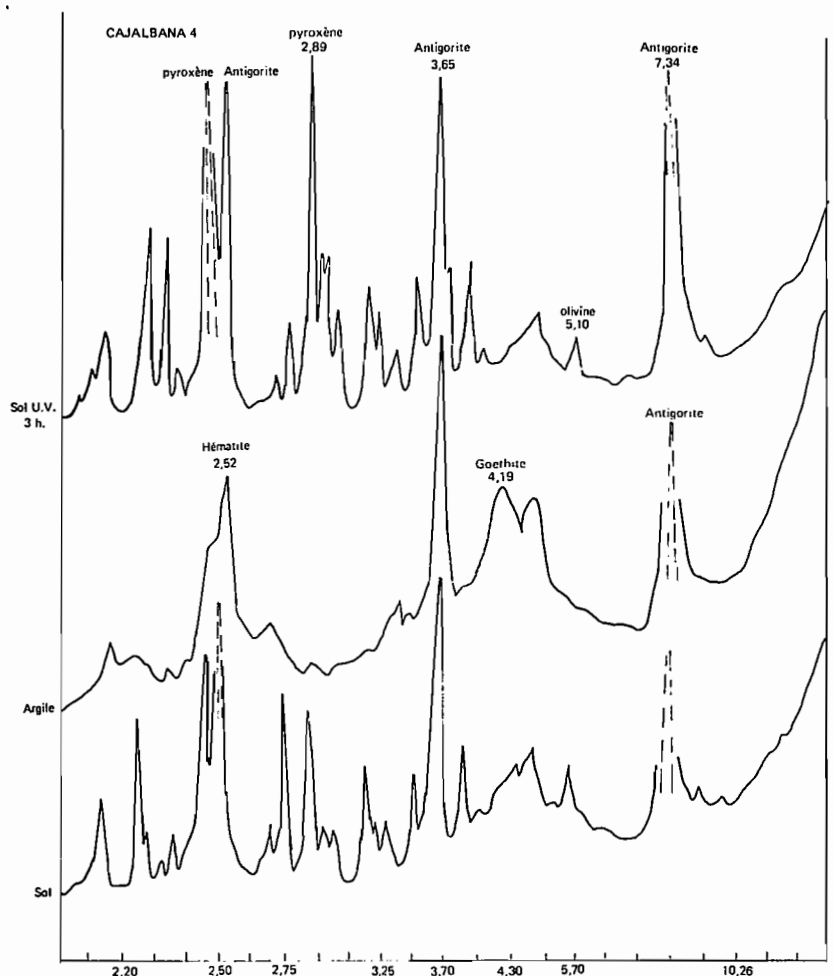


Fig. 5. — Diffraction des rayons X sur l'échantillon CAJ 4 (sol, argile et sol traité suivant méthode d'Endredy).

est due à la présence de minéraux primaires résistants.

Les teneurs en oxydes de fer libre déterminées par les méthodes de routine du laboratoire donnent des résultats insuffisants. Les trois extractions habituelles ne peuvent donner les résultats cherchés. En opérant avec huit extractions au lieu de trois, on obtient de meilleurs résultats, mais encore insuffisants (fig. 1), puisque la courbe de dissolution n'indique pas encore d'infléchissement. Le diagramme X des échantillons déferrifiés par un mélange d'acide oxalique-oxalate d'ammonium irradié par les ultraviolets montre encore des pics de goethite importants, alors que ceux de l'hématite ont disparu. Une technique comportant une attaque acide énergétique doit être utilisée pour ces sols en abandonnant les techniques trop douces au dithionite de sodium.

Quoi qu'il en soit, la goethite et l'hématite en proportions variables sont les constituants ferru-

gineux dominants. Les teneurs atteignent 50 à 60 % (tableau B).

3° Présence ou absence d'hydroxyde d'aluminium. La présence d'hydroxyde d'aluminium est pressentie par le rapport silice/alumine inférieur à 1,0. Toutefois, le diagramme X du sol total ou de la fraction argile ne permet pas d'identifier avec certitude la présence de gibbsite (la boehmite n'a pas été reconnue). Ce minéral n'est identifiable qu'après une déferrification; les pics 4,8 et 4,3 Å sont alors nettement visibles.

4° Identification des minéraux argileux. La présence de minéraux argileux 1/1 est pressentie aux rayons X, mais leur identification est incertaine. En microscopie électronique, la déferrification permet de reconnaître la kaolinite en petites plaquettes et les tubes d'halloysite.

La présence de minéraux argileux 2/1 en faible

quantité est difficile à identifier avec certitude par diffraction des rayons X. Par contre, après déferri-fication, il est possible de reconnaître en microscopie électronique des formes attribuables aux smectites.

La présence d'antigorite est reconnaissable par la forte teneur en magnésium, par le diagramme X ainsi que par la microscopie électronique et micro-diffraction d'électrons.

5° *Le quartz*. Cet oxyde a été identifié par la diffraction des rayons X, dans les échantillons MAD, où il est très abondant (près de 50 % de l'échantillon total). Par contre, il est absent des échantillons CAJ.

6° *Genèse des sols*. Ces deux sols dérivent de roches ultrabasiques. L'une d'elles MAD, est fortement serpentinisée, l'autre, CAJ, ne l'est pas. Ils ont en commun une couleur rouge foncée, une structure polyédrique émoussée très fine, une très grande friabilité. L'un contient du quartz en abondance, l'autre de petites concrétions.

Si on ne tient pas compte du résidu à l'attaque triacide, les deux sols ont une composition centésimale très voisine, caractérisée par une teneur en oxydes de fer de l'ordre de 50 à 60 %; ils ont une teneur en silice combinée comprise entre 8 et 15 %, en alumine 7 à 15 %. Les quantités de minéraux

argileux formés sont très faibles : kaolinite, halloysite, smectite et chlorite.

La genèse de ces sols peut être attribuée à une altération très poussée d'une roche ultrabasique où la quantité d'aluminium est très réduite. Cette altération permet l'évacuation de la quasi-totalité de la silice, sauf la quantité nécessaire pour se combiner avec une partie de l'aluminium; le magnésium est également à peu près totalement évacué. Le fer (de l'olivine, de l'hypersthène) va s'oxyder et s'accumuler sous forme d'hématite mais surtout de goethite. Une partie de ces oxydes va se rassembler en petites concrétions.

Mais deux voies sont possibles :

A MADRUGA, il ne subsiste presque pas de magnésium, ni aucun minéral de type antigorite. Par contre, l'abondante silice libérée, n'ayant rien pour se combiner, précipite sous forme de quartz, dans le profil en filonnets quasi verticaux (photo 1).

A CAJALBANA, on n'observe pas d'accumulation de quartz ni dans le profil ni à proximité de celui-ci. Par contre, on observe très près de la roche mère, mêlée à des olivines et pyroxènes, une mince accumulation d'antigorite. Celle-ci disparaît complètement à son tour et il ne reste que des sesquioxydes de fer.

BIBLIOGRAPHIE

- BENNETT (H. H.), ALLISON (R. V.), 1962. — Los suelos de Cuba, com. UNESCO. La Habana trad. de l'ouvrage de 1928.
- CARDENAS (A.), BAISSRE (J.), CALZADA (N.), 1978. — El complejo de adsorción de los suelos ferríticos de Cuba. Ciencias de la Agricultura. *Acad. Cienc. Cuba* (La Havane), 3 : 81-86.
- Comité de Pédologie et cartographie des sols (C.P.C.S.), 1963. — Classification des sols. Mimeo, Grignon, 96 p.
- DE ENDREDDY (A. S.), 1963. — Estimation of free iron oxides in soils and clays by a photolytic method. *Clay min. Bull.*, 29, 5 : 209-217.
- F.A.O.-U.N.E.S.C.O., 1975. — Carte mondiale des sols au 1/5.000.000. Légende, 62 p.
- Instituto de Suelos, 1975. — Segunda clasificación genética de los suelos de Cuba. *Acad. Cienc. Cuba* (La Havane). *Ser. Suelos* 23 : 1-25.
- SAAVEDRA (G.), PEREZ (A.), 1976. — Physical geographical characteristics of ferritic soils of the Cajalbana plateau and its typical vegetation of pines. *Transac. 23rd Intern. Geogr. Congr. Moscow*, t. 4 : 177-179.
- SÉGALEN (P.), 1970. — L'extraction du fer libre des sols à sesquioxydes par la méthode d'ENDREDDY par irradiation à l'ultra-violet des solutions oxaliques. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.* VIII, 4 : 483-496.
- SÉGALEN (P.), 1971. — La détermination du fer libre dans les sols à sesquioxydes. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.* IX : 3-27.
- U.S.D.A., 1975. — Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. *Agriculture handbook* 435, 754 p.
- ZONN (S. V.), CABRER MESTRE (P.), VASQUEZ (L. R.), 1966. — Attempt of compiling a genetic classification of Cuban Soils. *Sov. Soil. Sci.* : 1361-1371.



Photo 1. — Madrugá, précipitations de quartz secondaire.



Photo 2. — Cajalbana, blocs de péridotite recouverts d'antigorite.

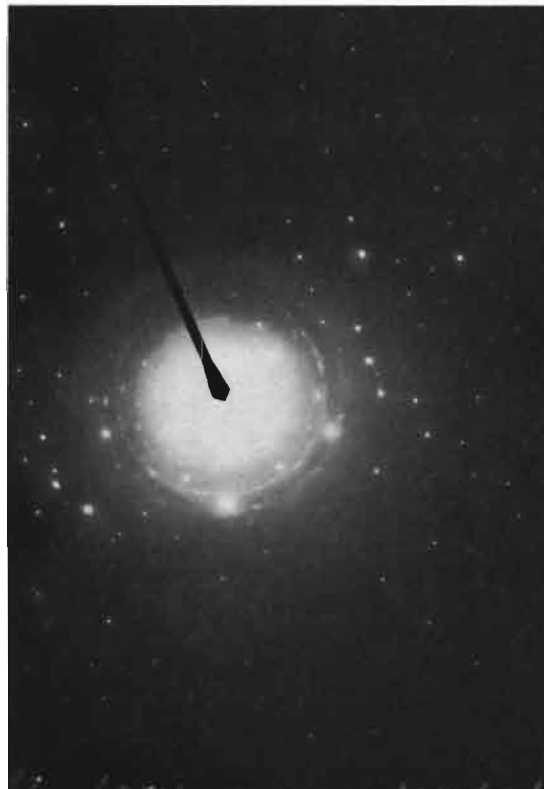
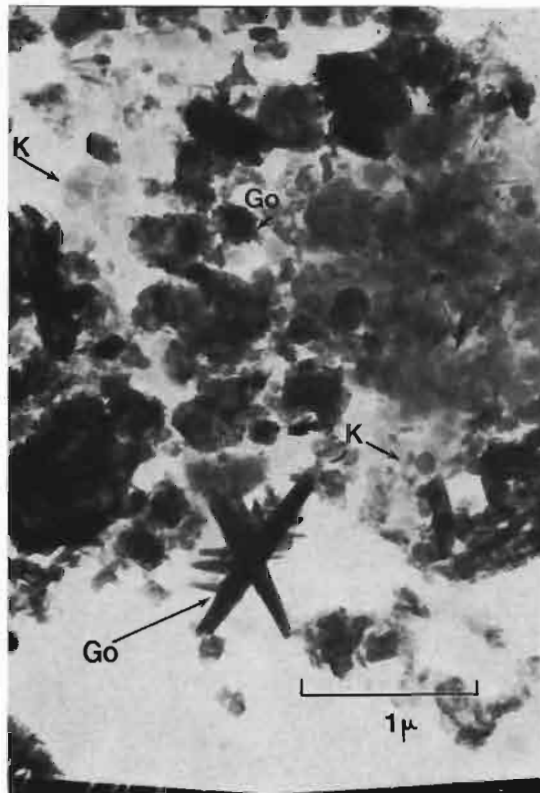
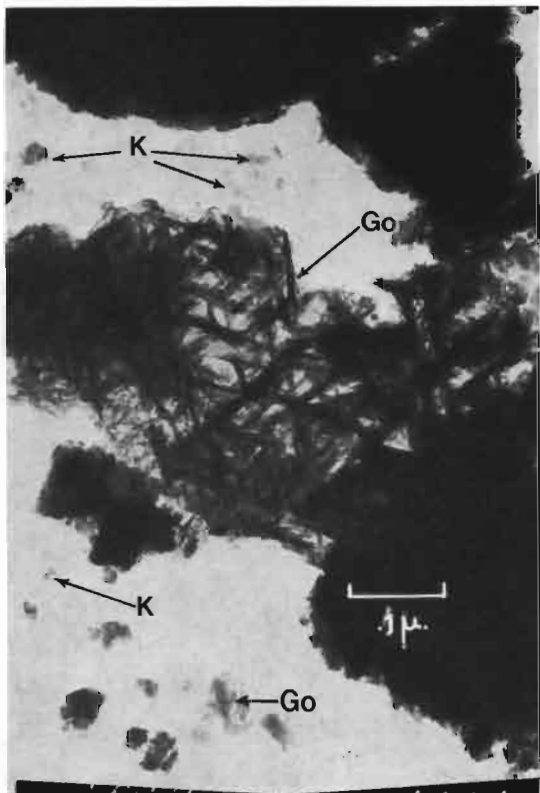


Planche I : MAD 42(×10 000) déferrifié Tamm.

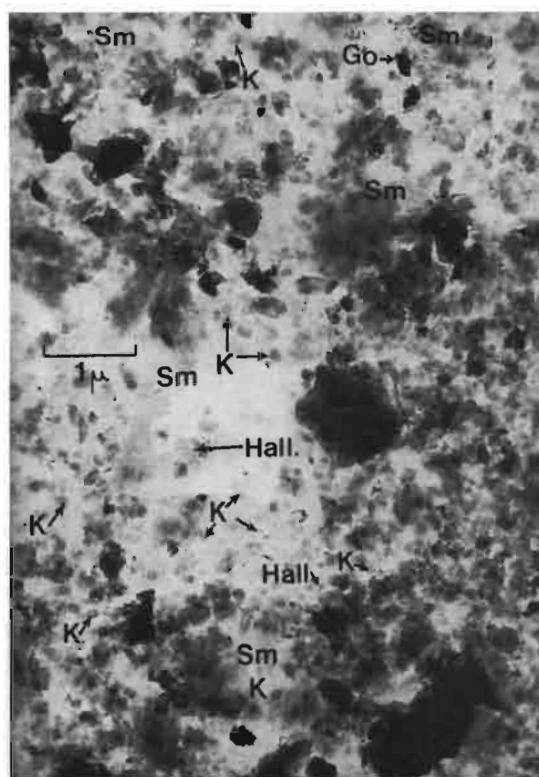
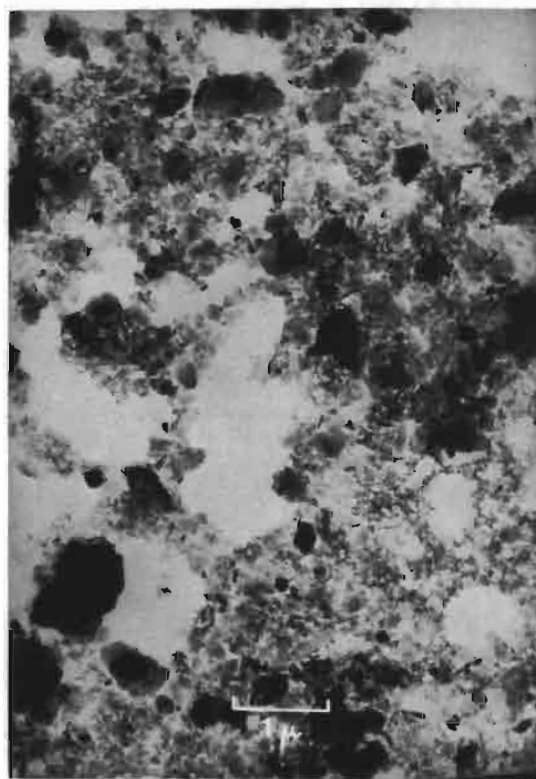
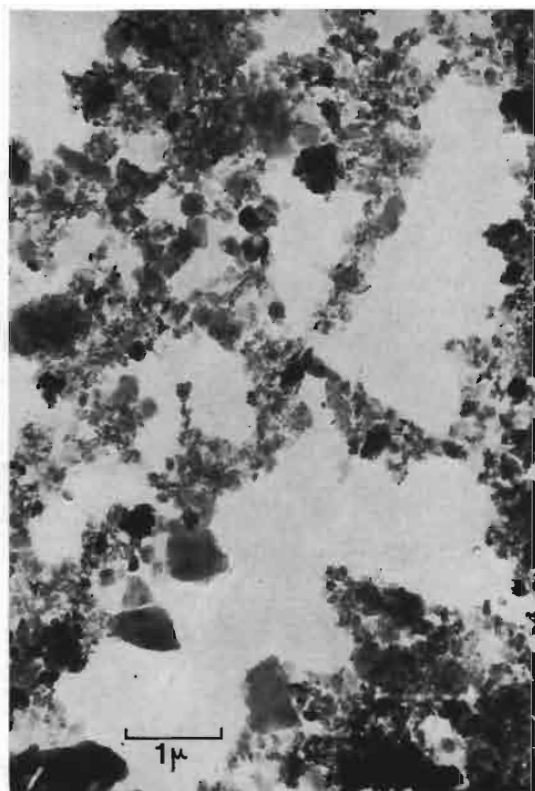


Planche II : MAD 42($\times 10\ 000$) déferrifié Tamm.