

Les oxydisols aluminomanganésifères du plateau d'Okouma au Gabon

Contribution à l'étude cristallochimique et géochimique des phénomènes de ferrallitisation

Edmond GUICHARD* et Gabriel TERCINIER**

Pédologues ORSTOM

* ORSTOM, B.P. 131-15, Libreville-Gros-Bouquet

** ORSTOM, 24 rue Bayard, 75008 Paris

RÉSUMÉ

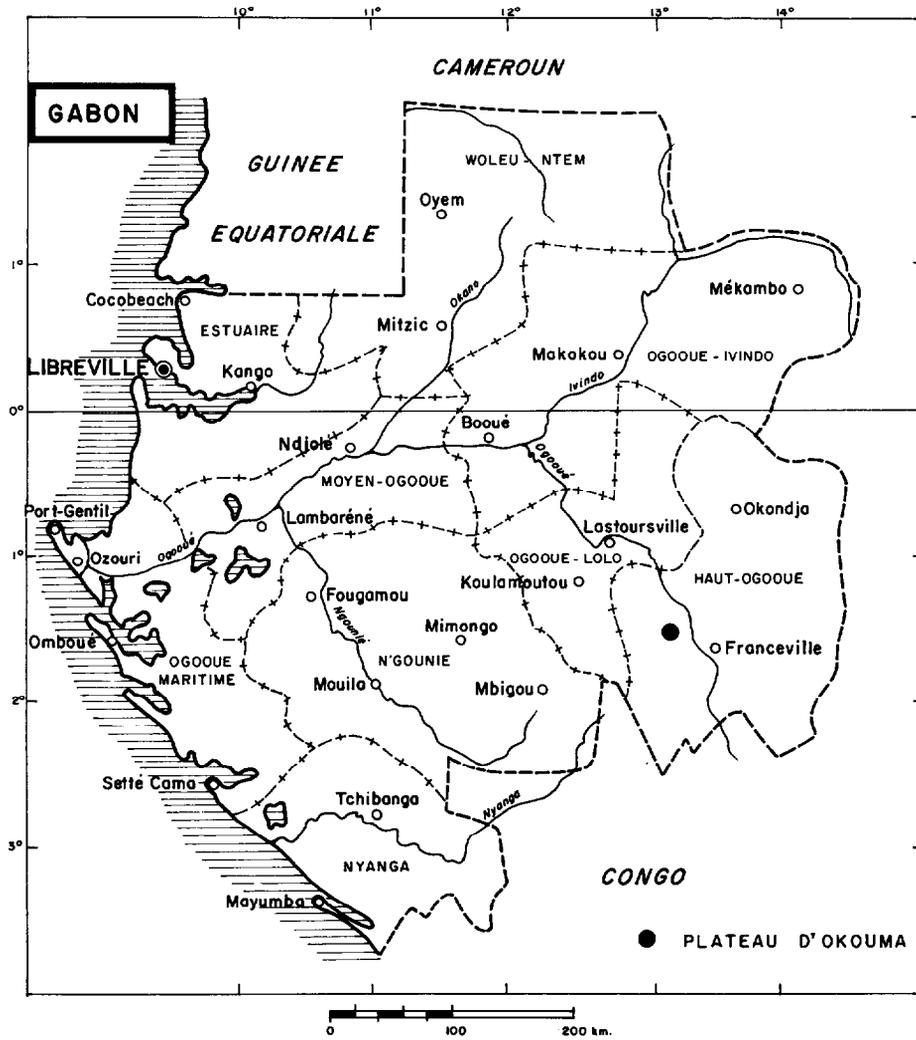
Dans les oxydisols, les argiles silicatées sont complètement subordonnées aux oxydes et la quantité d'alumine exprimée excède celle combinée à la silice. Formés sur Ampélites à ciment carbonaté manganéux et phyllites illitiques, les oxydisols gibbsitiques à pisolithes manganésifères du plateau d'Okouma et les sols pénévolués métahalloysitiques de ses flancs de pentes font l'objet d'une étude comparative. Les principales méthodes mises en œuvre sont la granulométrie avec et sans emploi d'ultra-sons, les mesures de surfaces spécifiques, l'analyse triacide, les attaques cinétiques, la diffraction aux rayons X, les analyses thermiques différentielles et pondérales.

Les oxydes de manganèse et, pour une part, l'alumine exprimée et l'oxyde de fer apparaissent amorphes ou presque amorphes. Des minéraux finement divisés et mal ordonnés, métahalloysite et « gibbsite labile » surtout, accompagnent ces produits amorphes.

Un bilan iso-titane de l'altérogenèse et des principales étapes de la pédogenèse est établi. Moins de 10 % des matériaux de la roche se retrouvent dans les oxydisols, contre environ 15 % dans les sols pénévolués et 33 % dans les « plaquettes schisteuses » de la « stone line » de ces derniers.

L'allitisation paraît principalement liée, dans ce cas, à la présence de manganèse empêchant l'individualisation de minéraux bien ordonnés et notamment de kaolinite. Selon une règle plus générale, la différenciation entre sols monosiallitiques et allitiques serait fonction des divers facteurs favorisant, défavorisant ou inhibant la kaolinisation. Cette dernière constituerait l'aboutissement d'une pédogenèse, tandis que l'halloysitisation n'en serait le plus souvent qu'une étape.

Un caractère très fréquent des oxydisols, retrouvé ici et souvent lié au développement d'une structure aliatique, est le rassemblement de leurs très petites particules élémentaires constitutives en pseudo-particules extrêmement stables de la taille des limons et des sables fins. Il en résulte que les habituelles relations entre composition granulaire, de quelque façon qu'on la détermine, et leurs propriétés physiques, mécaniques et hydriques ne sont pas respectées.



Carte 1 - Carte de situation

SUMMARY

ALUMINIUM MANGANESE OXYDISOLS FROM OKOUMA PLATEAU, GABON. CONTRIBUTION TO THE CRISTALLO-CHEMICAL AND GEOCHEMICAL APPROACH OF FERRALLITISATION

Silicate clays in oxidisols fully depend on oxides and the quantity of free alumina exceeds that combined with silica. A comparative study deals with gibbsitic oxidisols containing manganese-rich pisoliths on Okouma plateau and with metahalloysitic weakly leached soils on its slopes. Both are developed from ampeletes with illitic phyllites and a manganous carbonate cement. The main techniques applied are granulometry, whether involving ultrasounds or not, measurements of specific areas, tri-acid analysis, kinetic attacks, X-ray diffraction, differential thermal and thermo-ponderal analyses.

Manganese oxides and a part of free alumina and iron oxides appear in amorphous or nearly amorphous form. Finely divided and poorly arranged minerals, mainly metahalloysite and « labile gibbsite », can be found together with these amorphous products.

An iso-titanium balance of alterogenesis and to the main steps of pedogenesis is worked out. Less than 10 % of bedrock materials can be traced in oxidisols, whereas the figure is 15 % in weakly leached soils and 33 % in « shaly plates stone line » of the latter soils.

In the present case, allitization seems to be mainly related to the presence of manganese which prevents individualization of well arranged minerals, in particular kaolinite. According to a more general rule, differentiation between monosiallitic and allitic soils would depend on various factors that enhance, hinder or prevent kaolinization. The latter would be the last step of pedogenesis, whereas halloysitization would most often be transitory.

A quite frequent feature of oxydisols, which is found again here and is often related to the development of an alitic structure, consists in the gathering of their tiny constituent elementary particles into extremely stable pseudo-particles which are silt and fine sand-sized. It follows from this that the usual relationships between granulometry, however it may be determined, and their physical, mechanical and hydrous properties are not observed.

PLAN

I. INTRODUCTION

1. Place et extension des oxydisols au Gabon. Le plateau d'Okouma.
2. Milieu naturel. Géologie. Chimie et minéralogie du substrat des sols.

II. CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES, CHIMIQUES ET MINÉRALOGIQUES

1. Oxydisols des plateaux.
 - 1.1. Granulométrie, surfaces spécifiques, hydratation.
 - 1.2. Caractéristiques chimiques.
 - 1.2.1. Éléments totaux (par analyse triacide).
 - 1.2.2. Produits extraits par la méthode d'attaque cinétique de SEGALLEN.
Attaques alternées par HClO₄ 8N et NaOH 0,5 N.
Attaques alternées par HCl 8 N et NaOH 0,5 N.

1.3. Caractéristiques minéralogiques.

- 1.3.1. Diffraction aux rayons X.
- 1.3.2. Analyses thermiques différentielles et pondérales.

2. Sols pénévulés des flancs de plateaux (sur fortes pentes).

- 2.1. Granulométrie, surfaces spécifiques, hydratation.
- 2.2. Caractéristiques chimiques.
 - 2.2.1. Éléments totaux (par analyse triacide).
 - 2.2.2. Produits extraits par la méthode d'attaque cinétique de SEGALLEN.
Attaques alternées par HClO₄ 8 N et NaOH 0,5 N.
Attaques alternées par HCl 8 N et NaOH 0,5 N.
Nature des matériaux présents et relations entre eux.
- 2.3. Caractéristiques minéralogiques.
 - 2.3.1. Diffraction aux rayons X.
 - 2.3.2. Analyses thermiques différentielles et pondérales.

III. DISCUSSION ET INTERPRÉTATION

1. Bilans géochimiques.

- 1.1. Bilan iso-titane le long des profils d'oxydisols.
- 1.2. Bilan iso-titane entre oxydisols et sols pénévulés.
- 1.3. Bilan iso-titane entre sols et ampélites à ciment carbonaté (matériel parental).
2. Dynamique de l'altérogenèse et de la pédogenèse.
3. Signification et rôle de la métahalloysite et du manganèse dans l'allitisation.

IV. CONCLUSIONS

BIBLIOGRAPHIE

I. INTRODUCTION

1. Place et extension des oxydisols au Gabon. Le plateau d'Okouma

Au Gabon, sous climat équatorial humide, l'évolution ferrallitique se manifeste principalement par la présence de sols monosiallitiques à kaolinite bien ordonnée occupant les vieilles plateformes sur roches cristallines acides, telles que le Woleu Ntem.

Sur marnes, argilites et pelites, les phyllites illitiques sont bien représentées et parfois dominantes : les sols alors reconnus devraient être considérés comme bisiallitiques.

Une autre situation où le terme de « ferrallitique » convient mal est celle des sols sur dolomie de la Nyanga, dont le talc constitue l'essentiel de la fraction phylliteuse.

Les oxydisols, que SEGALIN *et al.* (1976) ont récemment définis, correspondent, au sens étymologique, aux véritables sols ferrallitiques (asiallitiques). Les argiles silicatées y sont complètement subordonnées aux oxydes et les quantités d'alumine exprimées y excèdent celles combinées à la silice.

Les oxydisols sont peu répandus au Gabon. Ceux de Makongonio, au S.W. du massif de Chaillu, sont mal connus. D'après GERARD, FLEURY et VAUTRELLE (1961), ils reposent sur un lambeau d'ancienne plaine activement reprise par un nouveau cycle d'érosion, ils pourraient s'être formés aux dépens de placages sédimentaires pauvres en silice exprimée et les plus fortes teneurs en alumine exprimée y correspondent à de très faibles teneurs en quartz.

Par contre, une connaissance satisfaisante de la géomorphologie et de la géologie de la région, l'étude

conduite sur place par l'un de nous (GUICHARD, 1974) et la mise en œuvre des moyens de recherches des S.S.C. de l'ORSTOM permettent de préciser les conditions de pédogenèse des oxydisols du plateau d'Okouma (altitude 440 à 600 m) par 13°13' de longitude E et 1°27' de latitude S.

2. Milieu naturel. Géologie. Chimie et minéralogie du substrat des sols

Le réseau hydrographique est peu ramifié, la perméabilité forte et les écoulements superficiels sont réduits. La forêt ombrophile occupe les pentes abruptes du versant sud du plateau mais, à l'exception des galeries forestières le long des cours d'eau, la savane arbustive à *Hypparrhenia diplandra* recouvre le plateau lui-même.

Les données climatiques suivantes, empruntées à la station voisine de Moanda (altitude : 571 m), concernent toutes des moyennes.

Température annuelle : 23°9; maxi de 24°9 en mars, mini de 22°3 en juillet.

Précipitations annuelles : 2.030 mm en 157 jours; maxi de 279 mm en mars, mini de 15 mm en août; saison sèche de 3 mois (juin à août) avec 70 mm au total.

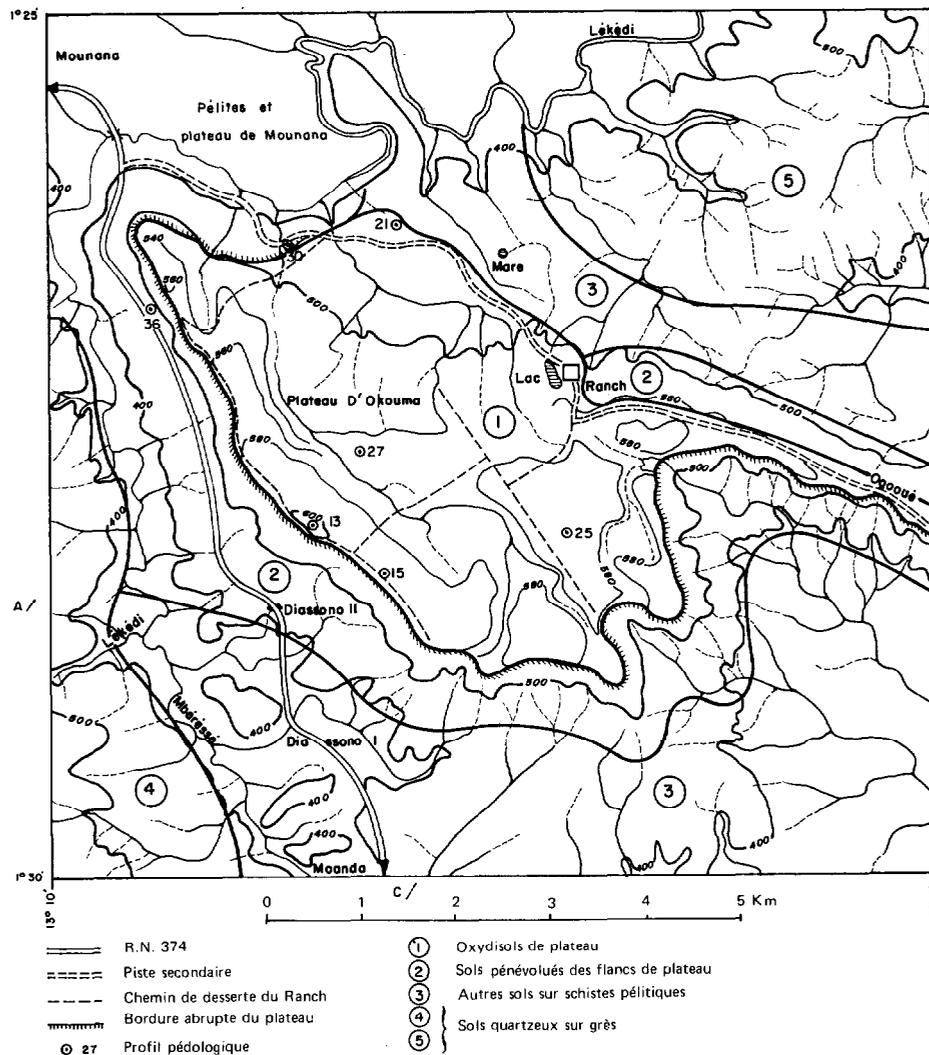
Humidité relative : voisine de 81 % tout le long de l'année, saison sèche comprise.

Evaporation (PICHE) annuelle : 668 mm; maxi de 71 mm en août, mini de 45 mm en novembre.

Evapotranspiration potentielle (THORNTHWAITE annuelle : 1.238 mm; maxi de 124 mm en mars, mini de 93 mm en juin.

Drainage calculé (HENIN-AUBERT) : 1250 mm (\pm 150 mm selon la perméabilité estimée).

Le plateau d'Okouma, comme celui voisin et homologue de Moanda où existe une importante exploitation de manganèse, constitue un témoin probable d'une ancienne surface topographique disséquée par l'érosion. D'après WEBER (1968 et 1971), les formations superficielles s'y seraient individualisées à partir d'un niveau d'ampélites à ciment carbonaté de 75 m d'épaisseur du Francevillien (Précambrien sédimentaire daté de 1.740 millions d'années). Dans ces ampélites, le manganèse est en totalité engagé à l'état de carbonate complexe avec le calcium et le magnésium, tandis que les silicates sont essentiellement illitiques.



Carte 2 - Carte pédologique du plateau d'Okouma.
D'après carte IGN 1/50 000. Franceville 1 c 1971.

Composition chimique des ampélites manganésifères (cf. WEBER p. 147 et 148)

SiO₂ (dont quartz) : 23 % ; Al₂O₃ : 6,3 % ; MgO : 4,3 % ; CaO : 8,6 % ; TiO₂ : 0,17 % ; FeO : 3,2 % ; MnO : 19,3 % ; K₂O : 1,3 % ; Na₂O : 0,13 % ; P₂O₅ : 0,32 % ; Perte au feu : 29 %.

Composition minéralogique des ampélites manganésifères (cf. WEBER p. 149)

Quartz : 11 % ; Illite + traces de Chlorite : 23 % ; Carbonates : 56 % dont CaCO₃ : 16 % , MgCO₃ : 9 % , MnCO₃ : 31 % ; Pyrite (FeS) : 5 % ; Matière Organique : 5 %.

Sur les plateaux, les oxydisols correspondent à un « recouvrement pisolithique » de 6 m d'épaisseur : les pisolithes, noyés dans une terre jaune ocreuse (7,5 YR 4/4) à structure ou sous structure aliatique, y augmentent en masse et en grosseur le long des profils.

Au-dessous l'on passe, par l'intermédiaire d'une cuirasse démantelée, à un niveau à plaquettes enrobées d'une matrice ocreuse au sein de laquelle se développent parfois de petits pisolithes. Ce niveau, épais d'environ 5 m et dans lequel l'organisation litée des ampélites s'est conservée, constitue, après élimination de la matrice ocreuse, l'essentiel du minerai avec des teneurs en manganèse métal dépassant 50 %. A la base du gisement, de la rhodochrosite (MnCO₃), en phéno et micro-cristaux, apparaît, tandis que les oxydes de manganèse exprimés sont principalement à l'état amorphe ; ces mêmes oxydes sont, par contre, en majorité cristallisés au sommet du niveau à plaquettes et dans les blocs de la cuirasse démantelée. Les hydroxydes de fer et d'aluminium exprimés, associés à des argiles kaoliniques et illitiques, constituent une bonne part des matrices ocreuses des

plaquettes. Dans le niveau à plaquettes et au-dessous, l'isovolumétrie paraît avoir été en gros respectée : aussi les 6 m de recouvrement pisolithique représenteraient le résidu final d'altération d'une soixantaine de mètres d'ampélites à ciment carbonaté, ce que paraît confirmer une élévation des teneurs en oxyde de titane de 0,17 % à 2 %.

Sur des pentes excédant 25 %, les flancs des plateaux sont recouverts de sols assez comparables à certains de ceux décrits dans la même région et dans la même position par CHATELIN (1963). Leurs horizons superficiels sont exempts ou presque exempts de pisolithes et ne présentent pas de structure ou sous-structure aliatique. Mais, à une profondeur variable, l'on y reconnaît une « stone line » manganésifère où de petites plaquettes et des « fantômes » de schistes ferruginisés sont associés à des pisolithes. Plutôt que du recouvrement pisolithique des plateaux ou, comme l'a admis CHATELIN, d'apports colluviaux en provenant, cette « stone line » paraît homologue de leurs niveaux plus ou moins cuirassés et à plaquettes.

II. CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES, CHIMIQUES ET MINÉRALOGIQUES

1. Oxydisols des plateaux

1.1. GRANULOMÉTRIE, SURFACES SPÉCIFIQUES, HYDRATATION

Les granulométries des terres fines sont complètement faussées, en l'absence de traitements aux ultrasons, par la présence de pseudo-particules. Les seules données valables concernent les sables grossiers : quartz et micro-pisolithes. Dans les horizons superficiels ces pseudo-particules sont exclusivement de la taille de limons fins. En profondeur le phénomène de condensation s'accroît et gagne les limons grossiers et sables fins.

On constate une absence de corrélation, voire une corrélation inverse entre la finesse des fractions granulaires et leurs surfaces spécifiques. Les très fortes surfaces spécifiques des pisolithes montrent l'extrême petitesse de leurs particules réellement constitutives.

TABLEAU I

*Granulométrie sans emploi (A) et avec emploi (B) des ultra-sons**

N° Profil : OK 15 Profondeur en cm Traitement	15-1 0-10		15-2 10-30		15-3 80-100		15-4 140-160	
	A	B	A	B	A	B	A	B
H ₂ O à 105° %	6,9	6,9	7,7	7,7	6,5	6,5	7,2	7,2
Argile %	33,3	56,5	37,8	55,4	19,7	61,5	16,5	60,3
Limon fin %	22,4	7,0	18,9	5,0	22,4	4,5	29,0	5,5
Limon gros. %	2,1	2,3	2,1	2,4	17,9	2,2	12,1	2,5
Sable fin %	8,3	8,9	7,6	8,1	13,4	5,9	16,8	5,8
Sable gros. %	22,4	18,5	22,9	21,6	19,2	19,4	18,3	18,6
* Mat. Organ. %	4,7	—	3,1	—	0,9	—	—	—

*Matière organique non détruite dans les granulométries conduites avec emploi d'ultra-sons.

TABLEAU II

Surfaces spécifiques en m² gr. mesurées par la méthode B.E.T.

N° Profil OK Profondeur en cm % Pisolithes	13-4 80-95	15-4 140-160	25-3 50-70	25-4 140-160	27-3 50-70	27-4 140-160
% Pisolithes	64,2	67,3	49,9	63,8	59,4	79,4
Terre fine totale m ² gr.	54	60	—	73	—	64
Argiles m ² gr.	52	48	—	51	—	57
Sables fins m ² gr.	106	63	—	—	—	98
Pisolithes m ² gr.	—	—	140	116	132	139

TABLEAU III

 H_2O^- à 100°-105° et H_2O partant entre 100-105° et 250° (A. T. P.)

N° Profil OK Fraction		25-3		25-4		27-3		27-4	
		T. Fine	Pisol.						
H_2O à 100-105°	%	0,85	2,8	0,95	1,45	1,8	3,8	1,3	2,3
H_2O entre 105° et 250°	%	1,0	3,7	1,25	2,5	1,65	4,2	1,55	3,7

L'hygroscopicité (H_2O^- à 100-105°) et l'hydratation (H_2O partant entre 105° et 250° avant celle des minéraux définis) sont de loin supérieures à celles des sols monosiallitiques à kaolinite ordonnée. D'après les analyses thermiques pondérales, les pisolithes retiennent beaucoup plus d'eau que les terres fines ce qui, conjointement aux résultats des mesures de surfaces spécifiques, paraît y indiquer la présence d'importantes quantités de produits amorphes.

1.2. CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES

1.2.1. Éléments totaux (par analyse triacide)

Quelques sols de plateaux à rapport SiO_2/Al_2O_3 voisins de 0,9 peuvent être considérés comme « intergrades oxydiques-monosiallitiques ». Des teneurs en potasse notables paraissent y indiquer la présence de 4 à 5 % d'argiles illitiques.

Mais, en grande majorité, les sols de plateaux, à rapport SiO_2/Al_2O_3 de la terre fine et de l'argile granulaire inférieur à 0,5 et pouvant même s'abaisser au-

dessous de 0,2 pour les pisolithes, sont bien des oxydisols.

Rapportées à la masse des échantillons séchés à 105°, les teneurs en alumine des argiles granulaires, terres fines totales et pisolithes sont respectivement voisines de 43 %, 34 % et 28 %.

Alors que le quartz ne constitue qu'une faible part de la masse des argiles et des pisolithes, les terres fines totales en contiennent entre 12 et 25 %.

Exprimées en MnO_2 (1), les teneurs en manganèse des pisolithes oscillent entre 23 et 29 %, tandis que celles des argiles sont inférieures à 0,5 %. La plus grande partie des 3,5 à 5,8 % du manganèse des terres fines totales est certainement à rapporter à la présence de sables pisolithiques.

Les autres différences de composition sont peu marquées. Par rapport à la somme $Fe_2O_3 + Al_2O_3 + TiO_2$, on peut cependant noter une tendance à un enrichissement en fer des pisolithes.

TABLEAU IV

Analyses triacides et composition aluminó-silicatée correspondante
(Profils 25, 27 et 15 : oxydisols. Profil 21 : intergrade oxydisol-monosiallitique)

N° Profil OK Profondeur en cm Fraction		25-3 50-70			27-3 50-70			15-4	21-3
		Argile	T. Fine	Pisol.	Argile	T. Fine	Pisol.	140-160 T. Fine	140-160 T. Fine
Perte au feu	%	25,70	20,20	21,40	24,60	20,10	20,70	20,20	15,40
Résidu (quartz)	%	0,90	19,00	1,90	0,85	15,10	2,25	11,80	21,30
SiO_2 combiné	%	5,70	4,10	3,45	10,40	8,30	6,00	7,75	14,80
Al_2O_3	%	42,10	32,50	27,70	43,70	32,80	27,50	34,80	27,10
Fe_2O_3	%	21,10	17,80	18,80	17,10	15,60	14,20	18,10	12,60
TiO_2	%	2,60	2,30	1,80	2,25	2,20	1,60	2,30	1,55
MnO_2	%	0,30	3,55	24,70	0,31	5,28	26,60	4,35	6,75
MgO	%	0,08	0,05	0,04	0,08	0,06	0,05	0,06	0,08
K_2O	%	0,19	0,15	0,28	0,26	0,20	0,25	0,23	0,50
SiO_2/Al_2O_3		0,23	0,21	0,21	0,41	0,43	0,37	0,38	0,92
Argile kaol.	%	9,80	7,00	4,15	19,80	15,90	10,20	14,30	27,10
Argile illit.	%	2,30	1,70	2,90	2,50	1,90	2,50	2,25	4,50
Al (OH) ₃ exprimé	%	58,40	45,60	39,20	54,40	40,50	35,40	44,40	23,50

(1) Expression OK peu satisfaisante. Quel que soit son degré d'oxydation dans le sol, le Mn de l'analyse triacide devrait être exprimé en Mn_2O_3 ou en Mn_3O_4 selon la température où est conduite la perte au feu.

1.2.2. Produits extraits par la méthode d'attaque cinétique de SEGALÉN (1968) (fig. 1)

A quelques exceptions près (magnétite par exemple), cette méthode permet de différencier, par leur vitesse d'attaque nettement supérieure à celle des minéraux bien ordonnés correspondants, les matériaux présentant, aux rayons X, un comportement de « produits amorphes ». En général, ces produits ne sont pas réellement amorphes mais seulement très finement divisés et (ou) très mal ordonnés : c'est pour une simple raison de commodité qu'ils sont qualifiés d'« amorphes ». On verra que cette méthode n'est pas applicable aux oxydes de manganèse, lesquels gênent en outre l'estimation des teneurs en silice, alumine et oxydes de fer « amorphes » présents.

Les cycles d'attaques acido-basiques ont été conduits de deux façons.

Attaques alternées par HClO₄ 8 N et NaOH 0,5 N

Ni silice, ni oxyde de fer amorphes ne sont détectables. Moins de 10 % du manganèse total est en général extrait après 14 cycles. Une très faible proportion de ce manganèse présente le comportement de produits amorphes.

Après 14 cycles, plus de 50 %, voire même plus de 70 % dans l'un des échantillons de pisolithes, de l'alumine exprimée (Al₂O₃ silicatée exclue) sont libérés. Mais la forme des courbes d'extraction ne permet pas de quantifier avec précision l'alumine amorphe ou très mal ordonnée.

Les quantités extraites sont peu affectées par le concassage des pisolithes. Néanmoins les courbes d'extraction de l'alumine et du fer présentent, au départ, une allure sigmoïdale pour les pisolithes les plus grossièrement concassés. Des courbes sigmoïdales au départ s'observent parfois aussi pour les terres fines.

De façon générale, c'est dans les pisolithes que l'alumine, l'oxyde de fer et même la silice se montrent les plus fragiles aux attaques acides et basiques alternées.

Attaques alternées par HCl 8 N et NaOH 0,5 N

La réduction de ses oxydes aux valences 3 et 4 provoque la libération immédiate du manganèse. Il en résulte une meilleure attaque des autres matériaux permettant de mieux les différencier.

Des traces de silice amorphe sont détectables dans les seules terres fines. Des quantités assez importantes et quantifiables avec précision de fer amorphe apparaissent : elles correspondent à une proportion du fer total beaucoup plus élevée dans les pisolithes que dans les terres fines.

Du fait sans doute de l'absence de solution de continuité entre formes d'alumine plus ou moins bien ordonnées, on ne peut déterminer avec la même précision que pour le fer les quantités d'Al₂O₃ amorphes ou quasi amorphes. On peut néanmoins les évaluer, dans les terres fines, à 18 % de l'alumine totale exprimée et à 23 % de celle-ci dans les pisolithes. En outre, après extraction des « amorphes », l'alumine exprimée restante des pisolithes est attaquée deux fois plus rapidement que celle des terres fines.

Aucune tendance des courbes d'extraction du fer ou de l'aluminium à présenter, au départ, une allure sigmoïdale n'apparaît, ce qui confirme que, dans le cas des attaques par HClO₄ + NaOH précédentes, des revêtements ou ciments manganésifères en portaient la responsabilité. Par contre, c'est encore dans les pisolithes que la silice, le fer et l'alumine se montrent les plus fragiles aux attaques acides et basiques alternées. Ceci est particulièrement marqué pour l'alumine exprimée « non amorphe », ce qui paraît indiquer qu'elle y est plus finement divisée et (ou) beaucoup plus mal ordonnée que dans les terres fines.

1.3. CARACTÉRISTIQUES MINÉRALOGIQUES

1.3.1. Diffraction aux rayons X (fig. 2)

En aucun cas des produits manganésifères minéralogiquement ordonnés n'ont été reconnus.

Les fortes teneurs en manganèse des pisolithes correspondent à un important fond spectral, sur lequel les traitements par HClO₄ + NaOH n'ont pas d'effet sensible. Par contre, les traitements par HCl + NaOH font presque complètement disparaître ce fond spectral : les raies ou bandes de minéraux définis présents s'en trouvent affaiblies et, pour certaines, considérablement renforcées.

Par rapport à celle des autres minéraux, l'intensité des raies de la gibbsite est fortement diminuée après 7 cycles d'attaque par HCl + NaOH et, surtout, après 14 cycles d'attaque par HClO₄ + NaOH. Ceci confirme qu'une bonne partie de la gibbsite minéralogiquement définie disparaît au cours de ces traitements.

La goéthite, assez bien représentée, paraît médiocrement cristallisée.

Dans les terres fines, les traitements par HClO₄ + NaOH et, plus encore, par HCl + NaOH renforcent l'intensité des raies du quartz. Ce dernier est peu abondant et paraît mal cristallisé dans les pisolithes.

La métahalloysite (et non la kaolinite) se reconnaît d'autant plus facilement que le rapport SiO₂/Al₂O₃ est plus élevé. Elle devient difficile à détecter pour des rapports SiO₂/Al₂O₃ égaux ou inférieurs à 0,2.

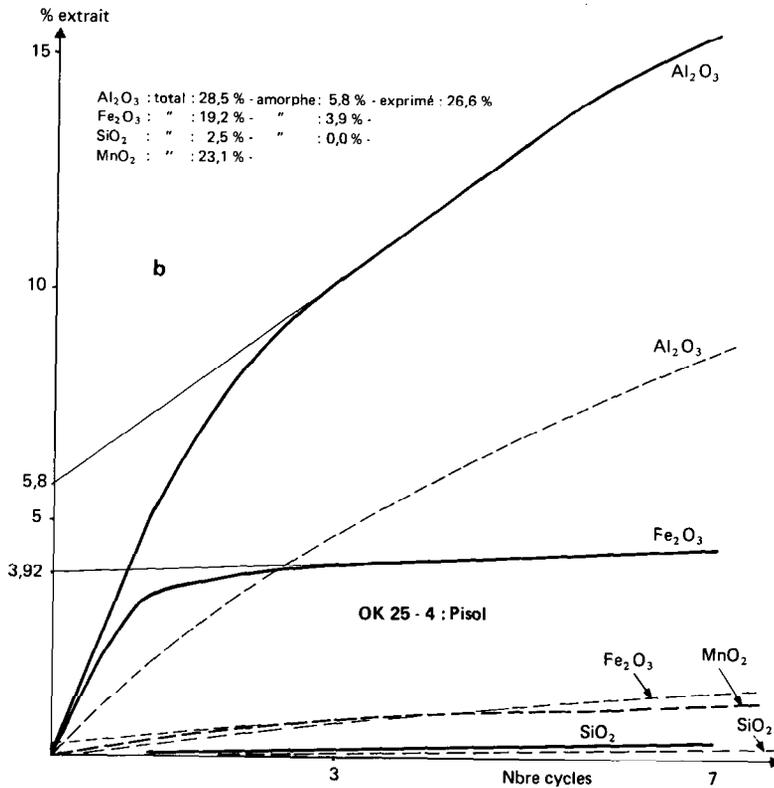
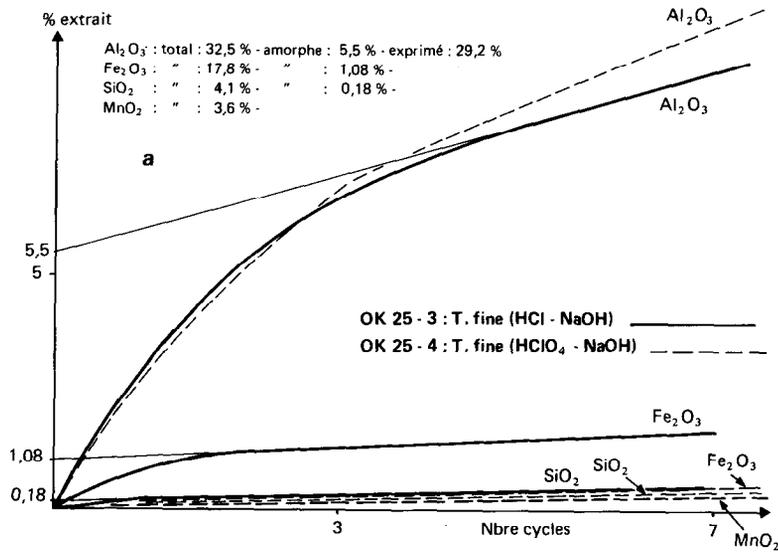


Fig. 1 a, b, c, d. — Oxydisols : attaques cinétiques.
 HCl + Na OH ——— ; HClO₄ + Na OH - - - -

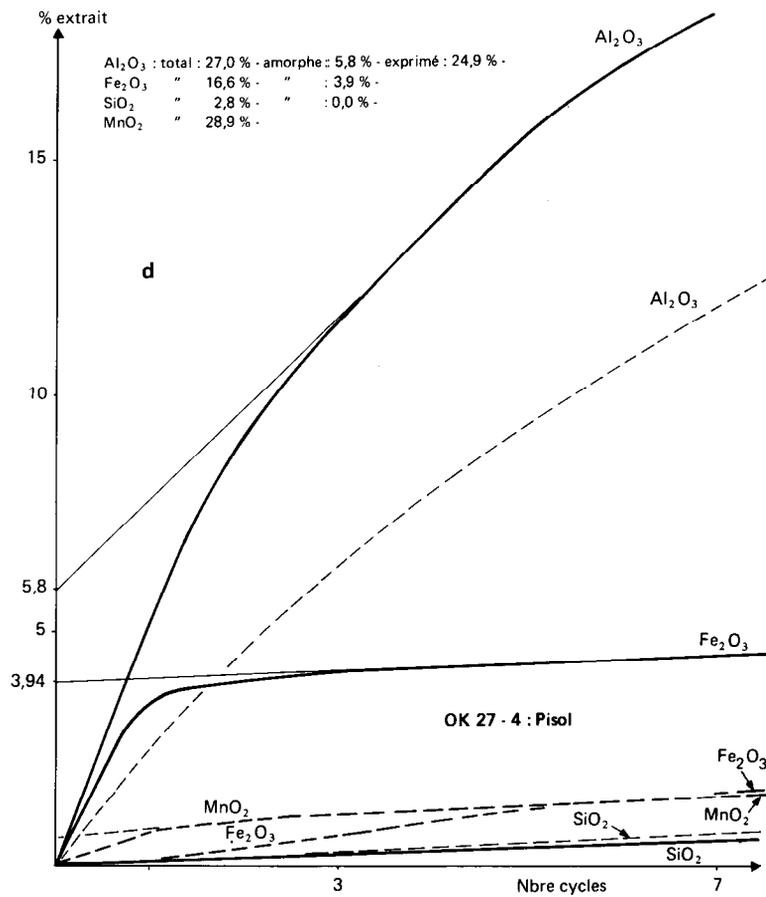
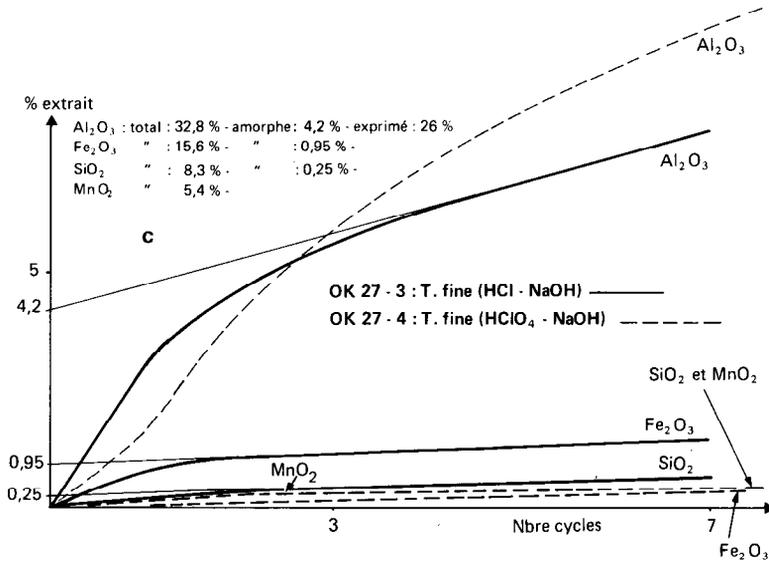


Fig.1 c et 1 d.

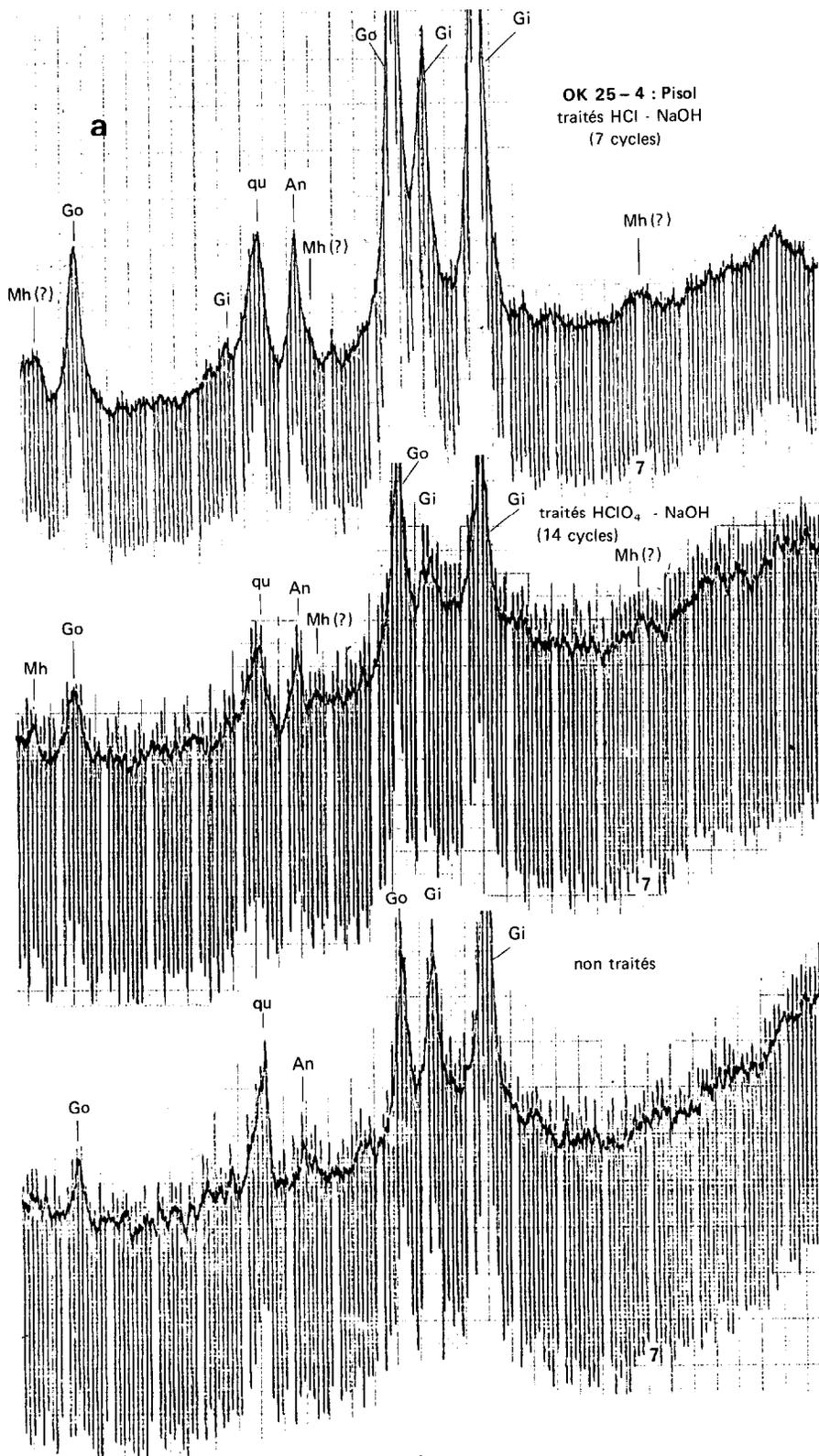
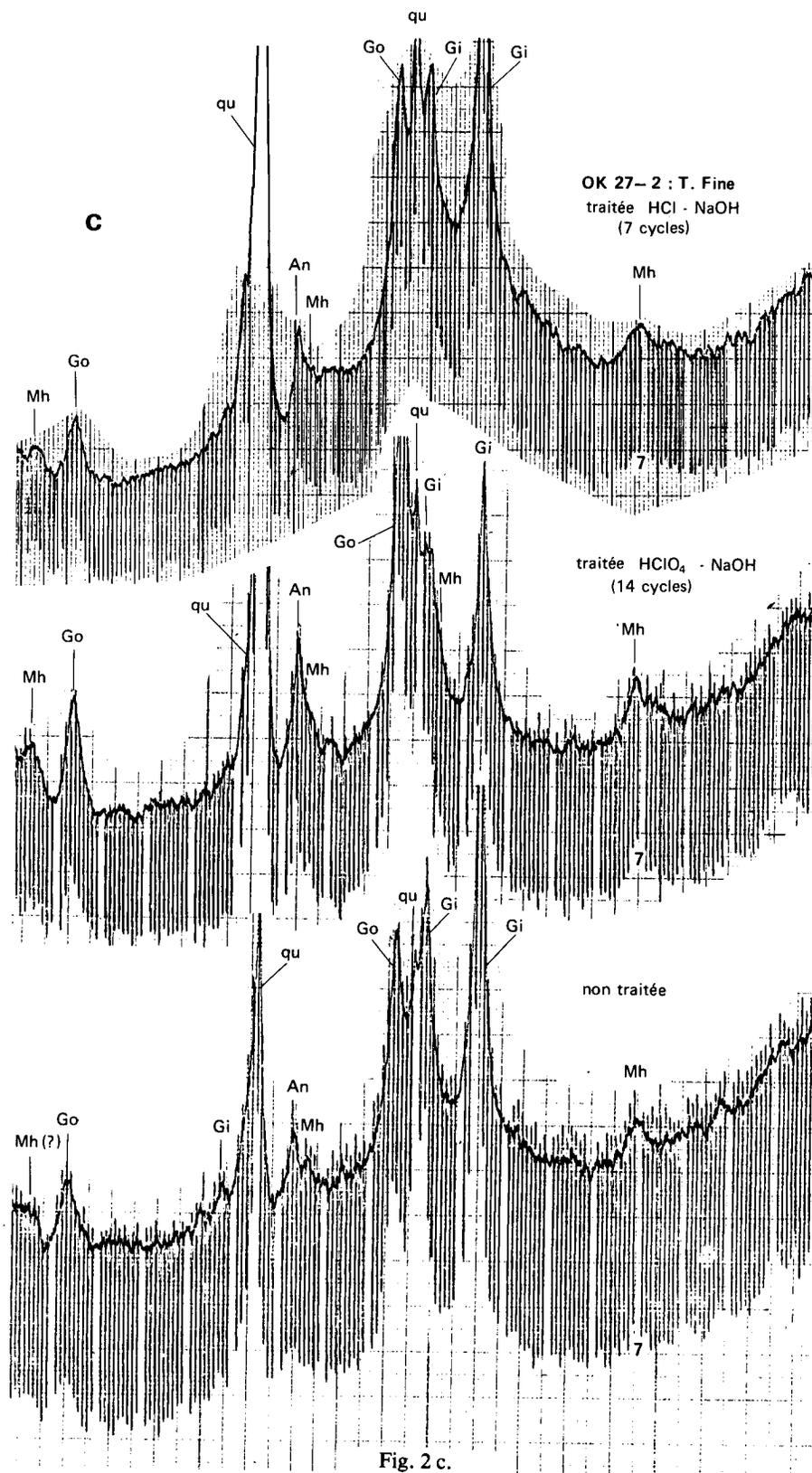


Fig. 2 a, b, c. — Oxydisols : diffractions aux rayons X.
 An : anatase ; Gi : gibbsite ; Go : goethite ; Mh : métahalloysite ; qu : quartz.



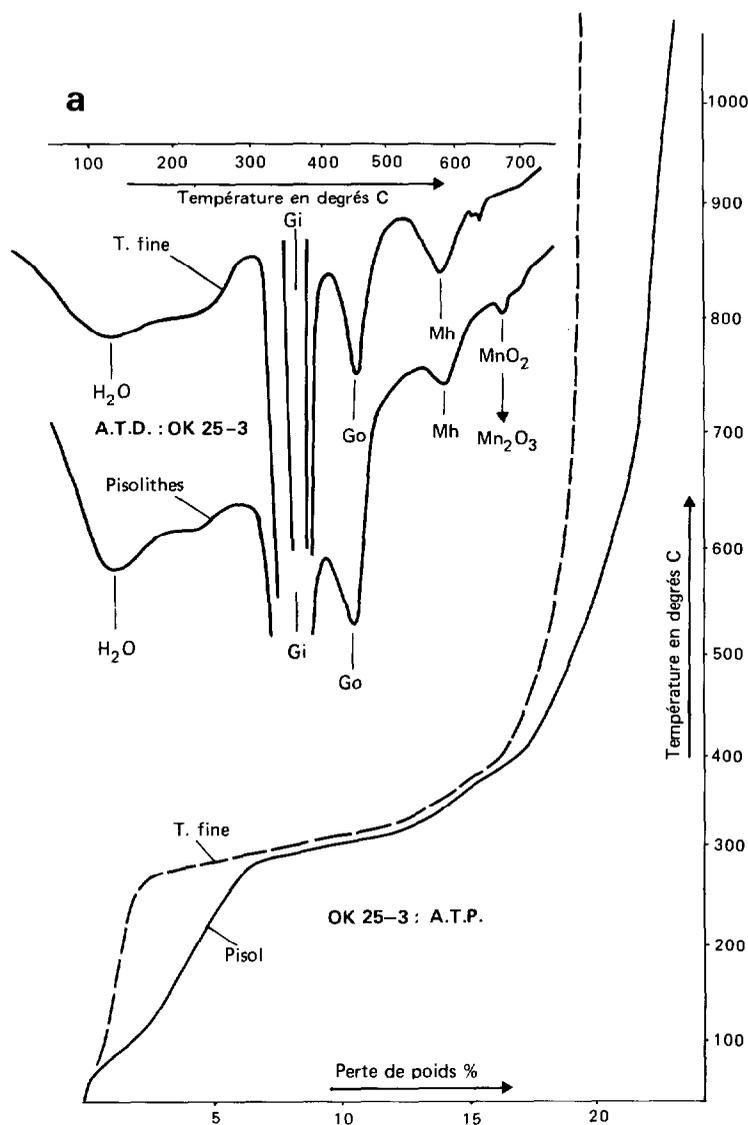


Fig. 3 a et b. — Oxydisols : analyses thermiques différentielles et pondérales.

H₂O : eau d'hydratation ; Gi : gibbsite ; Go : goethite ; Mh : métahalloysite ; MnO₂, Mn₂O₃, Mn₃O₄ : oxydes de manganèse.

De l'anatase bien cristallisée se reconnaît en général facilement, même dans les pisolithes non traités pour en éliminer les matériaux amorphes. Son pic à 3,52 Å peut presque complètement oblitérer l'épaulement à 3,6 Å de la métahalloysite. L'analyse par traversées au quantomètre confirme le caractère bien défini et bien individualisé de l'oxyde de titane au sein des pisolithes.

1.3.2. Analyses thermiques différentielles et pondérales (fig. 3)

L'A.T.D. met en évidence des quantités élevées de gibbsite, de la goethite et un peu de métahalloysite, même lorsque cette dernière devient difficile à reconnaître aux rayons X.

Le caractère « amorphe » des produits manganési-

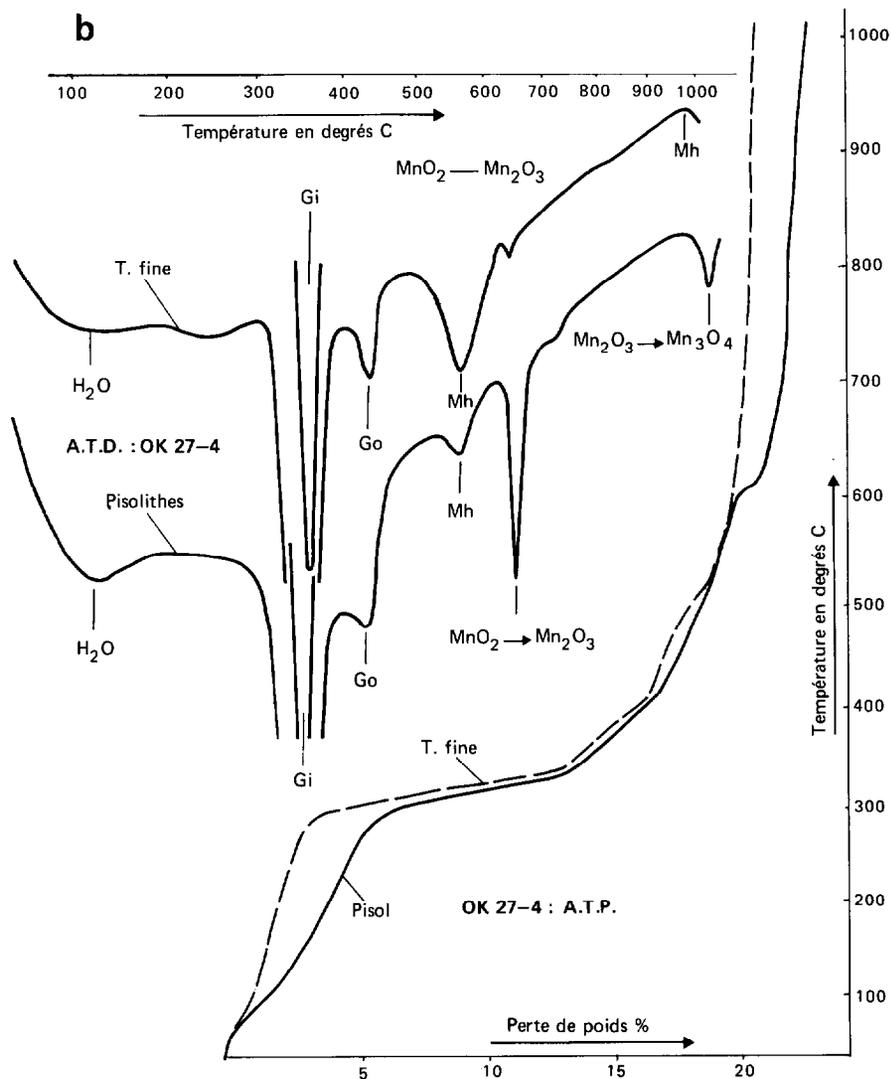


Fig. 3 b.

fières, déjà indiqué aux rayons X, est confirmé par une réaction endothermique vers 150° à l'A.T.D. et par une perte de poids entre 120° et 250° à l'A.T.P. d'autant mieux marquées que le manganèse est abondant.

Au voisinage de 650° et de 1000°, des réactions endothermiques à l'A.T.D. et des pertes de poids à l'A.T.P., bien marquées pour les pisolithes OK 27-4, paraissent correspondre aux réactions chimiques : $2\text{MnO}_2 \rightarrow \text{Mn}_2\text{O}_3 + \text{O}$ et $3\text{Mn}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{Mn}_3\text{O}_4 + \text{O}$.

2. Sols pénévulés des flancs de plateaux (sur fortes pentes)

2.1. GRANULOMÉTRIE, SURFACES SPÉCIFIQUES, HYDRATATION

Il n'a pas été conduit, sur les terres fines, d'analyses granulométriques comparatives avec et sans ultrasons. La confrontation des résultats des granulométries conventionnelles et des analyses triacides montre que, tout en demeurant important, le

phénomène de condensation en pseudo-particules est généralement moins marqué que dans les oxydisols, particulièrement en profondeur. Un sol voisin dont, mis à part une teneur en manganèse beaucoup plus faible, la composition chimique et minéralogique est très voisine, paraît exempt de pseudo-particules de condensation : la présence de ces dernières serait donc, au moins pour une part, liée aux fortes teneurs en matériaux manganésifères.

La surface spécifique des pisolithes de la « stone-line » s'établit à 188 m² gr, valeur encore plus élevée que celle des pisolithes d'oxydisols. Il en est de même, surtout au-dessous de 105°, de la quantité d'eau partant avant celle de constitution des minéraux définis : 14,3 % au total dont 4 % environ entre 105° et 250°. Pour les plaquettes de la « stone-line », ces pertes d'eau sont de 2,9 % au-dessous de 105° et de 3 % entre 105° et 250°.

2.2. CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES

2.2.1. Éléments totaux (par analyse triacide)

Les rapports SiO₂/Al₂O₃ des terres fines sont compris entre 1,4 et 1,9. Ceux des pisolithes et plaquettes, égaux à 1,0, témoignent d'un degré d'allitisation plus avancé.

Le quartz représente 10 à 16 % de la masse des terres fines et moins de 1,5 % de celle des pisolithes et plaquettes. Par rapport aux oxydisols, la diminution des teneurs en titane est systématique et très nette.

Pour les terres fines, les teneurs en manganèse sont deux à trois fois supérieures à celles des oxydisols. Avec 2,5 % de MnO₂ dans l'argile et 13,8 % dans le limon fin, une proportion de ce manganèse nettement plus importante que dans les oxydisols est liée aux fractions fines.

Ce même manganèse est près de deux fois plus abondant dans les plaquettes que dans les pisolithes de la « stone-line » : 54 % contre 29 % exprimé en MnO₂. Les quantités de silice, d'alumine, d'oxydes de fer et de titane des plaquettes s'en trouvent plus ou moins réduites. La réduction la moins marquée intéresse l'oxyde de fer. La plus marquée concerne l'oxyde de titane, matériau résiduel par excellence et donc bon marqueur géochimique : 1,06 % dans les pisolithes et 0,51 % dans les plaquettes, valeurs respectivement 1,65 et 3,4 fois plus faibles que dans les pisolithes des oxydisols.

D'après les teneurs en potasse reconnues, une proportion importante des argiles silicatées présentes seraient illitiques, ces dernières pouvant même être mieux représentées que les phyllites 1/1 dans les plaquettes de la « stone-line ».

2.2.2. Produits extraits par la méthode d'attaque cinétique de SEGALIN (fig. 4)

Attaques alternées par HClO₄ 8 N et NaOH 0,5 N

Ce mode d'attaque n'a pas mis en évidence de silice apparemment amorphe.

TABLEAU V

Analyses triacides et composition alumino-silicatée correspondante*

N° profil OK	Profondeur en cm	30-3		Plaquettes	36-2		36-3		36-4	
		T. fine	Pisol.		T. fine	T. fine	T. fine	T. fine		
Perte au feu*	%	13,50	17,40	14,70	15,20	12,90	12,60	12,90	12,60	12,60
Résidu (quartz)	%	16,30	1,38	1,19	11,60	9,80	10,90	11,60	9,80	10,90
SiO ₂ combiné	%	20,40	14,30	8,53	25,10	27,20	27,40	25,10	27,20	27,40
Al ₂ O ₃	%	24,00	24,10	14,50	23,70	24,30	24,70	23,70	24,30	24,70
Fe ₂ O ₃	%	12,00	15,00	11,50	10,80	10,90	11,30	10,80	10,90	11,30
TiO ₂	%	1,25	1,06	0,51	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
MnO ₂ *	%	10,60	28,50	54,00	11,50	12,20	10,30	11,50	12,20	10,30
MgO	%	0,37	0,18	0,17	0,33	0,34	0,35	0,33	0,34	0,35
K ₂ O	%	1,34	0,94	0,94	0,98	1,20	1,18	0,98	1,20	1,18
SiO ₂ /Al ₂ O ₃		1,44	1,01	1,00	1,80	1,90	1,88	1,80	1,90	1,88
Argile Kaol.	%	26,40	19,50	6,50	41,80	44,00	44,50	41,80	44,00	44,50
Argile illit.	%	15,70	10,10	10,50	11,30	13,40	13,30	11,30	13,40	13,30
Al (OH) ₃ exprimé	%	13,50	20,80	13,40	5,90	4,50	4,80	5,90	4,50	4,80

* La somme dosée, excédant nettement 100 pour les pisolithes et les plaquettes, se justifie par le fait qu'une partie de l'oxygène des oxydes de manganèse est aussi comptée comme « Perte au feu ».

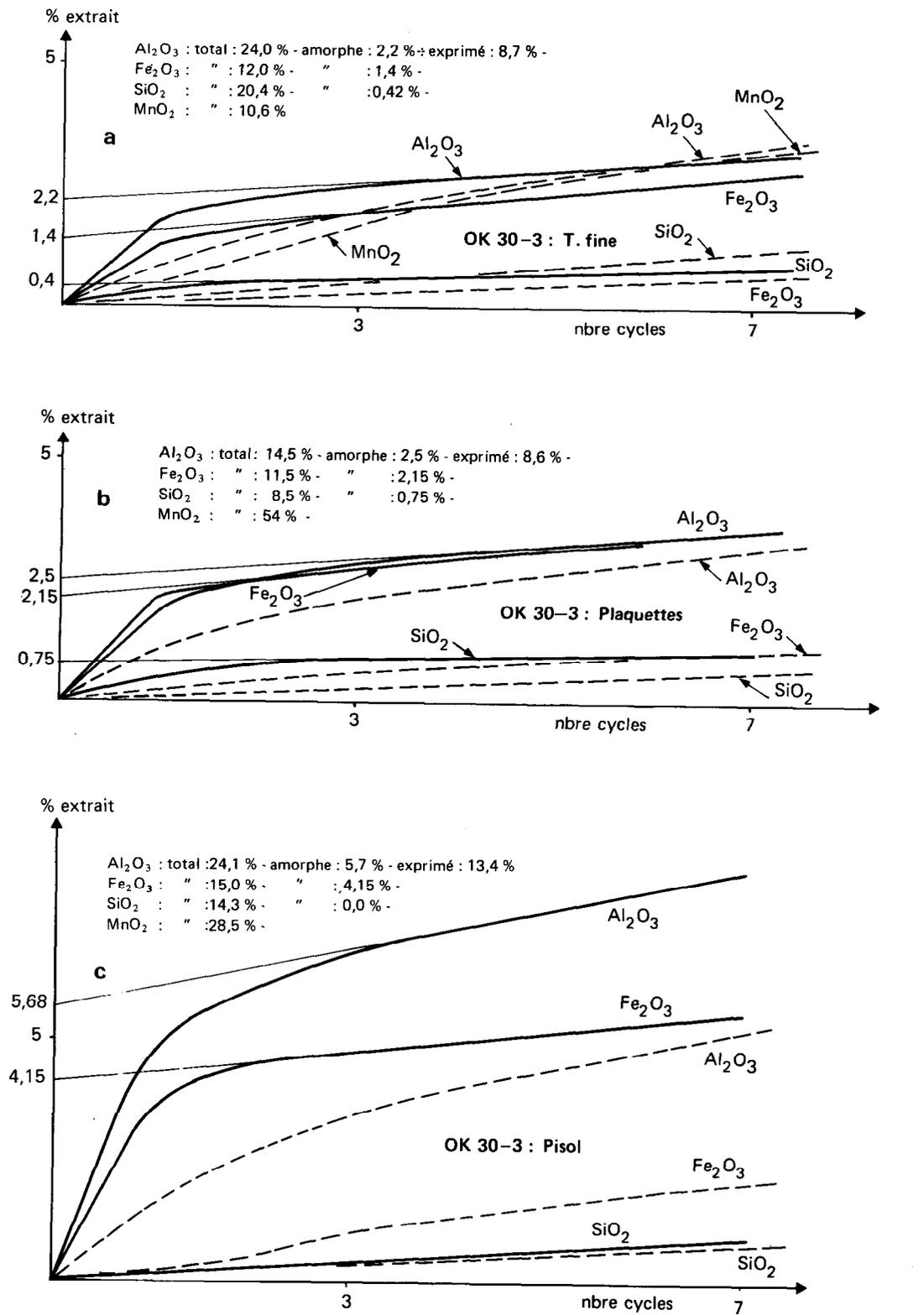


Fig. 4 a, b, c. — Sols pénévulés : attaques cinétiques. HCl + NaOH ——— ; HClO₄ + NaOH - - - -

Erratum : fig. 4c lire Fe₂O₃ au lieu de Fe₂O₂

Dans les terres fines le fer amorphe n'est pas détectable. La proportion de manganèse labile est nettement plus élevée que dans les oxydisols, particulièrement au cours des premiers cycles où sa courbe d'extraction présente une allure légèrement sigmoïdale. Une notable proportion de l'alumine exprimée paraît être à l'état amorphe ou très mal ordonnée, sans que l'on puisse la quantifier avec précision.

Dans les pisolithes et les plaquettes, le manganèse libéré n'a pas été dosé. Mais de l'oxyde de fer facilement attaquant apparaît, surtout dans les pisolithes où sa courbe d'extraction présente, contrairement à celle de l'alumine, une nette allure sigmoïdale au départ.

Attaques alternées par HCl 8 N et NaOH 0,5 N

De même que dans les oxydisols, la réduction des oxydes de manganèse aux valances 3 et 4 permet une bonne différenciation des autres matériaux.

Alors que les pisolithes en sont dépourvues, de la silice apparemment amorphe se reconnaît dans les terres fines et surtout dans les plaquettes : elle représente plus de 8 % de la silice non quartzuse de ces dernières.

Les quantités d'oxyde de fer et d'alumine amorphes ou quasi amorphes sont déterminables avec précision. C'est dans les pisolithes qu'elles sont les plus abondantes : 27,7 % du fer total et 41,7 % de l'alumine exprimée, contre respectivement 18,7 % et 29,1 % dans les plaquettes et 11,7 % et 25 % dans les terres fines. C'est aussi dans les pisolithes que l'alumine résiduelle de l'extraction des amorphes est la plus facilement attaquant : 0,40 % par cycle contre 0,12 % dans les terres fines et 0,14 % dans les plaquettes.

Nature des matériaux présents et relations entre eux

Pour les sols pénévulés comme pour les oxydisols, les résultats des attaques cinétiques indiquent :

- Une forte résistance, en dépit de leur caractère « amorphe » mis en évidence aux rayons X, des oxydes de manganèse aux attaques acido-basiques alternées, sauf lorsque ces dernières présentent, en plus, un caractère réducteur. Cette résistance est moins marquée dans les sols pénévulés que dans les oxydisols.
- Plutôt qu'une association, une occlusion d'alumine amorphe dans les matériaux manganésifères qui, non détruits, en gênent et retardent l'extraction sans réellement l'empêcher.
- La présence d'une notable proportion du fer dans des produits amorphes mixtes mangano-ferriques qui, non détruits, masquent complètement l'existence de ce « fer amorphe ».

Dans le cas particulier des sols pénévulés on constate :

- Une probable association, dans les seules terres fines et plaquettes, entre des quantités appréciables de silice amorphe ou matériaux silicatés complètement désordonnés et oxydes de manganèse.
- En dépit de très fortes teneurs en manganèse, un comportement de l'alumine, de la silice et de l'oxyde de fer des plaquettes plus proche de celui des terres fines que des pisolithes.

2.3. CARACTÉRISTIQUES MINÉRALOGIQUES

2.3.1. *Diffraction aux rayons X (fig. 5)*

Comme dans les oxydisols, aucun minéral manganésifère n'apparaît.

Aux teneurs en manganèse des terres fines correspond déjà un notable fond spectral que seuls atténuent les traitements par HCl + NaOH. L'importance de ce fond devient telle, pour les pisolithes et plaquettes, que leurs spectres présentent l'allure de ceux de matériaux presque totalement amorphes.

Les terres fines contiennent, à côté d'un peu de gibbsite et de goethite, beaucoup de métahalloysite, l'épaulement de celle-ci à 3,6 Å oblitérant plus ou moins la raie à 3,52 Å de l'anatase. Un peu d'illite apparaît parfois (OK 36-2). Les traitements par HClO₄ + NaOH renforcent la métahalloysite mais font presque disparaître la gibbsite ; ceux par HCl + NaOH ont comme effet d'affiner les spectres et d'en renforcer la plupart des raies et épaulements.

Après traitement par HCl + NaOH, l'on peut reconnaître les minéraux des pisolithes et plaquettes. Néanmoins, surtout pour les plaquettes, les raies et épaulements se dégagent encore mal d'un important fond spectral. La métahalloysite demeure abondante, mais la gibbsite et la goethite sont mieux représentées que dans les terres fines. La présence possible d'illite est confirmée par un accroissement, après élimination des amorphes, des teneurs en potasse des plaquettes de 0,94 % à 1,42 %.

2.3.2. *Analyses thermiques différentielles et pondérales (fig. 6)*

L'A.T.D. confirme les résultats des rayons X pour la gibbsite et la goethite. Dans les terres fines la métahalloysite apparaît comme le minéral dominant. Pour les pisolithes et plaquettes il est difficile de différencier métahalloysite, illite et bioxyde de manganèse d'après leurs réactions endothermiques éventuellement dédoublées entre 550° et 680°. Néanmoins, les forts pics endothermiques à 680° et 1050° des plaquettes, associés à des pertes de masse homo-

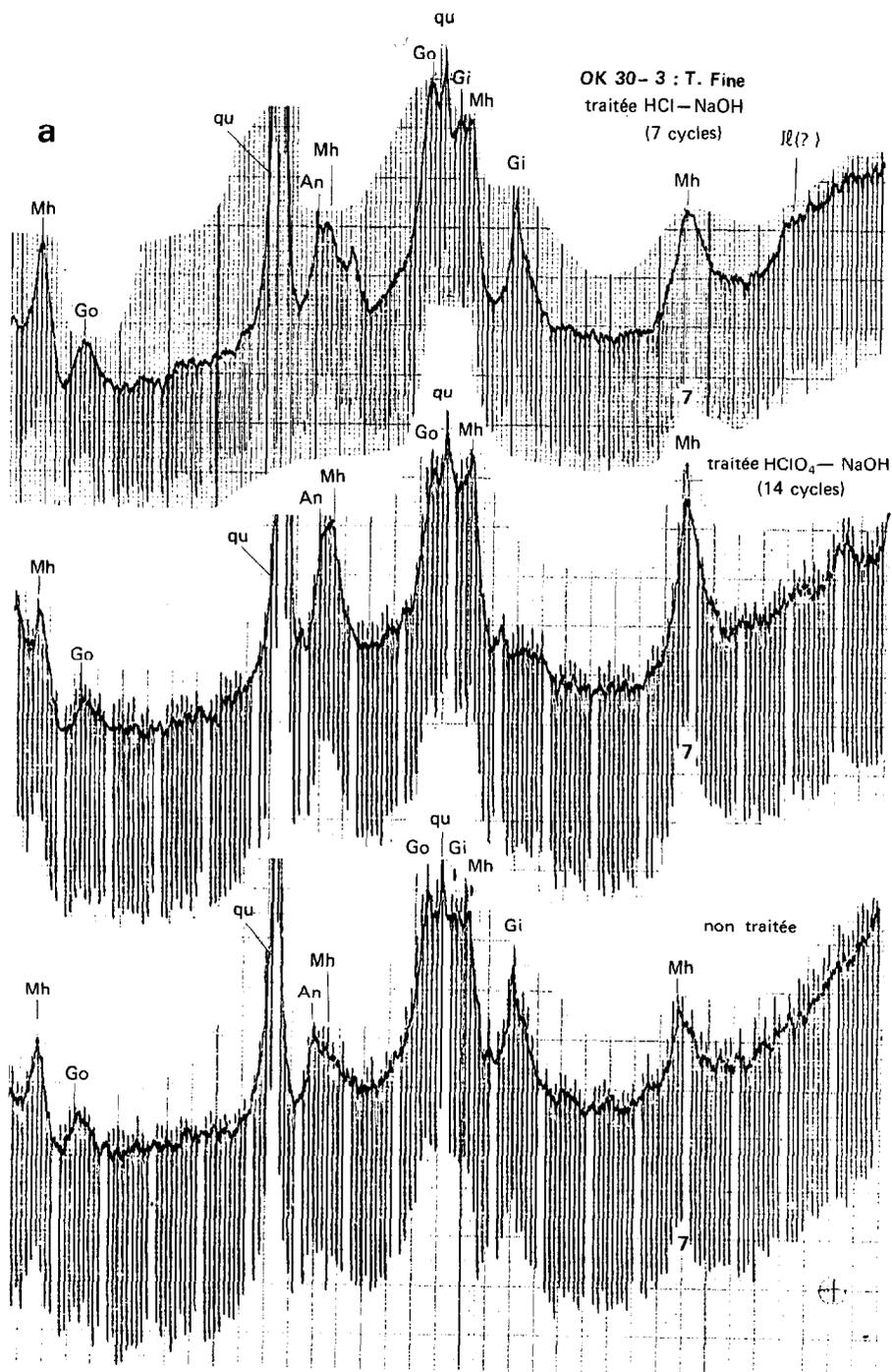


Fig. 5 a, b, c. — Sols pénévulés : diffractions aux rayons X.
 An : anatase ; Gi : gibbsite ; Go : goethite ; Il : illite ; Mh : métahalloysite ; qu : quartz.

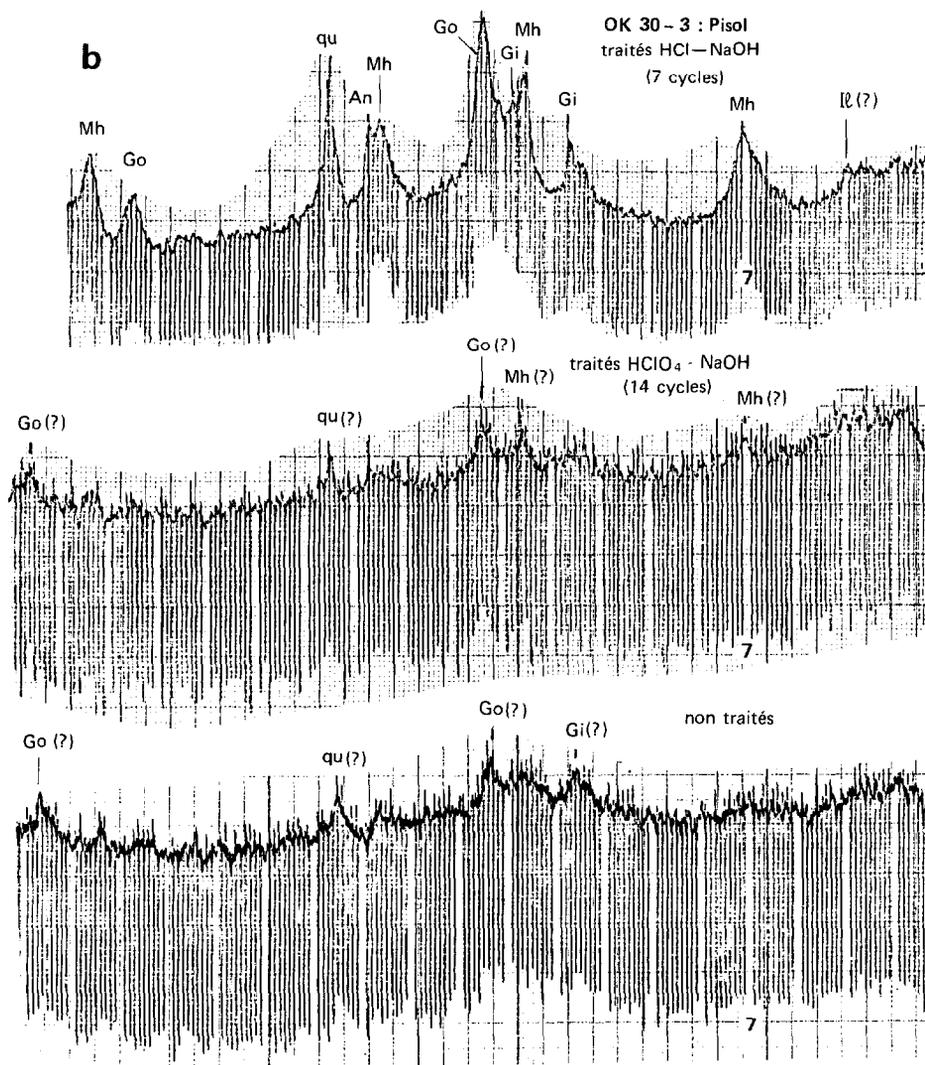


Fig. 5 b.

logues à l'A.T.P., doivent certainement être rapportés aux oxydes de manganèse aux valences 4 et 3.

Au caractère amorphe des oxydes de manganèse des pisolithes et plaquettes, correspondent de fortes réactions endothermiques à 150°, associées à d'importantes pertes de masse à l'A.T.P. Ceci est exception-

nellement marqué pour les pisolithes, en fonction certainement de l'état « particulièrement amorphe » de leurs matériaux manganésifères. C'est sans doute ce qui justifie qu'aucune raie ou bande n'émerge pratiquement du spectre de diffraction aux rayons X de ces pisolithes non traités, en dépit d'une teneur en manganèse voisine de celles des pisolithes d'oxydisols.

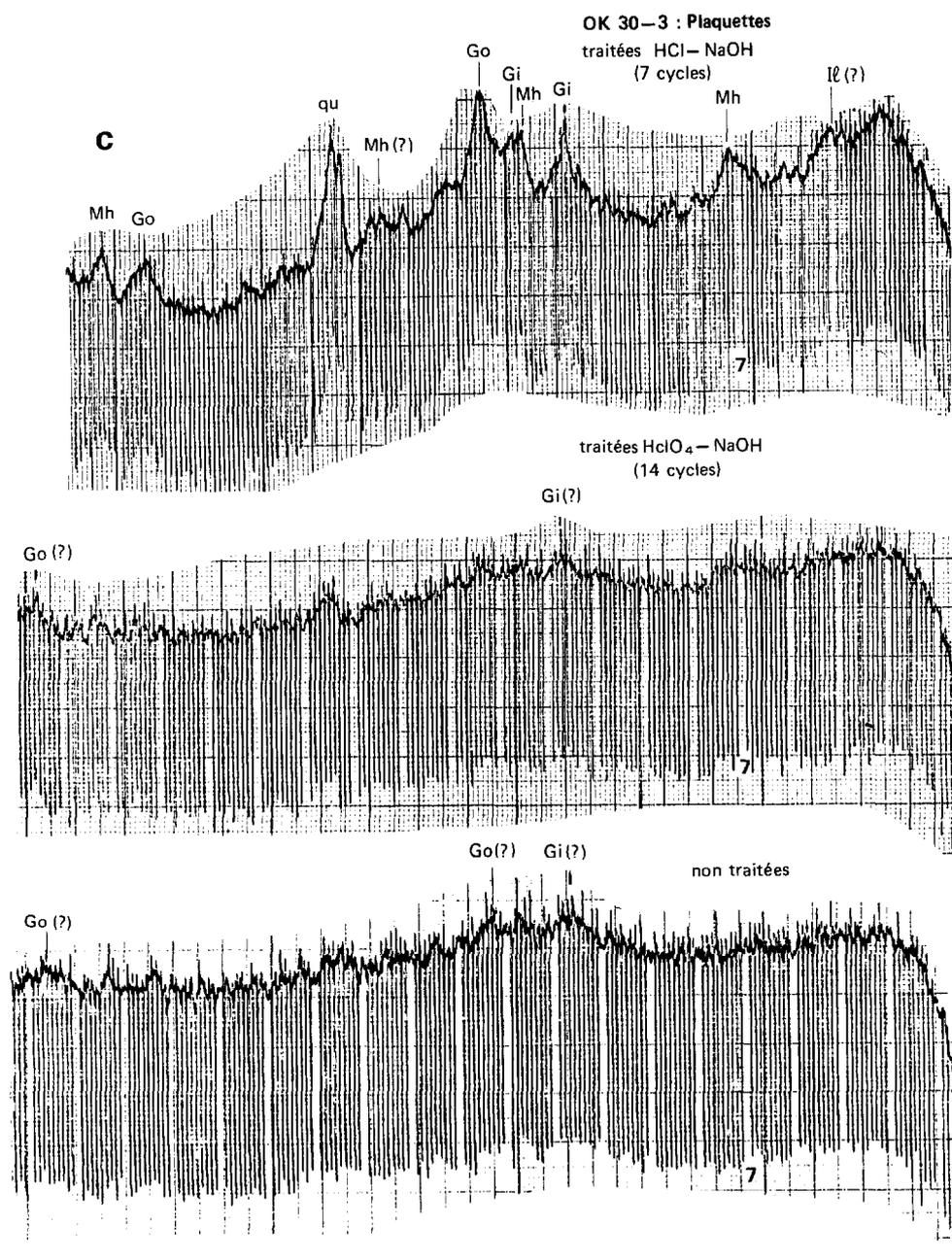


Fig. 5 c.

III. DISCUSSION ET INTERPRÉTATION

Aux échelles régionales et locales, les données physiographiques et morphologiques plaident nettement en faveur d'une autochtonie des sols de flancs de pentes. D'après les mesures de surfaces spécifiques, l'oblitération des raies des minéraux définis

par le fond spectral aux rayons X, l'importance des dépôts d'eau au-dessous de 250°, l'intensité des réactions endothermiques à 150° à l'A.T.D., les pisolithes des sols de flancs de pente sont nettement mieux pourvus en produits amorphes et (ou) très mal ordonnés, notamment manganésifères, que ceux des

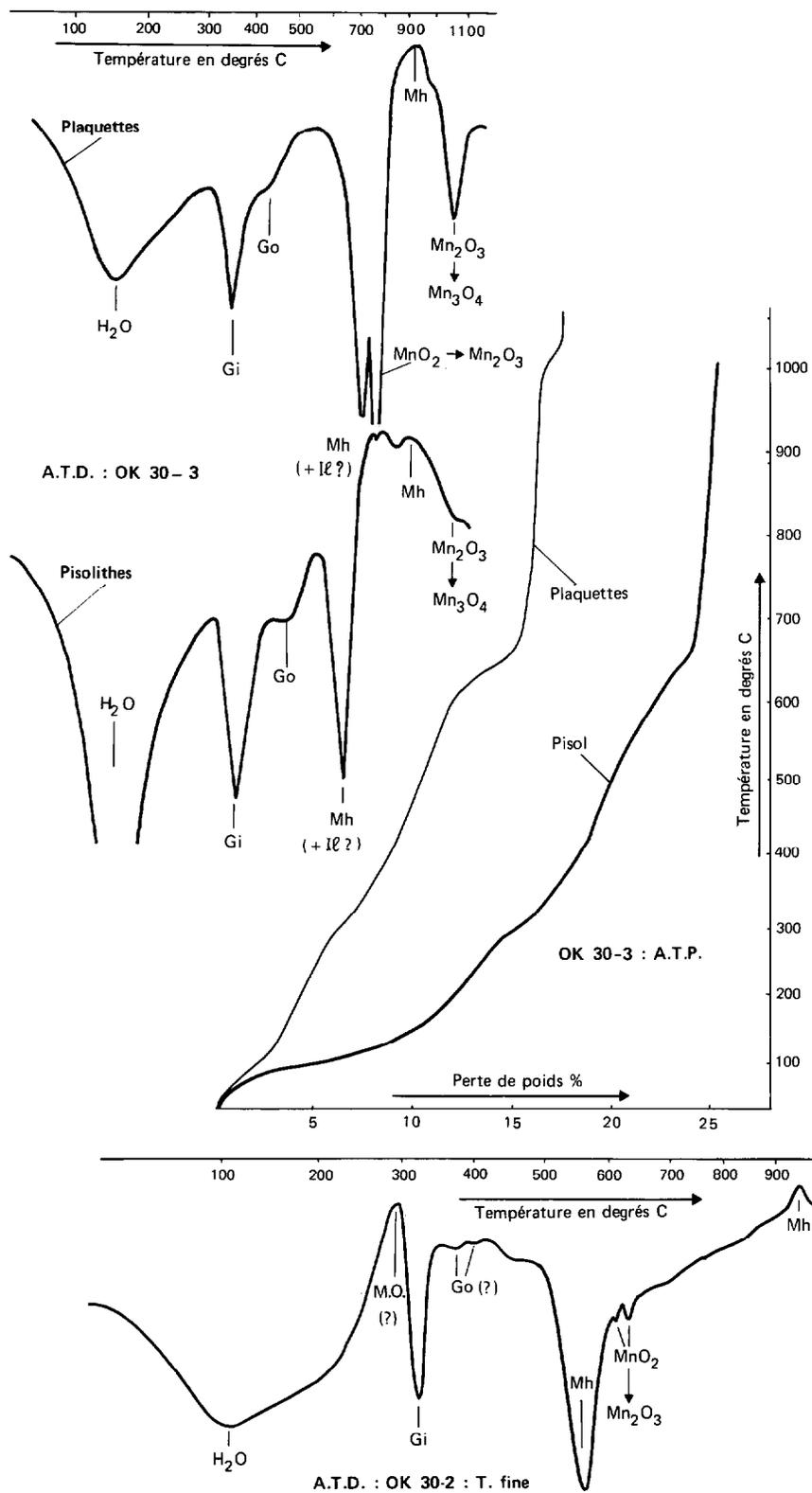


Fig. 6. — Sols pénévulés : analyses thermiques différentielles et pondérales. H₂O : eau d'hydratation ; Gi : gibbsite ; Go : goethite ; Il : illite ; Mh : métahaloysite ; MnO₂, Mn₂O₃, Mn₃O₄ : oxydes de manganèse.

oxydisols et donc pénévoulés par rapport à ces derniers. Cependant ce sont des teneurs beaucoup plus élevées en phyllites silicatées, y compris illitiques, et plus faibles en titane, élément résiduel par excellence, qui illustrent le mieux le caractère pénévoulé des sols de flancs de pentes vis-à-vis des oxydisols.

1. Bilans géochimiques

On peut tenter d'établir de tels bilans en fonction des teneurs en titane.

1.1. BILAN ISO-TITANE LE LONG DES PROFILS D'OXYDISOLS

Les calculs étant effectués sur la somme pondérée terre fine + pisolithes, on constate un appauvrissement net en manganèse et moins marqué mais constant en fer et aluminium des horizons superficiels. Sauf dans la partie supérieure du profil OK 27 qui paraît enrichie en métahalloysite, aucune variation significative des teneurs en silice combinée et potasse n'est détectable. Par contre, on note un enrichissement des horizons superficiels en quartz, lequel pourrait être rapporté à des contaminations à partir de sols voisins très quartzueux, tout autant qu'à un éventuel « appauvrissement en argile », lequel serait lui-même lié à une érosion sélective des fractions fines plutôt qu'à un lessivage difficile à justifier dans le contexte.

1.2. BILAN ISO-TITANE ENTRE OXYDISOLS ET SOLS PÉNÉVOULÉS

Ce bilan a été établi entre la somme pondérée terre fine + pisolithes des oxydisols et la seule terre fine des horizons homologues quant à la profondeur des sols pénévoulés. L'objectif en était de déterminer la proportion des matériaux des oxydisols pouvant être héritée de la seule terre fine des sols pénévoulés.

Les résultats montrent un probable appauvrissement des horizons supérieurs et un probable enrichissement en manganèse des horizons profonds des oxydisols par rapport aux sols pénévoulés. Pour le profil OK 25, le plus allité, les quantités totales de manganèse des oxydisols sont susceptibles d'avoir facilement été fournies par la seule terre fine des sols de flancs de pentes. De façon plus nette et plus constante le fer, faiblement lessivé le long des profils d'oxydisols, peut avoir été intégralement hérité de la terre fine des sols pénévoulés. Un notable déficit en aluminium apparaît, ce qui semble indiquer que 20 % environ de celui hérité des sols pénévoulés a été expurgé des oxydisols sur une épaisseur de près de deux mètres. 80 à 90 % de la silice combinée et de la potasse des sols pénévoulés ont disparu des oxydisols. Dans les horizons superficiels de ces derniers, on ne retrouve pas la totalité du quartz des terres fines des sols pénévoulés, tandis qu'en profondeur on en retrouve moins de 50 %.

TABLEAU VI

Pourcentages des éléments des horizons profonds (140-170 cm) d'oxydisols retrouvés dans leurs horizons superficiels d'après les rapports iso-titane

N° OK	Profondeur	Mn %	Fe %	Al %	K %	Si combiné %	Si quartz %
25 - 2	10-30 cm	65	83	87	118	102	178
25 - 3	50-70 cm	76	88	90	88	95	130
27 - 2	10-30 cm	67	81	93	98	176	230
27 - 3	50-70 cm	66	80	93	101	160	193

TABLEAU VII

Pourcentages des éléments des terres fines des sols pénévoulés retrouvés dans les horizons homologues d'oxydisols (terres fines + pisolithes) d'après les rapports iso-titane

N° OK	Profondeur	Mn %	Fe %	Al %	K %	Si combiné %	Si quartz %
25 - 2	10- 30 cm	62	94	71	10	8	78
25 - 3	50- 70 cm	78	98	77	10	10	56
25 - 4	140-170 cm	106	107	79	9	8	46
27 - 2	10- 30 cm	102	90	82	15	20	50
27 - 3	50- 70 cm	106	88	85	12	20	41
27 - 4	140-170 cm	170	106	85	13	10	23
Moyenne	10- 30 cm	82	92	76	12	14	64
par	50- 70 cm	92	93	81	11	15	49
horizon	140-170 cm	138	107	82	11	9	35

La prise en considération des pisolithes et plaquettes des sols pénévulés indiquerait un caractère nettement plus appauvri des oxydisols en fer, aluminium et surtout manganèse. Le seul pourcentage de quartz du tableau s'en trouverait notablement augmenté.

1.3. BILAN ISO-TITANE ENTRE SOLS ET AMPÉLITES À CIMENT CARBONATÉ (MATÉRIEL PARENTAL)

En admettant une inertie absolue du titane, moins de 10 % des matériaux des ampélites se retrouvent dans les oxydisols. Le fer et l'aluminium s'y sont les mieux maintenus, bien qu'ils ne représentent que 35 à 50 % du contenu de la roche en ces éléments. La potasse et la silice combinée ont été presque entièrement expurgées. Le manganèse des terres fines et des pisolithes représente respectivement moins de 2 % et moins de 11 % de celui de la roche. Compte tenu de sa partielle allochtonie probable, des quantités de quartz au moins égales à celles de manganèse ont sans doute disparu.

Les teneurs en matériaux apparemment hérités des ampélites sont sensiblement supérieures dans les terres fines et pisolithes des sols pénévulés, sans pour autant dépasser 15 %. Les accroissements les plus remarquables concernent la potasse, la silice combinée et le manganèse, lesquels apparaissent ainsi comme les plus lessivés au cours de l'allitisation.

Dans les plaquettes de la stone-line des sols pénévulés, on retrouve le tiers des matériaux de la roche, dont 75 à 100 % de l'aluminium, du fer et du manganèse, ainsi que 24 % du potassium de cette dernière. Ces plaquettes semblent donc correspondre à des figures de pseudomorphose de l'altération directe, accompagnée de décarbonation, des schistes ampélitiques. A noter que, d'après les données de l'A.T.D., il existerait une certaine parenté chimique (degré d'oxydation) entre les oxydes de manganèse de ces

plaquettes et ceux des pisolithes de l'horizon profond d'oxydisol étudié présentant le rapport Mn/Ti le plus élevé.

2. Dynamique de l'altérogenèse et de la pédogenèse

Les pisolithes paraissent s'être principalement formés par rassemblement et condensation du manganèse diffus dans de fines particules en cours d'allitisation. Dans les sols pénévulés et les horizons profonds d'oxydisols, une partie du manganèse des pisolithes peut aussi être héritée des plaquettes.

Parmi les arguments en faveur de la formation précoce des plaquettes dans une phase d'altérogenèse et tardive des pisolithes dans une phase de pédogenèse allitique, on peut citer :

- les teneurs des plaquettes en manganèse beaucoup plus fortes et en titane beaucoup plus faibles,
- le maintien de l'organisation schisteuse originelle des ampélites dans les seules plaquettes,
- l'absence d'organisation cristalline détectable du manganèse dans les pisolithes d'oxydisols contrastant avec celle reconnue dans les débris de cuirasse et niveaux à plaquettes sous-jacents.

En admettant que les oxydisols se soient formés à partir des matériaux constitutifs des sols pénévulés, leur pédogenèse paraît liée aux phénomènes suivants :

- dégradation des phyllites, avec expurgation de la quasi totalité de leur silice et de leur potasse. Entre l'illite qui représente ici le matériel aluminosilicaté parental et l'individualisation massive d'alumine exprimée, s'intercale une phase métahalloysitique au cours de laquelle illite, métahalloysite et alumine exprimée coexistent de façon prolongée. Le résidu de cette dégradation est principalement

TABLEAU VIII

Pourcentages des éléments de la roche retrouvés dans les sols d'après les rapports iso-titane

Sols	Fractions	Profondeur	Total %	Mn %	Fe %	Al %	K %	Si combiné %	Si quartz %
Moyenne oxydisols	Terres fines	10- 30 cm	8,2	1,6	36,2	39,2	1,0	4,3	15,4
		50- 70 cm	7,6	1,4	34,5	39,1	1,0	3,9	11,7
		140-170 cm	9,0	2,2	44,1	49,1	1,1	4,6	12,8
Moyenne oxydisols	Pisolithes	10- 30 cm	9,5	10,4	43,4	42,3	1,7	3,9	2,0
		50- 70 cm	10,0	10,9	46,0	44,0	2,1	4,0	1,9
		140-170 cm	9,9	11,0	49,3	43,5	1,5	2,2	1,3
Sols pénévulés	Terres fines	13- 30 cm	14,2	6,9	43,0	53,2	10,7	29,6	14,9
		50- 70 cm	13,6	7,2	41,6	51,3	12,5	31,3	12,1
		140-160 cm	14,2	6,2	45,0	55,6	12,8	32,3	14,0
Stone-line de sol pénévulé	Terre fine	40- 60 cm	13,6	6,1	45,8	51,8	14,0	23,1	20,1
	Pisolithes	40- 60 cm	15,1	19,3	67,8	61,2	11,6	19,1	2,0
	Plaquettes	40- 60 cm	33,3	76,1	107,4	76,6	24,0	23,7	3,6

constitué d'hydroxydes amorphes ou mal cristallisés.

- disparition d'une partie du quartz lequel, en régénérant de la métahalloysite à partir d'alumine exprimée, a pu retarder et rendre incomplète l'allitisation, sans pouvoir l'empêcher.
- forte mobilité du manganèse lessivé le long des profils et, surtout, se rassemblant et se condensant en pisolithes d'oxydes hydratés amorphes. Sauf le quartz, ces pisolithes englobent la plupart des matériaux présents et c'est en leur sein que la finesse et l'état d'inorganisation des oxydes ou hydroxydes sont les mieux marqués et que les rapports $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sont les plus bas.
- mobilité du fer très réduite, de petites quantités d'oxydes de fer amorphes suivant néanmoins les oxydes de manganèse dont elles partagent le comportement.
- notable mobilité de l'aluminium dont les parties supérieures des profils d'oxydisols apparaissent appauvries, mais qui ne suit pas, dans son comportement, le fer et le manganèse.

3. Signification et rôle de la métahalloysite et du manganèse dans l'allitisation

La justification du phénomène d'allitisation constaté est sans doute fournie par la présence, dans les sols pénévulés comme dans les oxydisols, de métahalloysite au lieu et place de la kaolinite ordonnée des habituels sols monosiallitiques gabonais. Les phyllites 1/1 mal ordonnés se dégradent beaucoup plus facilement, en perdant leur silice de constitution, que la véritable kaolinite. De plus, alors que le quartz est susceptible de fournir aux eaux de percolation plus de silice soluble que la kaolinite, c'est l'inverse qui est vrai pour l'halloysite et la métahalloysite (HUANG, 1966 - cité par SIEFFERMANN, 1969).

En d'autres termes, la permanence très longue de l'alimentation en silice, à laquelle N. LENEUF (1959) rapporte le caractère beaucoup plus souvent kaolinique qu'allitique des produits d'altération des roches quartzieuses en régions intertropicales humides, perd beaucoup de son efficacité lorsqu'il existe des « empêchements » à l'individualisation de kaolinite ordonnée.

Parfois c'est l'absence de quartz et l'état d'inorganisation cristalline des matériaux de la roche qui, directement par la voie allophanitique ou indirectement par l'intermédiaire de phyllites halloysitiques, favorisent l'allitisation (TERCINIER, 1974).

Mais d'autres facteurs d'inhibition à une kaolinisation ordonnée peuvent jouer. L'un d'eux est certainement une absence de désionisation ou une désionisation et acidification insuffisantes du milieu (MILLOT, 1964 ; PEDRO, BERRIER et TESSIER, 1970 ; TERCINIER, 1971 a et b et 1972). Il est possible que ce facteur d'inhibition ait joué un rôle dans l'individualisation de quantités notables d'alumine exprimée au sein des sols pénévulés et des matrices ocreuses du niveau à plaquettes sous-jacent aux oxydisols. La responsabilité en reviendrait à l'altération d'une roche carbonatée, au maintien prolongé de carbonatés de manganèse (rhodochrosite) à la base des profils, à la rétention de magnésium dans les réseaux illitiques et, éventuellement, dans les oxydes et hydroxydes (1).

Néanmoins, en ce qui concerne les recouvrements pisolithiques des plateaux, c'est-à-dire les véritables oxydisols reconnus, la cause principale de l'allitisation paraît être l'abondance du manganèse. En effet, comme l'a souligné NALOVIC (1971 et 1977), les éléments de la quatrième période de transition de la classification de MENDELÉËV, tel que le manganèse, sont des inhibiteurs de la bonne organisation cristalline des matériaux auxquels ils sont associés. Ceci constitue, conjointement à de très faibles teneurs en quartz, une possible explication au fait que c'est au sein des pisolithes manganésifères que l'état d'inorganisation cristalline des autres matériaux présents est le mieux marqué et que les rapports $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sont les plus faibles.

CONCLUSIONS

Les oxydisols présentent fréquemment, au niveau de leur horizon B, une structure ou une nette sous-structure aliatique. Ceci correspond à une organisation en pseudo-particules libres les unes par rapport aux autres, les espaces lacunaires entre elles étant vides ou insuffisamment remplis pour les cimenter, ce qui accroît fortement la friabilité et la perméabilité.

Ces pseudo-particules, dont le diamètre dépasse rarement celui des sables fins, sont extrêmement stables, bien que ou peut-être parce que constituées de particules élémentaires remarquablement petites, de l'ordre du dixième de micron. Il en résulte :

- une résistance aux méthodes courantes mécaniques et physico-chimiques de désagrégation faussant complètement les analyses granulométriques,
- des surfaces spécifiques considérables et des capa-

(1) Il n'a cependant pas été retrouvé, à l'analyse, les teneurs assez élevées des sols en magnésium précédemment signalées (CHATELIN, 1963 et cf. WEBER, 1968, pp. 140-141).

cités de rétention en eau aux hautes et très hautes valeurs du potentiel capillaire remarquablement élevées,

- une absence de corrélation, voire une corrélation inverse entre petitesse des particules déterminée par les méthodes courantes de granulométrie et leur surface spécifique. Dans le cas des oxydisols d'Okouma, ce sont même les pisolithes qui présentent les plus fortes surfaces spécifiques.

Cette condensation en pseudo-particules s'accroissant le long des profils se retrouve, avec l'ensemble des conséquences précédentes qui en résultent, pour tous les oxydisols que l'un de nous (TERCINIER) a eu l'occasion d'étudier antérieurement en Océanie : sur péridotites en Nouvelle-Calédonie, sur karsts d'atolls surélevés aux Iles Loyauté et sur les basaltes des Iles Hautes de la Polynésie Française.

Dans ces conditions, les habituelles relations entre composition granulaire, de quelque façon qu'on la détermine, et cohésion, friabilité, porosité, perméabilité, capacité de rétention en eau, etc... ne sont pas respectées. On comprend mal aussi à quoi peut correspondre un coefficient comme celui d'appauvrissement en argile, d'autant que les oxydisols sont fréquemment dépourvus de sables et limons quartzeux, ceux d'Okouma constituant plutôt une exception à ce point de vue.

Du reste, lorsque le quartz est présent, il semble obéir à des règles de ségrégation particulières et, surtout, disparaître pour une bonne part au cours de l'altérogenèse et de la pédogenèse, sans parler des situations où il paraît jouer le rôle de minéral néoformé.

Pas plus qu'au quartz, on ne peut faire confiance à l'aluminium comme élément résiduel de référence de la pédogenèse allitique. De façon parfois beaucoup plus nette qu'à Okouma, il se montre plus mobile que

le titane et même, en position de libre drainage, que le fer (TERCINIER, 1974). Si dans les habituels sols ferrallitiques africains l'aluminium ne manifeste guère de mobilité, c'est parce qu'il est engagé dans le réseau très résistant de la kaolinite ordonnée. Par contre l'alumine amorphe et la gibbsite très fine ou mal ordonnée sont susceptibles de migrer par lessivage. A des pH couramment atteints dans des sols à complexe d'échange désaturé, l'aluminium, contrairement au fer, devient légèrement soluble ou peut passer en quantités importantes à l'état échangeable et être en conséquence lixivié. Surtout, et c'est sans doute la principale raison de sa mobilité, l'alumine exprimée est aussi facilement sinon plus facilement chélatable que les oxydes de fer par les acides fulviques.

Ce qui apparaît fondamental est le contraste entre la bonne organisation de la kaolinite des vieux sols sur roches cristallines acides et la mauvaise organisation de la majorité des minéraux des oxydisols, y compris des phyllites 1/1 qui peuvent y subsister.

Les contraintes à une bonne organisation de la kaolinite seraient donc les facteurs majeurs de différenciation entre oxydisols et sols monosiallitiques. En cas d'inhibition totale à la formation de phyllites 1/1 alumineuses, des oxydisols complètement désilicifiés paraissent s'individualiser rapidement par l'intermédiaire d'allophanes. Lorsque, comme à Okouma où la richesse du milieu en manganèse en porterait la principale responsabilité, il s'agit seulement d'« empêchements » à une bonne organisation de la kaolinite, l'allitisation, par la voie halloysitique ou métahalloysitique, est beaucoup plus lente et presque toujours incomplète.

Il n'en demeure pas moins qu'alors que la kaolinisation constitue l'aboutissement d'une pédogenèse, l'halloysitisation n'en représente le plus souvent qu'une étape.

Manuscrit reçu au Service des Publications de l'ORSTOM, le 25 avril 1979.

BIBLIOGRAPHIE

- CHATELIN (Y.), 1963.— Notice de la carte pédologique de la région minière du Haut-Ogoué. ORSTOM, mission du Gabon, Libreville, 65 p. *multigr.*
- GERARD (J.), FLEURY (R.), VAUTRELLE (C.), 1961.— Recherches de bauxite sur le plateau de Makongonio. *Inst. Equat. Rech. et Études Géol. Min.* (E). T 74 du 30.1.61, 28 p. *multigr.*
- GUICHARD (E.), 1974.— Étude pédologique du Ranch d'Okouma. Centre ORSTOM de Libreville (Gabon), G 91, 120 p. *multigr.*
- LENEUF (N.), 1959.— L'altération des granites calco-alcalins et des granodiorites en Côte d'Ivoire forestière et les sols qui en sont dérivés. ORSTOM, Paris, 210 p. (thèse de doctorat).
- MILLOT (G.), 1964.— Géologie des argiles, Masson, Paris, pp. 388-400.
- NALOVIC (Lj.), 1971.— Comportement du fer en présence des éléments de transition dans la nature. *C.R. Acad. Sc. Paris*, D, 273 : 1664-1667.
- NALOVIC (Lj.), 1977.— Recherches géochimiques sur les éléments de transition dans les sols. Étude expérimentale de l'influence des éléments traces sur le comporte-

- ment du fer et l'évolution des composés ferriques au cours de la pédogenèse. *Trav. et Doc. de l'ORSTOM*, N° 66, Paris (Thèse Sc. Nat. Paris VI, 1974, CNRS, A.O. 10749).
- PEDRO (G.), BERRIER (J.), TESSIER (R.M.), 1970.— Recherches expérimentales sur l'altération « allitique » des argiles dioctaédriques de type kaolinite et illite. *Bull. Gr. Fr. Argiles*, XXII : 29-50.
- SEGALEN (P.), 1968.— Note sur une méthode de détermination des produits amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. VI, n° 1 : 105-126.
- SEGALEN (P.), LAMOUREUX (M.), PERRAUD (A.), QUANTIN (P.), ROEDERER (P.), 1976.— Pour une nouvelle classification des sols. ORSTOM, Paris, 42 p. *multigr.* (document interne).
- SIEFFERMANN (G.), 1969.— Les sols de quelques régions volcaniques au Cameroun, variations pédologiques et minéralogiques du milieu équatorial au milieu tropical. Thèse Fac. Sc. Strasbourg, 290 p. *multigr.*
- TERCINIER (G.), 1971 a.— Sols des karsts de l'atoll surélevé de Lifou (îles Loyalty, territoire de la Nouvelle Calédonie) et problème de la bauxitisation. *C.R. Acad. Sc. Paris, D*, 272 : 2067-2070.
- TERCINIER (G.), 1971 b.— Contribution à la connaissance des phénomènes de bauxitisation et d'allitisation. Les sols des karsts d'atolls surélevés du Sud-Ouest Pacifique. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, vol. IX, n° 3 : 307-334.
- TERCINIER (G.), 1972.— Les sols bauxitiques de karst des atolls surélevés du Pacifique. Contribution à l'étude des phénomènes de bauxitisation et d'allitisation. *Science du Sol*, N° 1 : 103-122.
- TERCINIER (G.), 1974.— Cristallographie de sols ferrallitiques totalement désilicifiés d'une région très humide de l'Océanie intertropicale. C.R. 10^e Cong. International Sc. du Sol, Moscou, vol. VII : 61-68.
- WEBER (F.), 1968.— Une série précambrienne au Gabon : le Francevillien. Sédimentologie, Géochimie, Relations avec les gîtes minéraux associés. Mem. Serv. Carte Géol. Alsace Lorraine, N° 28, 328 p. (Rapport CEA - R - 4054 - mars 1971 ; Centre études nucléaires de Fontenay aux Roses, Direction des Productions, Départ. Productions et Recherches Minières).