

L'HALLOYSITE DES SOLS JEUNES SUR BASALTES RECENTS DU CENTRE CAMEROUN

par

Gaston SIEFFERMANN et [Georges MILLOT]

Résumé - Trois profils de sols jeunes sur des basaltes du Centre Cameroun sont étudiés. Après une brève présentation des sols et quelques indications analytiques l'étude de la fraction argileuse est abordée plus longuement, par voie chimique, thermique, rayons X, microscopie et microdiffraction électroniques.

Les minéraux argileux mis en évidence sont l'halloysite et la métahalloysite, la première semble engendrer la seconde. L'halloysite se présente sous forme de particules allongées ou de glomérules.

Summary - The presence of halloysite in the young soils above the basalts of Central Cameroon. Three profiles of young soils formed on the basalts of Central Cameroon were studied. After a short description of the soils and some analytical data, the clay fraction of the soil is considered in more detail. The clay minerals found were halloysite and metahalloysite, the first appearing to give rise to the second. The clay fraction was studied by chemical, thermal and X-ray analysis, microscopy and electron diffraction. The structures observed may be likened to the "onion-like" allophane-halloysite of Japanese authors.

Introduction

Sur le plateau de l'Adamaoua, dans le Centre Cameroun (latitude nord $7^{\circ}10'$, longitude est $13^{\circ}40'$) se trouvent, sur des basaltes récents, des sols jeunes. L'altitude des lieux de prélèvement est comprise entre 1200 et 1300 m. Le climat est tropical de moyenne altitude. La pluviosité est de 1500 à 1600 mm répartie sur 7 mois avec 5 mois de saison sèche. La température moyenne annuelle est de 23° (max. 32° , min. 13°). En saison sèche, le degré hygrométrique peut descendre en dessous de 20%. La végétation est celle de la savane soudano-guinéenne.

L'intérêt de ces sols jeunes sur basaltes récents vient de leur proximité avec des sols beaucoup plus évolués, franchement ferrallitiques. Ces sols jeunes, dont trois profils sont étudiés, doivent permettre par conséquent de surprendre une étape de l'évolution des minéraux argileux dans le milieu tropical à climat alternant.

Les profils

Deux des profils étudiés sont situés sur les cônes de projection d'anciens appareils volcaniques, en position de drainage excellent (SND 1 et 7). Le troisième profil SND 8 est en contrebas du profil 7, dans un ancien cratère égueulé qui forme une prairie plane mal drainée, mais jamais inondée.

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

N° : 13674

Cote : B

- 5 JAN 1970

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

84 n°/3674

Les trois profils sont de type A, (B), C :

- L'horizon A est caractérisé par une teneur élevée, en matière organique et par le mélange intime de celle-ci à la matière minérale du sol.
- L'horizon (B) est rouge assez foncé, sans concrétionnement de fer et à structure polyédrique peu développée.
- L'horizon C dépasse le mètre d'épaisseur; il est moins rouge et moins argileux que (B).

Caractéristiques analytiques de ces sols.

Granulométrie.

La texture est généralement argilo-sableuse à argileuse dans l'horizon A et devient sablo-limoneuse en profondeur. L'horizon B n'est qu'un horizon de couleur.

Matière organique.

Les taux de matière organique sont élevés et décroissent de haut en bas : 8 à 9^o/o en surface, 2 à 4^o/o à 60 cm de profondeur et moins de 1^o/o à la base des profils. Le C/N de 11 à 15 est assez élevé.

Acidité.

Le pH de surface varie entre 6,15 et 6,35, il diminue légèrement entre 60 cm et 1 m de profondeur et remonte ensuite jusqu'à 7,35 dans l'horizon d'altération de la roche.

Capacité d'échange - bases échangeables - degré de saturation (tableau 1).

La capacité d'échange de la terre fine (< 2 mm) est élevée ; elle oscille entre 34 et 39 méq.^o/o dans l'horizon A ; entre 17 et 33 méq.^o/o vers 60 cm de profondeur et entre 14 et 26 méq.^o/o en C. La moyenne de la somme des bases échangeables S se situe en surface entre 15 et 24 méq.^o/o, vers 60 cm de profondeur entre 10 et 18 méq.^o/o et dans l'horizon C entre 9 et 15 méq.^o/o. On note la dominance des alcalino-terreux sur les alcalins. Les taux de saturation S/T sont élevés et compris le plus souvent entre 60 et 80^o/o.

Etude des minéraux argileux

Analyse chimique (tableau 2).

Les analyses chimiques de la fraction inférieure à 2 μ effectuées par spectro-quantométrie nous montrent que les rapports moléculaires SiO₂/Al₂O₃ sont égaux ou légèrement supérieurs à 2, et laissent prévoir un minéral argileux de la famille de la kaolinite. La perte en eau, entre 110 et 1000^o, toujours comprise entre 12 et 16^o/o, oriente également vers la famille de la kaolinite. La perte entre 20 et 110^o, de 7 à 10^o/o, fait penser à l'hallowysite.

Tableau 1.

REPARTITION ET SOMME (S) DES BASES ECHANGEABLES

CAPACITE D'ECHANGE (T)

TAUX DE SATURATION (S/T)

Echantillons		prof. cm.	még. ‰				S	T	S/T ‰
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺			
PROFIL SND 1	SND 11	10	15,5	7,1	1,6	0,1	24,5	39,4	62
	- 12	30	12,6	4,7	1,6	0,05	19	29,2	66
	- 13	55	11	4,2	3,2	0,2	18,3	27,4	67
	- 14	100	9,7	4,5	2,6	0,2	17	22,5	76
	- 15	160	9,1	3,9	2,4	0,2	15,6	19,8	79
PROFIL SND 7	SND 71	5	16,3	6,7	0,8	0,2	24	33,8	71
	- 72	65	4,2	4,3	1,3	0,3	10	16,9	60
	- 73	105	3,9	3,6	1,1	0,3	8,9	16,8	53
	- 74	185	4,6	3	0,7	0,6	8,9	13,8	65
PROFIL SND 8	SND 81	10	9,4	4,5	1,2	0,1	15,2	38,3	40
	- 82	50	9,8	5	1,2	0,15	16,2	33	49
	- 83	145	7,5	5,7	1,1	0,16	14,5	25,8	57

Tableau 2

ANALYSE TOTALE DE LA FRACTION INF. A 2 μ

Echantillons		prof. cm.	en % de terre séchée à 110°								Perte 110/1000°	Σ	Perte 20-110°	SiO ₂ / Al ₂ O ₃ coeff.mol.
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	Mn ₃ O ₄	TiO ₂					
PROFIL SND 1	SND	11	10	38,4	26,5	0,91	1,0	13,1	0,21	3,54	14	97,7	7	2,46
	-	12	30	37,7	31	0,68	0,2	13,1	0,21	3,60	12,6	98,9	8,3	2,06
	-	13	55	37,1	31,7	0,71	0,44	12,9	0,25	3,54	12,4	99	8,3	2
	-	14	100	36,7	30	0,78	0,69	13,3	0,31	3,6	12,6	98	8,4	2,07
	-	15	160	36,7	29,5	0,78	0,70	12,6	0,24	3,35	12,1	96	8	2,11
PROFIL SND 7	SND	71	5	36,4	28,6	0,97	0,35	12,2	0,11	3,36	14	96	9,5	2,16
	-	72	65	37,7	32	0,77	0,2	10,8	0,08	4,06	12,2	97,6	9,5	2
	-	73	105	36	30	0,64	0,25	11,9	0,27	3,5	14,8	97,7	10,2	2,02
	-	74	185	38,2	29,1	0,7	0,68	10,6	0,26	2,95	13,6	96	10,2	2,22
PROFIL SND 8	SND	81	10	36	28	0,83	0,68	13,6	0,31	3,1	15	97,5	9,5	2,18
	-	82	50	35,7	28	0,73	0,43	13,5	0,29	3,32	15	97	9,5	2,16
	-	83	145	35,2	28,3	0,68	0,25	13,8	0,32	3,50	16	98	9,6	2,12

Capacité d'échange.

Six mesures de capacité d'échange ont été effectuées sur la fraction inférieure à $2\ \mu$. Pour les horizons de surface les chiffres obtenus vont de 30 à 35 méq. $^{\circ}/o$; pour l'horizon C de 44 à 51 méq. $^{\circ}/o$. Ces valeurs sont plus élevées que les valeurs courantes de la kaolinite (7-15 méq. $^{\circ}/o$); mais voisinent avec celles de l'halloysite $4\ H_2O$ (40 à 50 méq. $^{\circ}/o$).

Analyse thermique différentielle.

La figure 1 groupe les courbes d'analyse thermique différentielle du profil SND 1. Sur tous les échantillons, un crochet endothermique situé entre 550 et 575° , et un crochet exothermique variable entre 920 et 950° permettent de penser à un minéral de la famille de la kaolinite.

Un crochet endothermique important de départ d'eau existe entre 130 et 150° sur tous les échantillons et oriente vers l'halloysite.

Le phénomène endothermique, faible entre 310 et 350° , est à attribuer à un hydrate de fer, probablement la goëthite, ou à des produits amorphes.

Rayons X.

Une quinzaine d'extraits inférieurs à $2\ \mu$ des trois profils étudiés ont été examinés par diffraction aux rayons X. Les diagrammes obtenus sur le profil SND 1 sont représentés sur la figure 2.

Les résultats sont groupés au tableau 3. Dans celui-ci, chaque minéral argileux est affecté d'un chiffre de 1 à 10, qui donne un ordre de grandeur de son abondance. L'examen du tableau 3 nous montre que :

- Dans les deux profils SND 1 et 7 le seul minéral argileux présent à la base des profils est l'halloysite.
- Dans tous les profils la quantité d'halloysite diminue vers la surface et simultanément la teneur en métahalloysite augmente.

Dans la partie supérieure des profils SND 1 et 7, le passage de l'halloysite à la métahalloysite est en conséquence vraisemblable.

Mesures de surfaces spécifiques.

Trois mesures ont été faites sur la fraction argileuse :

SND 14 : $131\ m^2/g$ - SND 74 : $150\ m^2/g$ - SND 83 : $74\ m^2/g$

La dernière valeur est proche des chiffres obtenus habituellement pour le mélange kaolinite - métahalloysite dans les sols plus évolués sur basaltes (60 à $80\ m^2/g$), et cet échantillon contient justement la métahalloysite. Les deux premières valeurs sont plus élevées et pourraient correspondre à la seule présence de l'halloysite.

L'étude au microscope électronique a été entreprise pour préciser le faciès de ces minéraux.

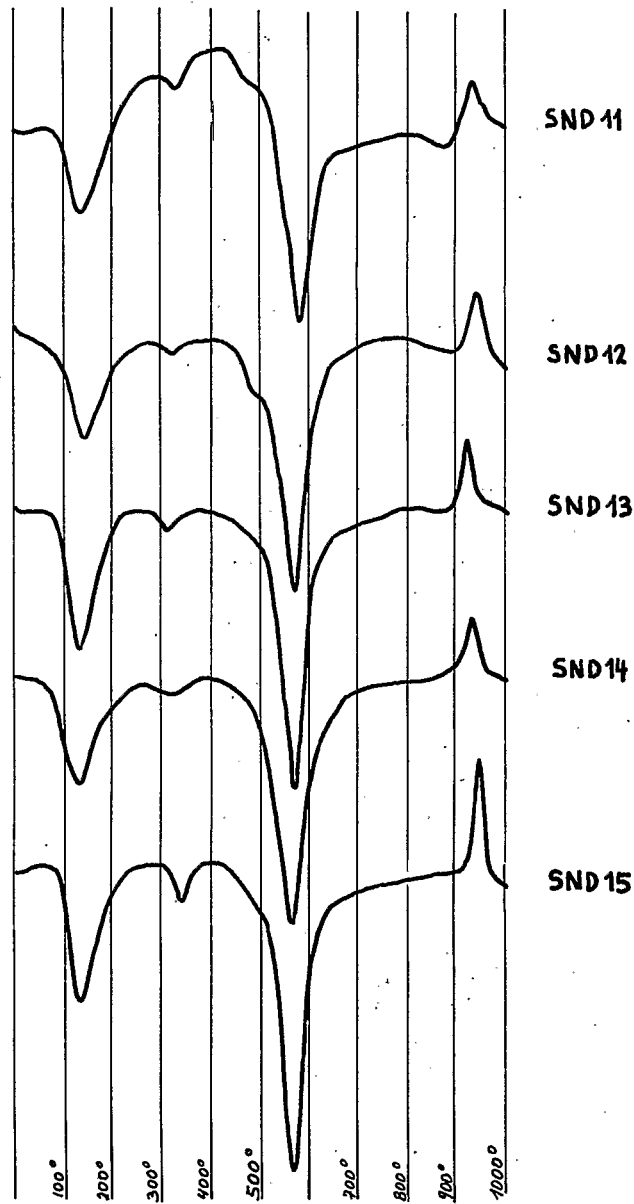


Fig.1- COURBES D'ANALYSE THERMIQUE DIFFERENTIELLE
 DE LA FRACTION MINERALE INF. A 2 μ
 DU PROFIL SND 1

Tableau 3.

COMPOSITION MINERALOGIQUE DE LA FRACTION INFÉRIEURE A 2 μ

		MINÉRAUX ARGILEUX		OXYDES ET AUTRES MINÉRAUX					
		Metahalloysite	Halloysite	g	h	m	q	pl	p
PROFIL SND 1	SND	11	6	4	+	+	+		
	-	12	5	6	+	+			
	-	13	2	8	+	+			
	-	14	1	9		+	+		
	-	15		10		+	+		+
PROFIL SND 7	SND	71	5	5	+	x			
	-	72	1	9	+	x			
	-	73		10	+	x	+		
	-	74		10	+	x			+
PROFIL SND 8	SND	81	9	1	+	+		+	
	-	82	8	2	+	+			
	-	83	5	5	+	+			+

+ Traces
x Présent
g Goethite

h Hématite
m Magnétite
q Quartz

pl Plagioclases
p Pyroxènes

Planche I

Photographies obtenues au microscope électronique des particules inférieures à 1μ , extraites de deux échantillons de sols jeunes sur basalte du Centre Cameroun (région de N'Gaoundéré).

- 1 : formes tubulaires irrégulières d'halloysite
(photo EBERHARDT, Laboratoire de Minéralogie de
Strasbourg).
- 2 : Amas granulaires d'oxydes de fer amorphes
(photo JEOLCO).
- 3.: Formes glomérulaires d'halloysite
(photo EBERHARDT, Laboratoire de Minéralogie de
Strasbourg).

PLANCHE I



Photo 1



Photo 2

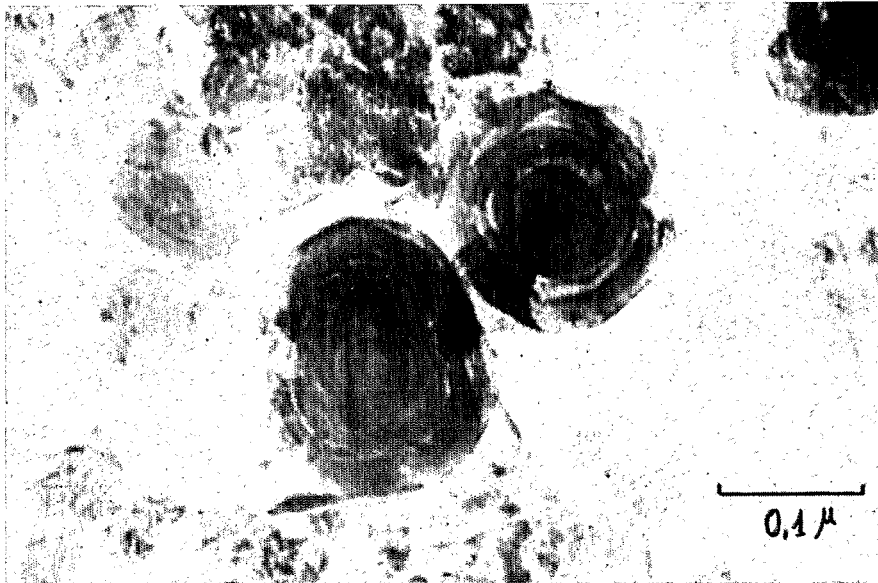


Photo 3

Planche II

Photographies obtenues au microscope électronique des particules inférieures à 1μ , extraites d'un sol jeune sur basalte du Centre Cameroun (Région N°Gaoundéré).

- 4 : Particule à structure concentrique d'aspect rectangulaire (photo EBERHARDT, Laboratoire de Minéralogie de Strasbourg).
- 5 : Formes glomérulaires d'halloysite à structure en écailles concentriques. (photo JEOLCO).
- 6 : Formes tubulaires et glomérulaires d'halloysite. (photo EBERHARDT, Laboratoire de Minéralogie de Strasbourg).

PLANCHE II



Photo 4



Photo 5

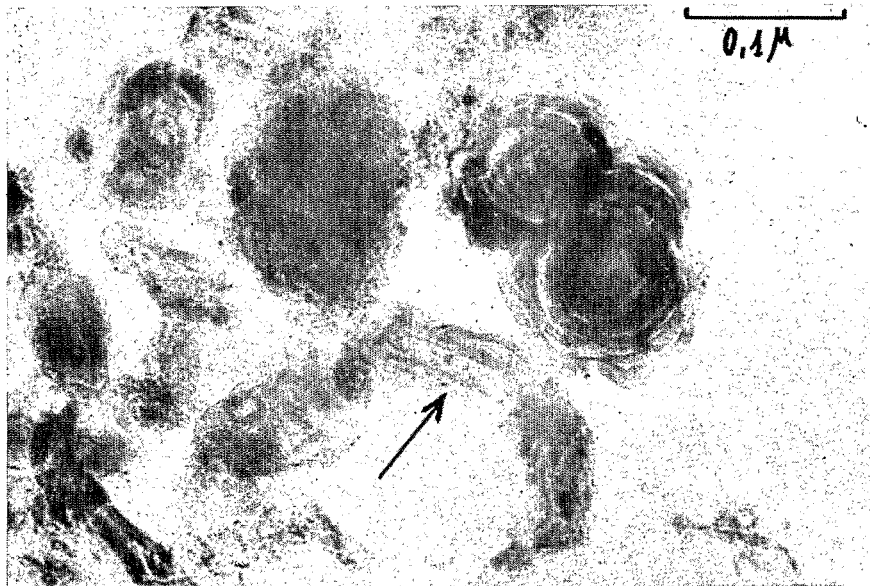


Photo 6

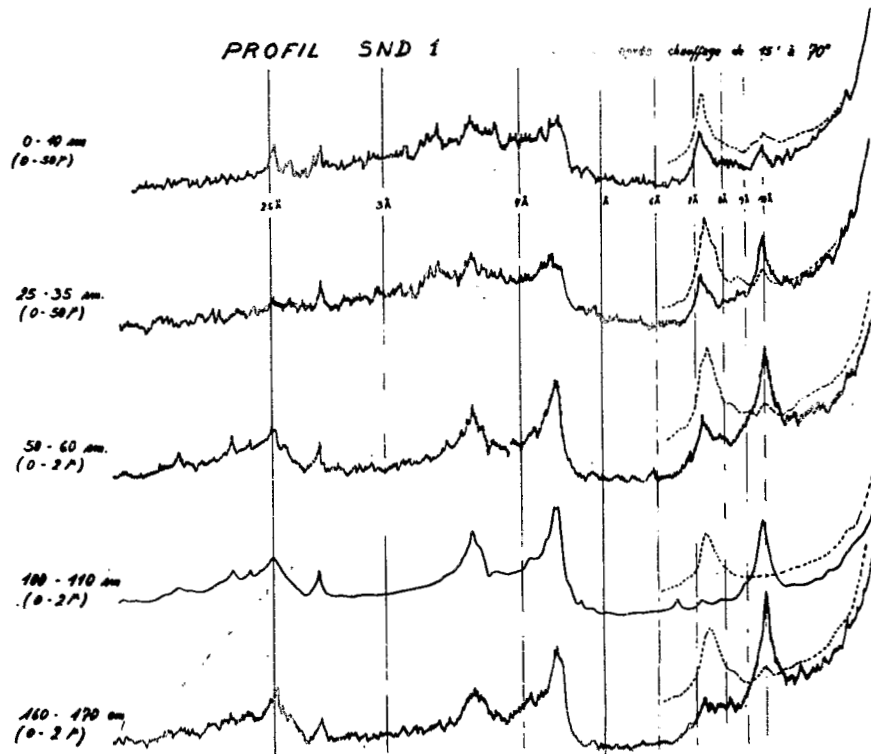


Fig 2 - ÉVOLUTION MINÉRALOGIQUE DE LA FRACTION INFÉRIEURE À 2μ DANS LE PROFIL SND 1

Microscopie électronique.

Trois faciès sont observables par microscopie électronique :

- Des formes tubulaires irrégulières, le plus souvent deux à trois fois plus longues que larges ; leur longueur ne dépasse pas $0,3 \mu$ (photo 1).
- Des amas irréguliers de taille généralement inférieure à $0,2 \mu$, d'aspect granulaire, qui pourraient correspondre aux oxydes de fer amorphes (photo 2).
- Des formes glomérulaires, enroulées, ou à structures en écailles concentriques qui ne dépassent que très rarement $0,3 \mu$ de diamètre (photo 3). Ces glomérules ressemblent à ceux décrits comme "onion-like" par les auteurs japonais (SUDO et TAKAHASHI, 1956 - KURABAYASHI et TSUCHIYA, 1960). Les éléments glomérulaires

ne sont pas forcément ronds ou ovoïdes, mais peuvent avoir un aspect rectangulaire (photo 4). Dans de nombreux cas, l'enroulement semble fait de parties plus ou moins rectilignes (photo 5). Dans d'autres cas, ces éléments semblent se détacher des glomérules (photo 6).

Il convient de signaler ici que les raies des séquences 001, aux rayons X, n'apparaissent bien qu'après agitation aux ultra-sons, autrement dit après dislocation partielle des glomérules et ceci semblerait montrer que ces glomérules ne sont pas amorphes mais formés de substance cristallisée.

Des essais de microdiffraction électronique ont été tentés sur un groupe de glomérules et sur un amas de particules planes. Les clichés obtenus montrent dans les deux cas une nature cristalline assurée.

Ces faciès d'halloysite peuvent être comparés à ceux qui ont été obtenus par d'autres auteurs sur des halloysites de différentes origines : la bibliographie consultée à ce sujet est jointe.

Conclusions

Trois points peuvent être dégagés de cette étude.

- 1) La synthèse d'halloysite dans les sols se produit en milieu bien percolé, à pH voisin de la neutralité.
- 2) L'halloysite des sols se présente sous des formes glomérulaires ou tubulaires irrégulières. Ces formes sont très différentes de celles des halloysites hydrothermales du type Djebel-Debar, mais ont été déjà décrites dans des produits d'altération (SUDO et TAKAHASHI, 1956 - KURABAYASHI et TSUCHIYA, 1960 - VERNET, 1962).
- 3) L'halloysite évolue normalement dans le haut des profils en métahalloysite.

BIBLIOGRAPHIE

- BATES T.F., HILDEBRAND F.A. et SWINEFORD A. (1950) - Morphology and structure of endellite and halloysite. *Amer. Min.*, 35, p.463-484.
- BATES T.F. et COMER J.J. (1959) - Further observations on the morphology of chrysotile and halloysite. *Clays and clay min.* (6th. Nat. Conf. 1957), p. 237-248.
- BRINDLEY G.W., PERSIO de SOUZA SANTOS (1966) - New varieties of kaolin-group minerals and the problem of finding a suitable nomenclature International Clay Conf. Jerusalem 1966, 1, p. 3-11.
- CHUKHROV F.V. et ZUYAGIN B.B. (1966) - Halloysite, a crystallochemically and mineralogically distinct species. - International Clay Conf. Jerusalem 1966, 1, p. 11-27.

- GASTUCHE M.C., FRIPIAT J.J. et de KIMPE C. (1962) - La genèse des minéraux argileux de la famille du kaolin. - Colloque Intern. C.N.R.S. 105, p.57-81.
- HENIN S., CAILLÈRE S. (1963) - Minéralogie des argiles. - Masson et Cie, Paris, 355 p.
- KELLER W.D. (1963) - Hydrothermal kaolinization (endellitization) of volcanic glassy rock. - *Clays and clay min.* (10th Nat. Conf. 1961), p. 333-343.
- KULBICKI G. (1956) - Constitution et genèse des sédiments argileux sidérolithiques et lacustres du Nord et du Nord-Est de l'Aquitaine. - *Sciences de la Terre*, 4, 1-2, p. 1-101.
- KURABAYASHI S. et TSUCHIYA T. (1960) - Quantitative estimation of hydrated halloysite in volcanic ash beds. *Clay Sci.*, 1, p.15-22.
- MEHMEL M. (1935) - Über die Struktur von Halloysit und Metahalloysit. *Zeitschr. Krist.*, 90, p.35-42.
- MILLOT G. (1964) - Géologie des argiles - Masson et Cie, Paris, 499 p.
- OBERLIN A. et TCHOUBAR C. (1957) - Étude en microscopie électronique de l'altération des cristaux de kaolinite. - *C.R. Acad. Sc. Paris*, 244, p. 1524-1526.
- SEGALEN P. (1965) - Les produits alumineux dans les sols de la zone tropicale humide. - *Cahiers ORSTOM Pédol.*, 3, 3, p. 179-205.
- SUDO T. et TAKAHASHI H. (1956) - Shapes of halloysite particles in Japanese clays - *Clays and clay min.* Pub. 456 Nat. Acad. Sci. Nat. Res. Coun. Washington, p. 67-69.
- TCHOUBAR C. (1960) - Formation de la kaolinite par altération de l'albite à 200° C. Microscopie et diffraction électronique. - Thèse Fac. Sc. Paris.
- VERNET J.P. (1962) - L'halloysite bleue du Mont Vuache (Savoie) - *C.R. Acad. Sc. Paris*, 254, p. 2377-2379.