

Conditions d'apparition de la nordstrandite dans les sols de la Polynésie française

Rémi JAMET, Jean TRICHET et Ginette MILLOT

Résumé — Le sommet lapiezé du récif corallien frangeant de Rurutu a, postérieurement à son soulèvement d'une centaine de mètres, été recouvert par des matériaux d'origine volcanique aux dépens desquels se sont développés des oxydisols. Ces sols se différencient des oxydisols classiques par leur non désaturation, leur neutralité et surtout par l'apparition et la dominance fréquente au sein des hydroxydes d'aluminium, de la nordstrandite, présente aussi dans la frange minéralisée du calcaire encaissant. Ce minéral semble symptomatique des sols allitiques se développant dans des conditions de pH voisines de la neutralité à la faveur du lessivage du calcium de calcaires environnants.

Conditions for nordstrandite occurrence in the soils of French Polynesia

Abstract — Following its uplift of a few hundred metres, the karren summit of the fringing coral reef of Rurutu has been covered by volcanic materials from which oxidisols develop. These soils differ from the classical oxidisols by their absence of unsaturation, their neutrality and above all by the occurrence and the prevalence of nordstrandite within the aluminium hydroxides. It is also observed in the mineral-bearing fringe of the enclosing limestone. This mineral seems to be characteristic of the allitic soils which develop following calcium leaching from the surrounding limestones under pH conditions close to neutrality.

Abridged English Version — There are four naturally occurring polymorphous aluminium hydroxides, $\text{Al}(\text{OH})_3$: gibbsite, bayerite, nordstrandite and the recently discovered doyleite [1]. Nordstrandite, which was first synthesized in 1956 by Van Nordstrand [2] and several times after ([3] to [7]), is not frequently observed in natural conditions. However, it has been observed in several parts of the world in bauxites or in soils ([8] to [12]) and it has just been discovered in French Polynesia, on the island of Rurutu (Austral Archipelago).

More than one million years ago, this volcanic island was subjected to an uplift which raised its fringing reef by about one hundred metres [13]. Then, the summit of the reef, which is up to 600 m wide, and has a tabular aspect but already highly karren, was covered by a younger volcanic deposit. Some outliers, from which are derived the soils concerned, subsist and alternate with calcareous peaks stained by ferro-aluminous impregnations.

These desilicated soils are, for the most part, composed of oxihydroxides of aluminium, iron and titanium (oxidisols). These oxidisols show the general characteristics of the oxidisols observed in Tahiti [14] with, however, a significant difference: they are not acid, but neutral.

X-ray diffractograms made on the soil as a whole or on its different granulitic fractions show a high intensity line with two indentations, at 4.79 and 4.84 Å which are characteristic of nordstrandite (whose content is close to 25%) and of gibbsite. The line at 6.11 Å observed in boehmite is only one third as intense.

Nordstrandite prevails in the silty fraction, whereas clay contains more gibbsite.

The staining of the overhanging limestone and its peaks result from the epigenesis of calcium carbonate by hydroxides of iron and aluminium such as the nordstrandite (characteristic X-rays) which is always prevalent and even almost exclusive and results from soils.

The study through infra-red spectroscopy of these mineral-bearing soils and corals confirms the existence of nordstrandite (vibrations of OH groups at 3,560, 3,620 and 3,650 cm^{-1} [15].

Note présentée par Georges PÉDRO.

All the studies concerning nordstrandite show that it occurs, in natural conditions, only in a basic or neutral area ([8], [9], [17]), as is the case at Rurutu.

CONCLUSIONS. — 1. In the karstic relief of the summit of the raised coral reefs at Rurutu, there are, on *in situ* volcanic material, non-saturated, neutral oxidisols which are rich in aluminium hydroxides dominated by nordstrandite, with gibbsite and boehmite.

2. The epigenetic mineralizations of the overhanging limestone also contain nordstrandite with or without gibbsite which are minerals resulting from soils covering them or having covered them.

3. These oxidisols clearly differ from the other surrounding oxidisols or from those of the other Polynesian islands which are acid and whose aluminium is only in the form of gibbsite.

4. The soils at Rurutu are similar to all other soils containing nordstrandite; they develop in a basic or neutral terrain from which the lime has been removed by leaching.

I. INTRODUCTION. — Des quatre hydroxydes polymorphes d'aluminium cristallisés, $\text{Al}(\text{OH})_3$, existant à l'état naturel, gibbsite, bayérite, nordstrandite et doyleite récemment découverte [1], la nordstrandite fut d'abord obtenue par synthèse en 1956 par Van Nordstrand [2]. Son nom ne lui fut cependant attribué que plus tard par Papée et coll. [3] qui l'obtinrent pratiquement pure.

Si ce minéral a, depuis, été maintes fois synthétisé dans des milieux variés mais toujours de pH élevé ([4] à [7]), il n'a été que peu souvent identifié à l'état naturel et plutôt dans des bauxites que dans des sols. Quelques auteurs le signalent en divers points du globe, à Guam [8], à Bornéo [9], au Monténégro [10], à la Jamaïque [11], au Québec [12]; cette liste n'étant pas exhaustive.

La nordstrandite vient aussi d'être mise en évidence, par deux des auteurs, en Polynésie française, dans des sols résultant de l'altération de matériaux d'origine volcanique recouvrant un soubassement calcaire récifal et dans le cortex minéralisé de celui-ci, dans l'île de Rurutu (Archipel des Australes).

II. SITE ET ENVIRONNEMENT. — Rurutu (22°27' de latitude Sud, 151°20' de longitude Ouest), est l'une des cinq îles volcaniques du plus méridional des archipels de la Polynésie française, l'Archipel des Australes, à cheval sur le Tropique du Capricorne. Elle a subi, il y a 1 à 2 Ma, un mouvement ascensionnel portant son récif frangeant à une centaine de mètres d'altitude [13]. Une reprise de l'activité volcanique a alors recouvert le sommet du récif pouvant atteindre 600 m de large, d'apparence tabulaire, mais déjà fortement lapiézé, d'un dépôt éruptif.

Il ne subsiste aujourd'hui des recouvrements volcaniques fortement érodés que des reliques de sols, conservés à la faveur des nombreuses poches de dissolution du calcaire, alternant avec des pitons ou des lames acérées, façonnés dans le calcaire blanc ou rose.

Leurs pointements, de même que les parois des vasques contenant les sols sont colorés en brun, ocre ou rouille, dans la masse, sur une profondeur de plusieurs décimètres par des imprégnations ferro-alumineuses.

Les sols évoluent sous une pluviosité de $1\,800 \pm 500$ mm/an, dont plus de la moitié est concentrée sur 5 mois, de décembre à avril.

La température moyenne des 3 mois les plus chauds est de 25°C, celle des 3 mois les plus frais de 21°C, le minimum absolu enregistré étant de 10°C.

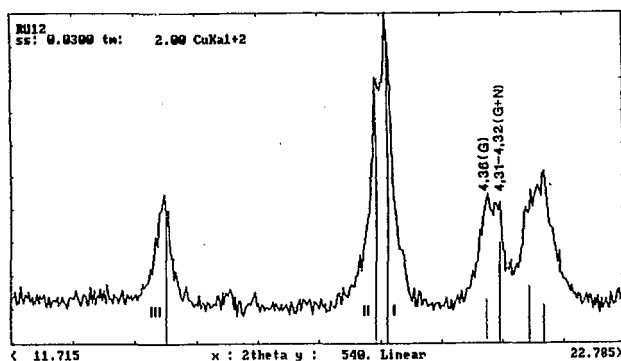
La végétation, très clairsemée, est constituée d'arbres ou arbustes dominés par les Cocotiers, *Pandanus tectorius*, *Guettarda speciosa* (Hotu), *Hibiscus tiliaceus* (Purau).

TABLEAU

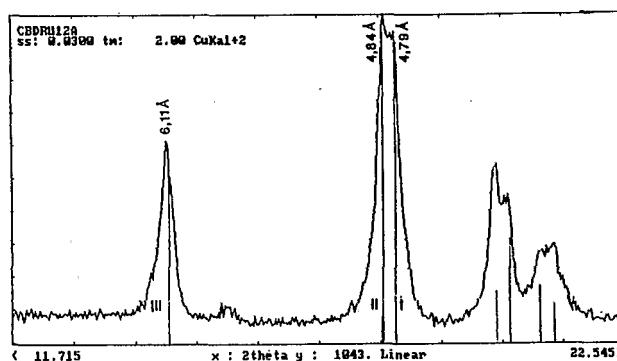
Origine des sols	Échant.	Prof. (cm)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	Minéralogie de l'Al.
	RU 11	0-14	0,65	29,25	28,50	6,50	Nordstrandite
Rurutu (sur récif corallien).	RU 12	25-35	0,45	33,50	33,10	7,20	Gibbsite
	RU 13	85-95	0,50	34	34	7,60	Boehmite

III. CARACTÈRES ANALYTIQUES DES SOLS ET DES CALCAIRES MINÉRALISÉS. — *Les sols* dont l'épaisseur peut dépasser 1 m sont rouge sombre (10 R 3/4), très friables, de faible densité, très poreux, de texture argilo-limoneuse. La structure polyédrique subanguleuse, fine en surface, est farineuse en profondeur, onctueuse à l'état humide.

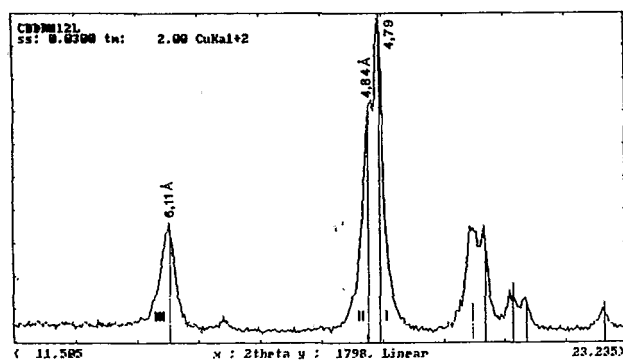
Ces sols sont riches en une matière organique bien humifiée, intimement mêlée à la fraction minérale (10 % sur 15 cm, C/N=10). La capacité d'échange cationique, élevée



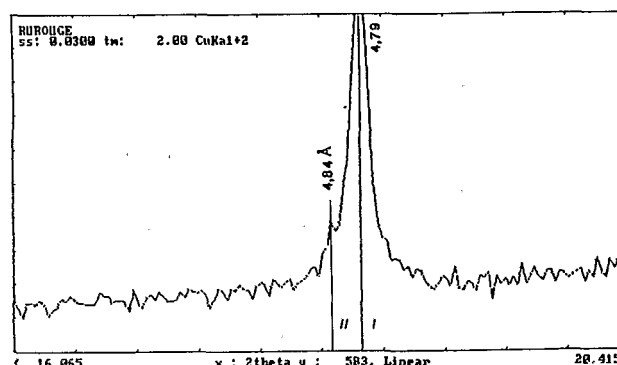
a1 I Nordstrandite
II Gibbsite
III Boehmite



a2 I Nordstrandite
II Gibbsite
III Boehmite



a3 I Nordstrandite
II Gibbsite
III Boehmite



b I Nordstrandite
II Gibbsite

Fig. 1. — Diffractogrammes de rayons X. (a) oxydisol d'origine volcanique sur soubassement corallien; a1=terre totale; a2=fraction <2 µm; a3=fraction 2-20 µm; (b) cortex brun-rouge du soubassement corallien.

Fig. 1. — X-ray diffractograms. (a) volcanic oxidisol on coral reef; a1=whole-soil sample; a2=fraction <2 µm; a3=fraction 2-20 µm; (b) reddish-grown cortex of coral reef.

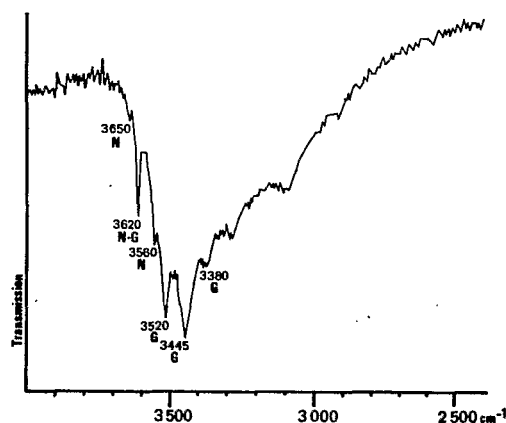


Fig. 2. — Spectre infrarouge entre 3 000 et 3 700 cm^{-1} : terre totale du même oxydisol.

Fig. 2. — *Infra-red spectrum between 3,000 and 3,700 cm^{-1} ; whole-soil sample of the same oxidisol.*

en surface mais inférieure à 7 méq/100 g à pH 7,0 en profondeur, est saturée aux 2/3 pour l'horizon A, à demi en dessous, essentiellement par du calcium et du magnésium.

La capacité de rétention d'eau est aussi faible que dans les autres sols allitiques du même type de Polynésie : 32 % du poids de sol sec à pF 2,5.

L'évolution géochimique extrême a conduit à un sol totalement désilicifié, constitué d'oxyhydroxydes d'aluminium, de fer, de titane, accompagnés de notables quantités de manganèse et de phosphore (tableau).

On retrouve là les caractéristiques générales des oxydisols des planètes de Tahiti [14], avec toutefois une différence notoire : ces sols ne sont pas acides; la réaction y est neutre, voisine de pH 7,0 du fait de la présence de fins débris calcaires et surtout de l'apport de calcium solubilisé par les eaux ruisselant à partir du récif environnant.

Les calcaires minéralisés. — L'observation au microscope optique, de la frange rouille minéralisée du récif, montre un front de pénétration matérialisé par un liseré brun. Mal cristallisée à l'avant de ce front, la calcite l'est très nettement à l'arrière où apparaissent d'abondants petits nodules bruns plus ou moins opaques. De leur jonction naissent de petites plages brun-rouille millimétriques. L'analyse de ces plages révèle une substitution partielle du carbonate de calcium par des hydroxydes de fer (goethite) et d'aluminium, dont les teneurs respectives peuvent atteindre 11 %.

Les éléments minéraux qui se substituent à la calcite sont ceux-là même qui constituent les sols résiduels d'origine volcanique de la surface récifale.

IV. MINÉRALOGIE DE L'ALUMINIUM. — Des *diffractogrammes de rayons X* (fig. 1) ont été réalisés sur des échantillons de terre totale prélevés dans toute l'épaisseur du sol, sur des fractions argileuses et limoneuses déferriées (C.B.D.), ainsi que sur le corail minéralisé. Le sol total a, en outre, été étudié par *spectroscopie infrarouge*.

Dans le sol, dominant très nettement les raies de l'hématite et de l'anatase, ressort des diffractogrammes de la terre totale une raie de forte intensité, à deux indentations, l'une mineure à 4,84 Å, l'autre à 4,79 Å qui correspondent respectivement à la gibbsite et à la nordstrandite.

La raie à 6,11 Å de la boehmite a une intensité environ trois fois moindre.

D'après les teneurs en Al_2O_3 données par l'analyse triacide du sol total, on obtient, par le calcul, des teneurs en $\text{Al}(\text{OH})_3$ qui augmentent avec la profondeur, de 45 à 52 % du poids du sol, la teneur en nordstrandite pouvant être évaluée à près de 25 %.

Les argiles et limons déferrifiés montrent ces mêmes raies de la gibbsite et de la nordstrandite toujours nettement dominantes, mais alors que dans les limons la nordstrandite domine nettement la gibbsite, c'est l'inverse dans la fraction argileuse qui renferme, en outre, deux fois plus de boehmite bien cristallisée.

Sur les diffractogrammes du *corail minéralisé*, finement broyé, on observe aussi, à côté des multiples raies de la calcite, les deux pics toujours associés à 4,79 et 4,84 Å de la nordstrandite et de la gibbsite, celle-ci étant toujours subordonnée à la première. Il n'y a que très peu de boehmite.

L'analyse révèle des teneurs en hydroxydes d'aluminium voisines de 15 %.

Un cortex très dur, brun rouge, épais de seulement quelques millimètres coiffe localement les minéralisations rouille et ocre. Malgré des teneurs en $\text{Al}(\text{OH})_3$ inférieures à 5 %, il ressort des diffractogrammes de rayons X, le pic très aigu, de forte amplitude, d'une nordstrandite très bien cristallisée. La gibbsite est présente en très faible quantité, la boehmite absente.

L'étude par *spectroscopie infrarouge* (fig. 2) de ces sols et du corail minéralisé y confirme la présence de nordstrandite. Les spectres infrarouges présentent en effet dans le domaine des vibrations des groupes OH, entre 3 000 et 3 700 cm^{-1} , plusieurs bandes ou épaulements attribués à ce minéral [15] ainsi qu'à la gibbsite et à la boehmite; la bande à 3 620 cm^{-1} étant commune à la nordstrandite et à la gibbsite :

Nordstrandite : 3 560, 3 620 et 3 650 cm^{-1} ; Gibbsite : 3 380, 3 445, 3 520 et 3 620 cm^{-1} ; Boehmite : 3 090 et 3 285 cm^{-1} .

Pendant, considérant que sa découverte est encore trop récente, PA HO HSU [16] semble douter de la possibilité d'identifier la nordstrandite par la spectroscopie infrarouge lorsqu'elle n'est pas à l'état pur.

V. GENÈSE DE LA NORDSTRANDITE. — Plusieurs chercheurs ont, au cours des trois dernières décennies, synthétisé la nordstrandite. Les synthèses les plus récentes ([6], [7]) ont été obtenues à partir de gels d'aluminium en milieu basique (pH 9 à 11), en présence d'anions organiques. Les auteurs ont aussi souligné le rôle catalytique que joue la montmorillonite dans cette genèse, rôle que peut aussi jouer la kaolinite [5]. Si la gibbsite cristallise mieux dans un environnement acide, la nordstrandite se développe dans un environnement faiblement acide à neutre; cet environnement peut être acide s'il est dépourvu d'ions Cl^- et Na^+ [5].

Dans la nature, la nordstrandite semble n'apparaître que dans des environnements calcaires, A Bornéo (Sarawak), des sols renfermant 43 % de nordstrandite se développent dans un matériau de remplissage de puits façonnés dans le calcaire [9]. A Guam, des cavités, situées dans la zone de contact du calcaire et du basalte altéré, peuvent renfermer jusqu'à 90 % de nordstrandite [8].

En Croatie, elle apparaît associée à la gibbsite à de fortes teneurs dans la « Terra Rossa » (pH 8,5) recouvrant des calcaires jurassiques karstifiés [17].

C'est aussi le cas à Rurutu où les sols, d'origine volcanique, qui la renferment, évoluent sur un soubassement récifal calcaire.

Une exception est fournie par l'atoll soulevé de Lifou en Nouvelle-Calédonie. Malgré des conditions voisines de celles prévalant à Rurutu, les sols brun-rouge, issus de ponces volcaniques flottées et qui emplissent les anfractuosités de la surface lapiézée du corail,

ne renferment pas de nordstrandite mais essentiellement de la boehmite associée à de la gibbsite [18].

VI. CONCLUSIONS. — 1. Sur le relief karstique du sommet des récifs coralliens soulevés de Rurutu se sont développés, dans un matériau d'origine volcanique, des oxydisols non désaturés, neutres, riches en hydroxydes d'aluminium : nordstrandite dominante, accompagnée de gibbsite et de boehmite.

2. Les minéralisations épigéniques du calcaire encaissant renferment aussi de la nordstrandite accompagnée ou non de gibbsite, minéraux provenant des sols les recouvrant ou les ayant recouverts.

3. Ces oxydisols se distinguent nettement des autres oxydisols du voisinage ou d'autres îles polynésiennes qui, eux, sont acides et dont l'aluminium est uniquement sous forme de gibbsite.

4. Les sols renfermant de la nordstrandite, découverts de par le monde, évoluent tous, comme à Rurutu, dans un environnement basique à neutre résultant du lessivage de calcaires proches. Ceci semble donc être une condition nécessaire à la genèse de la nordstrandite, mais peut-être pas suffisante toutefois comme le montre l'exemple de Lifou en Nouvelle-Calédonie.

Note remise le 15 avril 1991, acceptée le 18 avril 1991.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] G. Y. CHAO et J. BACKER, *Canadian mineralogist*, 23, 1985, p. 21-28.
- [2] R. A. VAN NORDSTRAND, W. P. HETTINGER et C. D. KEITH, *Nature (London)*, 177, 1956, p. 713-714.
- [3] D. PAPEE, R. TERTIAN et R. BIAIS, *Sc. Chim. France Bull.*, 1958, p. 1301-1310.
- [4] H. J. BOSMANS, *Acta Cryst.*, B 26, 1970, p. 649-652.
- [5] R. J. BARNHISEL et C. J. RICH, *Soil Sci. Soc. of Am. Proc.*, 29, n° 5, 1965, p. 531-534.
- [6] A. VIOLANTE et M. L. JACKSON, *Geoderma*, 25, 1981, p. 199-214.
- [7] P. VIOLANTE, A. VIOLANTE et J. M. TAIT, *Clays and clay minerals*, 30, n° 6, 1982, p. 431-437.
- [8] J. C. HATHAWAY et S. O. SCHLANGER, *Nature*, 196, 1962, p. 265-266.
- [9] J. R. D. WALL, *Nature*, 196, 1962, p. 264-265.
- [10] R. TERTIAN, *Trav. Com. Int. Étude Bauxites, Oxydes, Hydroxydes Alum.*, 3, 1966, p. 51-64.
- [11] C. E. DAVIS et V. G. HILL, *Trav. Com. Int. Étude Bauxites, Oxydes, Hydroxydes Alum.*, 11, 1974, p. 61-70.
- [12] G. Y. CHAO et J. BAKER, *Canadian mineralogist*, 20, 1982, p. 77-85.
- [13] R. BROUSSE, *S.M.C.B.*, Fac. Sci. Orsay, 1981, 27 p.
- [14] R. JAMET, *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, XXII, n° 3, 1986, p. 285-299.
- [15] D. VIVIEN, M. C. STEGMAN et C. MAZIERES, *Journal de Chimie Physique et de Physicochimie biologique*, 70, n° 10, 1973, p. 1502-1508.
- [16] PA HO HSU, *Minerals in Soil Environments (2nd edition)*, Dixon and Weed, *Soil Sc. Soc. Am. Book series*, n° 1, 1989, p. 331-378.
- [17] L. MARIC, *Géol. Vjesnik*, 21, 1968, p. 281-291.
- [18] G. TERCINIER, *Science du Sol*, n° 1, 1972, p. 103-122.

R. J. et G. M. : Centre ORSTOM de Bondy, 72, route d'Aulnay, 93143 Bondy Cedex;

J. T. : Université d'Orléans,
Laboratoire de Géologie de la Matière organique, B.P. n° 6759, 45067 Orléans Cedex 2.