

# Le processus d'induration des oxydisols goethitiques sur péridotites en Nouvelle-Calédonie : un mode particulier d'induration de type plinthite

Pascal Podwojewski et Emmanuel Bourdon

C.R. Acad. Sci. Paris,  
t. 322, série II a,  
p. 453 à 459,  
1996

P. P. : ORSTOM, Centre de Géochimie  
de la surface (CNRS),  
1, rue Blessig, 67084 Strasbourg Cedex,  
France;

E. B. : Centre ORSTOM, BP n° A5,  
Nouméa, Nouvelle-Calédonie.

**Résumé** L'altération chimique intense des péridotites de Nouvelle Calédonie génère des sols oxydiques essentiellement goethitiques et un relief de type karstique. Un rabattement brutal d'une nappe d'eau au fond d'une doline conduit à une induration rapide, massive et continue des oxydes de fer à l'interface de deux milieux oxydant et réducteur. La goethite précipite sous une forme réticulée, pseudomorphose des cellules végétales et peut être associée à de la lépidocrocite, de la sidérite et de la rhodochrosite. Ces indurations ne peuvent être considérées comme des cuirasses ou des ferricrètes au sens strict.

**Mots-clés** : Doline, Goethite, Induration, Karst, Nouvelle Calédonie, Oxydisol, Péridotite.

## Abstract

### The induration process of goethitic oxisols on peridotites in New Caledonia: a singular plinthite-type process of induration

The strong chemical weathering of peridotites in New Caledonia generates goethitic oxisols and a karstic relief. A rapid decrease of a water-table at the bottom of a doline leads to a rapid, massive and continuous induration of iron oxide at the interface between an oxidizing and a reducing environment. Goethite precipitates in a reticular network, pseudomorphs after plant cells and could be associated with lepidocrocite, siderite and rhodochrosite. These hardpans could not be strictly considered as ferricretes.

**Keywords**: Doline, Goethite, Induration, Karst, New Calédonia, Oxisol, Peridotite.

## Abridged English Version I. INTRODUCTION

A sheet of peridotite (mainly dunité and harzburgite) overthrust the major part of New Caledonia during the Eocene, and currently covers over 30% of the island (fig. 1). The peridotite chemical composition is rather uniform (Paris, 1981; table). Soils capping peridotites are ferruginous oxisols, which are strongly indurated at the summit of the massifs or on "peneplains". The nature and the origin of the hardpan is discussed in this article.

## II. THE WEATHERING OF PERIDOTITES

On the peridotite massif, rainfall ranges from over 2,000 mm/a on isolated massifs of the western coast, to over 4,000 mm/a in the Great South Massif. Intense weathering has affected the peridotite since the Miocene (Latham, 1974). In those conditions, over 90% of the rock components (Mg and Si) are exported in solution. The geomorphology is karstic-like with dolines. On the slopes, soil-profiles are very shallow, but on the flat surfaces of the peneplains or the summit pla-

## Note

présentée par  
Georges Pedro.

remise le 9 octobre 1995,  
acceptée après révision  
le 15 janvier 1996.



teaus, they could reach a thickness of 40 m (Trescases, 1975; Latham, 1986). On the top of these profiles, soils are ferruginous oxisols or oxydisols (Segalen, 1995) composed of small particles of Al-goethite ( $\text{AlOOH} < 12\%$  mol.), with some rare concretions, which are  $< 2$  mm in diameter. These concretions are goethitic on the summit, and goethitic and hematitic on the sides of the massifs, where the rainfall is lower (Latham, 1986; Schwertmann and Latham, 1986).

### III. THE FERRUGINOUS HARDPANS

On the karstic reliefs, ferruginous hardpans are 2 to 3 m thick, capping the soil-profiles and are located on flat "peneplanation levels". On the Boulinda massif, Latham (1986) identified four levels of peneplains, which step from the summit along the sides of the massifs. The indurations are "lamellar ferricretes" with goethite pseudomorphs after plant cells on the summit, and brecciated hardpans on lower levels. They consist exclusively of goethite or of ferro-manganese oxides, located as cutans around the pores. Trescases (1975) and Latham (1986) suggested a hardening process initiated by a fluctuation of a water-table.

### IV. THE HARDENING PROCESS

The hardening process has been observed in a large swamp in the Lakes Plain (Great southern Massif). An artificial lowering of the water-table generated fast induration around the roots. Particles of goethite are associated with lepidocrocite, hydroxide of reduced environments (Schwertmann and Taylor, 1989). They are deposited around the pores, generating a reticular network (photo. 1). Siderite and rhodochrosite have also been observed in old indurated lacustrine sediments (photos. 2 and 3). These accumulations suggest reduced conditions, rich in organic matter, and a high partial pressure of  $\text{CO}_2$ .

In the middle of the swamp, 2 to 3 m thick massive vermiform hardpans, strongly indurated, which emerged less than 120,000 yrs ago, show a systematic goethite pseudomorph after plant cells (photos. 4 and 5). These indurations show the same morphological, micro-morphological, mineralogical and chemical features as the loose material observed at present in the middle of the swamp.

The induration is not like in lateritic ferricretes, an aggradation of hematitic concretions in small pores and in a kaolinic environment (Nahon, 1976; Herbillon and Nahon, 1988). It appears as a reticular network (Bonifas, 1959; Delvigne, 1965), initially formed by rootlets (photo. 5), and composed of particles of goethite which precipitated around macropores and pseudomorphs after plant cells. These indurations are similar to those described as "groundwater ferricretes" by Wright *et al.*, 1992; as petroplinthite by Aleva (1994) or lithoplinthite by Smith *et al.* (1977). Tardy (1993) suggest that these hardpans cannot be called ferricretes but goethitic plinthites, or conakrytes.

### V. CONCLUSION

The origin of hardpans observed on peneplains on peridotites could be similar to the process observed in the Lakes Plain. These processes involve dolines in hydromorphic perched areas, and a fast drop of the water-table that generates a rapid induration of the summital part of the profile. The resulting ferruginous hardpan forms under reduced conditions, in a very humid climate, by goethite secretions around roots and pseudomorphs after plant cells. The goethitic reticular network may be associated with lepidocrocite, siderite and rhodochrosite. These hardpans form rapidly, are laterally continuous, and have a massive, scoriaceous appearance. They could be called petroplinthite or lithoplinthite.

## I. INTRODUCTION

Un tiers de la Nouvelle-Calédonie est recouverte de péridotites charriées à l'Eocène moyen. Ces péridotites sont essentielle-

ment des harzburgites composées d'olivine, d'enstatite et de spinelle chromifère dans une proportion respective d'environ 70, 25 et 5 %. La composition chimique est relativement uniforme : environ 45 % de  $\text{MgO}$ ,

**Tableau** Analyse de péridotites et d'accumulations ferrugineuses.  
 Chemical analysis of peridotites and ferruginous accumulations.

	1	2	3	4	5	6	7
Ech.	Tab 13/2	Tab 13/12	Tab 13/17	Lac 1	Lac 2	Lac 5	Pir 11
P. Feu . . . . .	8,33	8,5	9,00	12,82	15,98	13,71	14,48
SiO <sub>2</sub> . . . . .	36,50	39,10	39,87	2,1	4,3	2,3	2,26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,09	0,59	0,96	0,4	8,7	3,1	4,05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	7,58	8,13	7,71	82,9	67,3	79,4	76,46
TiO <sub>2</sub> . . . . .	tr	0,15	0,03	0,02	0,24	0,10	0,12
MnO . . . . .	0,09	0,10	0,01	0,023	0,17	0,253	0,01
CaO . . . . .	0,96	0,38	0,66	< 0,02	< 0,02	< 0,02	tr
MgO . . . . .	45,95	42,20	41,07	0,06	1,06	0,08	0,01
K <sub>2</sub> O . . . . .	0,27	tr	0,01	0,05	0,08	0,05	tr
Na <sub>2</sub> O . . . . .	0,04	tr	0,15	< 0,05	< 0,05	< 0,05	tr
NiO . . . . .	0,27	0,33	0,47	0,057	0,419	0,129	0,02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,35	0,45	0,42	0,210	2,112	1,36	0,23

1 à 3 : Compositions chimiques de péridotites (Paris, 1981).

1. Dunite (Ouenarou) ; 2. Harzburgite (Quinné) ; 3. Harzburgite (col de Prony).

4 à 7 : Compositions chimiques d'accumulations ferrugineuses.

4 à 6 : Plaine des lacs, analyses chimiques effectuées au CGS de Strasbourg ; 4. Accumulations tuffeuses, goethite et lépidococite ; 5. Partie supérieure d'un dépôt dans le marais ; 6. Cuirasse vermiforme ; 7. Sédiment fluvio-lacustre de la rivière des pirogues, en plaquette indurée, analyse chimique effectuée par l'Orstom à Nouméa.

1 to 3: chemical compositions of peridotites (Paris, 1981).

1. Dunite (Ouenarou); 2. Harzburgite (Quinné); 3. Harzburgite (col de Prony).

4 to 7: Chemical compositions of ferruginous accumulations.

4 to 6: Lakes Plain; chemical analyses made by the CGS at Strasbourg; 4. Tuffaceous accumulations, goethite and lepidocrocite; 5. upper part of a deposit in the swamp; 6. vermiform hardpan; 7. Fluvial-Lacustrine sediment of the Pirogue River, indurated plates, chemical analysis conducted by Orstom at Noumea.

40 % de SiO<sub>2</sub> et 7 % de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Paris, 1981 ; tableau). La couverture pédologique est généralement constituée par un oxydisol de type ferritique (Segalen, 1995) qui est fortement induré dans les parties sommitales des massifs et sur les « pénéplaines ». Le problème de la nature et de l'origine de cette induration, à l'origine qualifiée de « cuirasse », est discuté dans cet article.

## II. L'ALTÉRATION DES PÉRIDOTITES

Les massifs isolés de péridotites forment des reliefs assez élevés sur la côte ouest, au sommet desquels la pluviométrie est largement supérieure à 2 000 mm/an, avec une forte nébulosité. La saison sèche se caractérise par une simple diminution de la pluviosité et l'humidité relative reste assez forte. Le grand massif du Sud, où la pluviométrie peut

localement dépasser 4 000 mm/an, est caractérisé par une importante pénépléation. Une érosion intense a affecté ces péridotites depuis le Miocène (Latham, 1974). Dans ces conditions climatiques très hydrolysantes, environ 90 % des composants de la roche mère, dont l'essentiel du magnésium et la silice, sont évacués en solution. Le profil d'altération est très faiblement développé sur pente où les sols sont souvent squelettiques ; par contre, sur les replats sommitaux, il peut atteindre 40 m d'épaisseur (Latham, 1986).

Dans la partie supérieure des profils en place, la plus évoluée, il ne subsiste que les oxydes de fer, avec un accroissement sensible des teneurs en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> et en Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (tableau). Ils sont composés de très fines particules de goethite alumineuse (< 12 % mole AlOOH) micro-agrégées, avec quelques rares concréc-

Fig. 1 Carte de localisation des péridotites en Nouvelle Calédonie  
1, Massif du Boulinda ; 2, Grand Massif du Sud ; 3, Plaine des Lacs.

Location map of the peridotites in New Caledonia. 1, Boulinda Massif; 2, Great Southern Massif; 3, Lakes Plain.

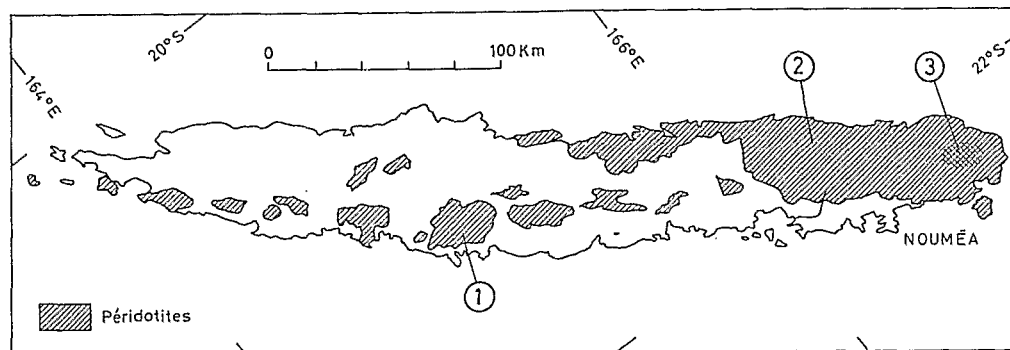
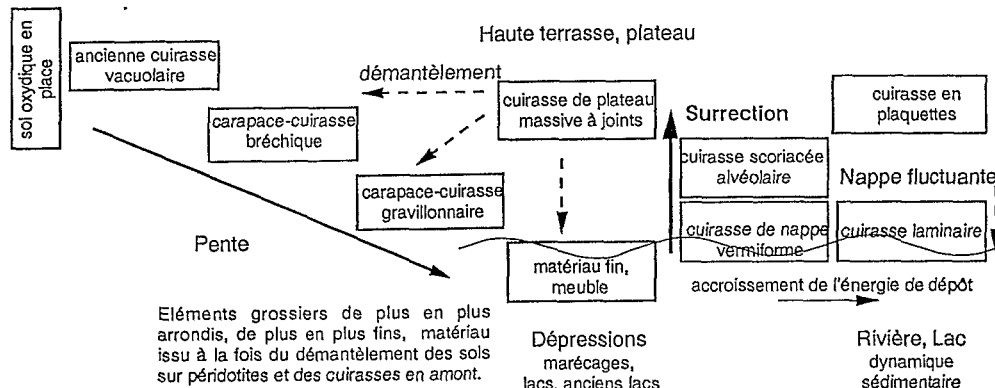


Fig. 2 Schéma d'organisation et relations entre les différents faciès meubles et indurés des formations superficielles de la Plaine des Lacs (d'après la carte de Bourdon et Podwojewski, 1988).

Positions of and relationships between different loose and indurated of facies formations of the Lakes Plain (after the map of Bourdon and Podwojewski, 1988).



tions n'excédant pas 2 mm de diamètre. Ces concrétions sont de nature goéthitique pour les sols situés dans les aires pluvieuses à proximité des sommets ; elles sont goéthitiques et hématitiques sur les replats situés en contre-bas des reliefs, dans les zones moins pluvieuses et au contact de smectites de type nontronite situées à la base des profils (Latham, 1986 ; Schwertmann et Latham, 1986).

Cette perte de matière en solution finit par provoquer un véritable relief karstique avec dolines et poljés, généralement le long d'anciennes lignes de fractures (Trescases, 1975) et dont les fonds sont souvent très hydromorphes et marécageux. Dans ces bas-fonds s'accumulent les résidus de l'altération mécanique très intense qui affecte les pentes (fig. 2).

### III. LES INDURATIONS FERRUGINEUSES

Sur ces reliefs karstiques, des indurations ferrugineuses compactes constituent des surfaces planes, exondées, toujours situées au

sommet des profils (sauf en cas de recouvrement colluvial et/ou alluvial) et épaisses de 2 à 3 m environ. Ces indurations sont disposées selon quatre surfaces de « pénépléation » s'étageant depuis le sommet des massifs péridotitiques isolés de la côte ouest et sur les pentes de ces reliefs (Trescases, 1975 ; Latham, 1986).

Au sommet du massif du Boulinda, Latham (1986) a décrit des indurations ferrugineuses constituées de « cuirasses lamellaires », à partir de revêtements de nature goéthitique et par endroits de fer-manganèse. Il a également noté l'existence de carapaces superficielles où des amas cellulaires étaient pseudomorphosés par de la goéthite, avec des teneurs importantes en manganèse. Dans les trois autres niveaux sous-jacents, le cuirassement peut englober des altérites, des fragments d'altérite, voire des éléments d'anciennes cuirasses sus-jacentes ou des pseudo-meulière, comme les cuirasses bréchiques ou conglomératiques. Dans tous les cas, l'induration est provoquée par les cutanes de goéthite et d'oxydes de ferro-

manganèse tapissant pores et fissures. Trescases (1975) et Latham (1986) ont émis l'hypothèse d'une formation généralisée des indurations ferrugineuses dans des milieux à battement de nappe sur le mode d'une plinthite.

#### IV. LE PROCESSUS D'INDURATION

Dans la plaine des lacs, vaste dépression marécageuse située au Sud de La Grande Terre (fig. 1), un rabattement artificiel de la nappe permanente, localisé à une tranchée, d'une centaine de mètres de long et profonde de 1,50 m, nous a permis de mieux comprendre le phénomène d'induration des oxydes de fer. Le dépôt, saturé en eau, est de teinte jaune-orangé dans les trente centimètres supérieurs, puis jaune ; il est très homogène, micro-agrégé, saturé en eau, et constitué exclusivement de goethite (tableau, Lac 2). Il présente un voile algaire en surface et des traces très denses de conduits racinaires. En un peu plus d'une décennie, dans un matériau issu de cette tranchée et exondé brutalement pour former un remblai, une induration systématique de quelques millimètres d'épaisseur s'est produite autour des racines. Un dépôt de particules exclusivement composées de goethite alumineuse se développe autour des vides et des pores en déterminant ainsi un réseau réticulé (photo. 1) autour de voiles algaires ou des filaments racinaires. Dans les griffons des résurgences de cette nappe, des dépôts ferrugineux forment des concrétions tuffeuses faiblement indurées, très poreuses, en lamines de quelques millimètres à quelques centimètres d'épaisseur, constituées de goethite parfois associée à la lépidocrocite, hydroxyde de fer caractéristique des milieux réducteurs (Schwertmann et Taylor, 1989). Dans certains anciens sédiments lacustres composés d'indurations en plaquettes, à plus forte énergie de dépôt, avec des pseudomorphoses goethitiques de grosses racines, on observe des accumulations de cristaux automorphes de 500  $\mu\text{m}$  de carbonate de fer (sidérite) et/ou de manganèse (rhodochrosite) tapissant des macropores (photo. 2 et 3). Ces anciennes accu-

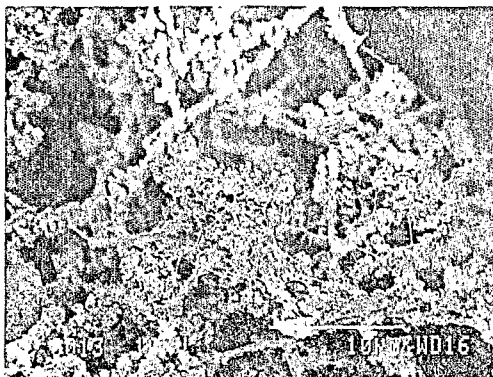


Photo. 1 Accumulations de goethite réticulée.

Accumulations of reticular goethite.

mulations témoignent d'un paléomilieu réducteur, riche en matière organique, à forte pression partielle de  $\text{CO}_2$ , comme il en apparaît actuellement au milieu du marécage et en périphérie des lacs.

Au milieu de ce marais, des formations ferrugineuses massives, vermiformes épaisses de 2 à 3 m, fortement indurées, récemment exondées par suite d'un mouvement néotectonique de basculement et de surélévation de la côte SW de La Grande Terre, et dont l'âge est inférieur à 120 000 ans (Cabioc'h,

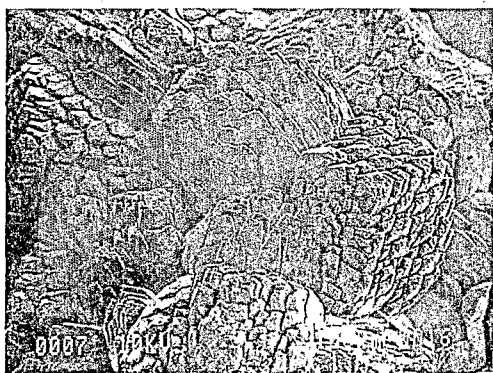


Photo. 2 Cristaux de sidérite autour d'un macropore.

Crystals of siderite around a macropore.

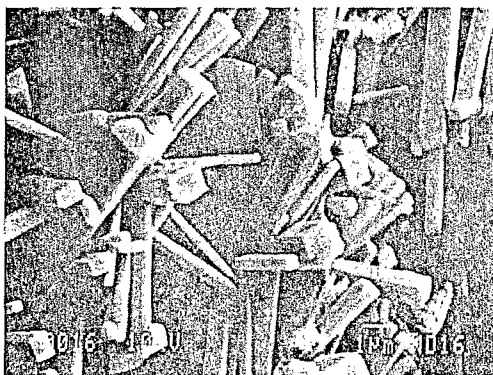


Photo. 3 Cristaux de rhodochrosite autour d'un macropore.

Crystals of rhodochrosite around a macropore.

Photo. 4 Pseudomorphose de cellules végétales par de la goéthite.

Pseudomorph of goethite after vegetal cells.

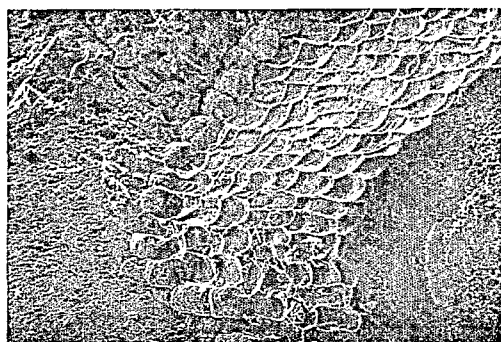


Photo. 5 Accumulation de goéthite autour de filaments racinaires et/ou algaires, début d'un réseau réticulé.

Accumulations of goethite around filamentous roots and/or algae, beginning of a reticular network.



1989), montrent à l'observation microscopique une pseudomorphose systématique des cellules végétales par les oxydes de fer qui, dans ce cas précis, consistent en goéthite (photo. 4 et 5). Ces indurations ferrugineuses passent latéralement à un faciès scoriacé ou alvéolaire (fig. 2). Leur macromorphologie, micromorphologie, composition minéralogique et chimique sont pratiquement analogues au sol jaune meuble décrit dans la tranchée et dont elles découlent par simple exondation. L'induration rapide de matériaux meubles initie un véritable cycle du fer – voire de la goéthite – dans le paysage du Sud de la Nouvelle-Calédonie (fig. 2).

L'induration n'est pas, comme dans le processus de cuirassement classique, le résultat d'une agradation nodulaire caractéristique des cuirasses ferrugineuses (Nahon, 1976 ; Herbillon et Nahon, 1988). Elle apparaît, au contraire, sous la forme d'un réseau cloisonné (Bonifas, 1959 ; Delvigne, 1965), et dans le cas de la Nouvelle Calédonie, initié dès le départ par la densité des filaments racinaires ou des voiles algaires autour desquels précipite la goéthite, associée accessoirement dans un environnement hydro-

morphe à la lépidocrocite, aux oxydes de manganèse ou à des carbonates de fer et de manganèse, ces minéraux précipitant perpendiculairement aux parois des pores.

On ne pourra pas, dans ce cas, parler de ferricrète au sens strict, même si ces formations sont indurées. Ces formations correspondent à des « cuirasses de nappe » qui se distinguent des autres cuirasses (Wright *et al.*, 1992) et pour lesquelles on utilisera plutôt le terme de plinthite que Tardy (1993) réserve aux « cuirasses réticulées à sécrétion d'hématite », et redéfini par Aleva (1994), ou de lithoplinthite, matériau induré, continu et vésiculaire (Smith *et al.*, 1977). Tardy recommande, en effet, de distinguer clairement les accumulations qui se font (1) sous forme de concrétions, dans les nodules en voie d'agradation, où sont associées hématite et kaolinite dans des pores de petite taille, de celles qui apparaissent (2) sous forme de sécrétions de goéthite ou d'hématite associées à un réseau de pores de grande taille. Les premières sont typiquement des ferricrètes, cuirasses ferrugineuses *sensu stricto*, les secondes bien qu'indurées ne sont que des cuirasses ferrugineuses *sensu lato* que ce même auteur propose de dénommer *conakryte*, par analogie avec les accumulations ferrugineuses décrites par Bonifas (1959) sur des dunites de Guinée, en milieu tropical humide.

## V. CONCLUSION

Les cuirasses des pénélaines situés sur les flancs et au sommet des reliefs péridotiques auraient un schéma de formation identique à celui observé dans les bas-fonds. Cette induration semble donc induite par la présence indispensable d'un système de dolines permettant de délimiter des zones hydromorphes perchées, avec une végétation favorisant le caractère réducteur du milieu ; un rabattement brutal de ces nappes perchées ou la vidange rapide des dolines par des mouvements tectoniques ou l'érosion d'un flanc permet l'induration massive et rapide de la partie sommitale des profils en contact avec la matière organique.

Ces indurations ferrugineuses s'effectuent sous un climat tropical très humide, sous la forme de sécrétions de goéthite qui précipite en manchons autour des racines, et pseudomorphose des cellules végétales. La goéthite délimite un réseau continu et réticulé ; elle est parfois associée à de la lépidocrocite, de la sidérite ou de la rhodochrosite. Ces minéraux traduisent un milieu réducteur riche en matière organique, situé à

proximité d'un niveau oxydant, donc de faible profondeur, comme dans les marais actuels. Les indurations sont rapides, massives, ont un aspect scoriacé, vermiforme ou laminaire et sont continues. Ces indurations ferrugineuses, qui se forment en milieu hydrotope réducteur, à goéthite dominante, peuvent être considérées comme des lithoplinthites ou des pétroplinthites.

Remerciements : Je remercie A. Herbillon et Y. Tardy pour leurs remarques constructives ainsi que le personnel technique des laboratoires d'analyse chimique et de minéralogie du C.G.S. qui m'a permis de réaliser ce travail.

- ALEVA, G.J.J. (compileur), 1994. Laterites. Concepts, geology, morphology and chemistry, ISRIC, Wageningen, 169 p.
- BONIFAS, M., 1959. Contribution à l'étude géochimique de l'altération latéritique, *Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 17, 159 p.
- BOURDON, E. et PODWOJEWSKI, P., 1988. Morphologie des formations superficielles dans le sud de la Nouvelle-Calédonie (Rivière des Pirogues et Plaine des Lacs). Rapport scientifique et technique, Sciences de la terre, 2, ORSTOM, Nouméa, 41 p.
- CABIOCH, G., 1974. Recifs frangeants de Nouvelle Calédonie, *Thèse*, Université de Provence, Aix en Provence, 291 p.
- DELVIGNE, 1965. Pédogenèse en zone tropicale. La formation des minéraux secondaires en milieu ferrallitique, *Mém. ORSTOM*, 13, 157 p.
- HERBILLON, A.J. et NAHON, D., 1988. Laterites and lateritization processes. In : STUCKI, J.W. et al. éd., *Iron in soils and clay minerals*, p. 776-796. D. Reidel publishing Company, NATO ASI Series, Series C, 217.
- LATHAM, M., 1974. Nouvelle observation de la coupe de Népoui (Nouvelle Calédonie) ; conséquences sur la chronologie de l'étagement des niveaux cuirassés sur les massifs de roches ultrabasiqes, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 279, série D, p. 1055-1058.
- LATHAM, M., 1986. Altération et pédogenèse sur roches ultrabasiqes en Nouvelle Calédonie, *Études et thèses*, ORSTOM, Bondy, 331 p.
- NAHON, D., 1976. Cuirasses ferrugineuses et encroûtements calcaires au Sénégal occidental et en Mauritanie. Systèmes évolutifs : géochimie, structures, relais et coexistence, *Sciences Géol. Mém.*, 44, 232 p.
- PARIS, J.P., 1981. Géologie de la Nouvelle Calédonie. Un essai de synthèse, *Mém. du BRGM*, 113, 278 p. + 2 cartes au 1/200 000.
- SCHWERTMANN, U. et LATHAM, M., 1986. Properties of some iron oxides in some New Caledonian oxisols, *Geoderma*, 39, p. 105-123.
- SCHWERTMANN, U. et TAYLOR, 1989. Iron Oxides. In : *Minerals in Soil environments*, 2nd edition, DIXON, J.B. et al., éd., SSSA, Book series n°1, Madison, Wi, p. 379-438.
- SEGALEN, P., 1995. Les sols ferrallitiques et leur répartition. Tome 3. Les sols ferrallitiques en Afrique et en Extrême Orient, Australie et Océanie. Conclusions générales, *Études et thèses*, ORSTOM, Bondy, 1986, 201 p.
- SMITH, G.D., BRITO, P.A. et LUQUE, O., 1977. The lithoplinthic horizon, a diagnostic horizon for soil taxonomy, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41, p. 1212-1214.
- TARDY, Y., 1993. *Pétrologie des latérites et des sols tropicaux*, Masson, Paris, 459 p.
- TRESCASES, J.J., 1975. L'évolution géochimique supergène des roches ultrabasiqes en zone tropicale. Formation des gisements nickélicifères de Nouvelle-Calédonie, *Thèse Sc.*, Strasbourg, 1973, *Mém. ORSTOM*, 78, 278 p., 22 pl.
- WRIGHT, V.P., SLOAN, R.J., VALERO GARCÉS, B. et GARCIE, L.A.J., 1992. Groundwater ferricretes from the Silurian of Ireland and Permian of the Spanish Pyrenees. *Sedimentary Geology*, 77, p. 37-49.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES