Les minerais de nickel de Nouvelle-Calédonie

Thursday 22 May 2008

Publication dans le bulletin de l’Union Française des Géologues - 2003 Les minerais de Calédonie Bernard G. PelletierDépartement Géologie – Sondages, Société Le Nickel – SLN, NouméaLes minerais de nickel de Nouvelle-Calédonie, exploités depuis 1875 environ, résultent de l'altération de péridotites. Ces roches ultramafiques renferment en effet un peu de nickel (0,3 % Ni) et de cobalt (0,01 % Co), et ces métaux peuvent se trouver localement concentrés lors du processus d’altération supergène en climat tropical humide.Bien que la garniérite fut découverte par J. Garnier en 1864, c’est seulement en 1902 que E. Glasser comprit, le premier, le mode de formation des minerais de nickel de Nouvelle-Calédonie. Alors que ses prédécesseurs supposaient des mécanismes hydrothermaux pour expliquer la formation des latérites et des minerais de nickel garniéritiques, E. Glasser a attribué uniquement à des phénomènes d'altération superficielle la formation des minerais de nickel de Nouvelle-Calédonie : "nous ne voyons dans la formation des argiles rouges (latérites) que l'effet du transport à courte distance d'une partie des éléments détritiques provenant de la décomposition superficielle des péridotites : celles-ci sont constituées… essentiellement de silice, de magnésie et de protoxyde de fer… avec de petites quantités de nickel et de cobalt : si l'on admet que les eaux superficielles aient pu en dissoudre certains éléments,… entraîner la majeure partie de la magnésie en solution… et laisser le fer à l'état de sesquioxyde désagrégé retenant en tout ou partie les petites quantités… de nickel et de cobalt,…sous l'effet d'actions chimiques difficiles à préciser, mais que l'on peut cependant imaginer, certains éléments se dissolvaient pour précipiter ensuite …. le nickel avec la magnésie pour se déposer sur les roches et dans leurs fentes et interstices sous la forme des hydrosilicates dont nous aurons à reparler (garniérites)".La Nouvelle-Calédonie, avec ses minerais saprolitiques (1/5) et latéritiques (4/5), possède 20 à 25 % des ressources mondiales en nickel. Par sa production minière actuelle, la Nouvelle-Calédonie est le troisième producteur mondial de nickel, après la Russie et le Canada qui exploitent des minerais de nickel sulfurés. Alors que la Nouvelle-Calédonie n’a jamais cessé de produire du nickel à partir de minerais silicatés (4,7 Mth par an en moyenne sur les dix dernières années), l’exploitation de minerais latéritiques (2 Mth par an) n’a commencé que depuis une quinzaine d'années. Avec son usine pyrométallurgique de Doniambo, la SLN, créée en 1880, a une capacité de production de l’ordre de 60.000 t de nickel par an. Pour mieux connaître les minerais saprolitiques qu’elle traite, la SLN a financé dans les années 70 des recherches très approfondies menées par Minemet Recherche (Centre de Recherche de Trappes) avec l’aide de spécialistes du CNRS (laboratoires d’Orléans et Strasbourg), du BRGM et des Universités d’Orléans et de Paris. C’est la synthèse de ces recherches, complétée par les travaux réalisés par d’autres chercheurs (J.J. Trescases, F.Besset, …) et par les géologues de la SLN des générations précédentes (Hanck, De Chételat, Orloff,…), qui est présentée ici. Les péridotites, roches mères des minerais de nickel A l'Eocène supérieur, il y a 35 à 40 millions d'années, l’obduction d’une partie de la lithosphère océanique de la plaque Pacifique sur le substratum volcano-sédimentaire constitue l'événement géologique majeur de la Nouvelle-Calédonie.De cette nappe lithosphérique, déjà profondément érodée, il ne reste que la partie inférieure, constituée de péridotites dont l'altération supergène a conduit à la formation des gisements de nickel. Actuellement, les massifs ultramafiques couvrent encore près du tiers de la superficie de la Grande Terre. Les péridotites les plus communes en Nouvelle-Calédonie sont des harzburgites, les dunites étant nettement moins abondantes. Ces roches sont essentiellement constituées d'olivine, minéral dans lequel se trouve la majeure partie du nickel des péridotites. La serpentinisation des péridotitesEn Nouvelle-Calédonie, les péridotites ont généralement subi une serpentinisation lors de leur mise en place. Localement une serpentinisation antérieure, vraisemblablement liée aux activités hydrothermales des fonds océaniques, est bien visible.La serpentinisation est une hydratation qui a lieu généralement à une température inférieure à 450°C. L'eau infiltrée dans les profondeurs à la faveur des fractures, des joints de grains et des craquelures des cristaux réagit au contact de l'olivine pour donner la serpentine, un phyllosilicate. Cette réaction conduit également à la formation de brucite qui est mise en solution et disparaît : olivine + eau Õ serpentine + brucite Mg2SiO4 2 H2O Mg3Si2O5(OH)4 Mg(OH)2 Lors de la serpentinisation, il se peut que, localement, la présence d'oxygène conduise à la formation de magnétite, mais le plus souvent le fer de l'olivine se retrouve dans le réseau cristallin de la serpentine, de même que le nickel. La serpentine qui contient 13 % d'eau de constitution, a donc une teneur en nickel équivalente à celle de l'olivine. %OlivineOrthopyroxèneSerpentineHarzburgiteSiO241604041MgO50353942FeO8577NiO0,40,080,40,3CoO0,020,02 0,02 H2O+00137 Compositions chimiques comparées des minéraux d’une harzburgite en partie serpentinisée, et de la roche totale qui contient également 0,1 % MnO. Fer total exprimé en FeO. La serpentinisation affecte également l'orthopyroxène qui va donner une serpentine en larges lamelles nacrées, la bastite (« mica des mineurs » en Nouvelle-Calédonie). Micro-photographie d'une lame mince de péridotite partiellement serpentinisée : grains d'olivine (de l'ordre d'une centaine de microns) séparés par des petites veines de serpentine. Les études très approfondies, financées par la SLN dans les années 70, ont montré que la serpentine primaire, formée essentiellement lors de la mise en place des péridotites, est surtout de la lizardite (serpentine en cristaux lamellaires), associée à un peu de chrysotile très finement cristallisé. L’antigorite, cette troisième forme de serpentine qui se forme à des températures pouvant dépasser un peu 500°C, n’est présente que de façon anecdotique dans certaines failles.Dans le réseau cristallin de la serpentine primaire des péridotites de Nouvelle-Calédonie, le magnésium est en partie remplacé par du fer, du nickel, du cobalt et du manganèse, ce qui a conduit à la formation préférentielle de lizardite.L’altération supergène L’altération supergène ne doit pas être confondue avec la serpentinisation. En Nouvelle-Calédonie, l’altération conduit à la formation de saprolites puis de latérites ; on parle donc d’altération latéritique ou de latéritisation. Etant donné que l’altération se traduit par une augmentation de la teneur en fer, on parle également d’altération ferrallitique ferritique, soulignant ainsi la faible teneur en alumine des altérites.

d’altération sur péridotitesDans la partie supérieure du sol, on peut observer une cuirasse ferrugineuse essentiellement constituée de goethite, sous laquelle peut se trouver un horizon de « grenaille » ou gravillons ferrugineux. Sous la cuirasse et la grenaille se trouvent les latérites, produits terreux de couleur ocre. Dans certains cas, la partie supérieure des latérites est déstructurée, c'est la « latérite rouge ». Sous la « latérite rouge », se trouve la latérite en place, dite « latérite jaune ». Les latérites, produits d'une altération avancée, presque entièrement dépourvus de magnésie et de silice, essentiellement constituées d'oxy-hydroxydes de fer partiellement cristallisés en goethite fine, ont une faible capacité de rétention du nickel.Sous les latérites, se trouve la roche mère partiellement décomposée, la saprolite. Dans les saprolites, la structure des péridotites est conservée mais la dissolution partielle de la magnésie et de la silice se traduit par une porosité importante. Dans les saprolites, l'altération se déroule à volume constant (« isaltérites »), ce qui se traduit donc par une diminution progressive de la densité apparente. A la base des latérites, la destruction de la roche est telle que la structure s'effondre et la densité apparente augmente donc. Par endroits, la partie supérieure de l’horizon saprolitique est fortement enrichie en nickel et est exploitée comme minerai. Les minerais de nickel exploités depuis plus d’un siècle en Nouvelle-Calédonie sont essentiellement les minerais saprolitiques, mais une grande partie des saprolites n'est pas suffisamment riche en nickel pour être exploitable.Les minerais latéritiques, exploités plus récemment, sont des « latérites jaunes » particulièrement riches en nickel et en cobalt (présence d’asbolanes et autres minéraux manganèsifères riches en cobalt à la base des latérites). HorizonFe2O3 %MgO %SiO2 %Fe2O3/MgOCuirasse75 – 770,5 – 1,51 – 276Grenaille73 – 750,5 – 1,51 – 274Latérite « rouge »70 – 721 – 21 – 335 - 70Latérite « jaune »50 – 702 – 52 – 1010 - 35Saprolite « terreuse »15 – 2510 – 3035 – 400,8Saprolite « dure »10 – 1530 – 3540 – 450,4 Composition chimique typique des altérites développées sur les péridotites de Nouvelle-Calédonie. Saprolites et latérites ne se sont développées que sur d'anciennes surfaces pénéplanées, plateaux ou terrasses, témoins de phases d'équilibre au cours desquelles la couverture végétale a favorisé l'altération des péridotites par le biais des acides organiques résultant de la décomposition de débris végétaux. L’évolution chimique des saprolites au cours de l’altération L’altération des péridotites se manifeste par un changement de couleur (plus claire, et de plus en plus ocre) et une diminution de la densité apparente, qui correspond à une mise en solution de la magnésie et de la silice tandis que le fer, insoluble, reste sur place. 1 : Sap.Dure2 : Sap.Dure3 : Sap.Dure4 : Sap.Terr.5 : Sap.Terr.SiO241,1640,1336,1733,5731,16Fe2O38,7310,1013,9418,2727,52Al2O30,520,681,041,111,70Cr2O30,280,370,570,781,35MgO36,8433,9430,3928,2121,80NiO3,374,294,344,023,41MnO0,150,170,230,280,40CoO0,030,030,040,060,07FeO2,321,420,560,220,20Fe2O3/MgO0,240,300,460,651,26H2O +8,6810,5513,2213,1312,63Densité apparente2,462,001,571,080,86Evolution de la composition chimique de saprolites résultant de l'altération de harzburgites présentant un degré de serpentinisation moyen. La roche peu altérée (saprolite dure, colonne 1) a une densité apparente relativement forte : 2,46 mais la roche parfaitement saine a une densité voisine de 3. On constate que l'altération des péridotites conduit à des saprolites terreuses dont la densité apparente peut atteindre des valeurs inférieures à 1 sur un matériau sec (jusqu’à 0,86 ici, colonne 5). Fe2O3 correspond au fer total. Dans l’horizon saprolitique, l'altération se traduit par une diminution de la densité apparente, et par une décroissance des teneurs en magnésie et en silice alors que la teneur en fer augmente. En effet, en milieu bien drainé, le fer est transformé en oxy-hydroxyde ferrique insoluble qui va donc s'accumuler dans le sol. Quant au nickel, il a un comportement variable. Des saprolites provenant d’un même chantier et ayant le même rapport Fe2O3/MgO peuvent avoir des teneurs en nickel variant de moins de 1 % à plus de 4 %. Contrairement aux affirmations d’anciens mineurs, la teneur en nickel des saprolites n’est pas appréciable à l’œil nu. Il a été démontré par spectrométrie optique que la couleur des saprolites dépend essentiellement de la nature des minéraux dont elles sont constituées et de leur teneur en fer. L’évolution des minéraux primaires dans l’horizon saprolitique L'olivine est le premier minéral touché par l'altération. La serpentine, moins fragile que l'olivine, subsiste assez longtemps dans les saprolites, contribuant à préserver la structure des péridotites. Toutefois, la serpentine est progressivement détruite elle aussi. Le pyroxène, plus résistant, est également progressivement détruit, seule la chromite subsiste jusque dans les latérites. L’évolution de l’olivine Lors de l'altération supergène, les produits d'altération de l’olivine sont essentiellement des oxy-hydroxytes ferriques, en grande partie amorphes que nous appelons limonite[1] : FeO.OH, nH2O. [1] Limonite : Ne pas confondre ce terme de minéralogie avec le terme anglo-saxon « limonite » qui correspond à ce que les francophones appellent « latérite » Au moment de leur apparition, ces oxy-hydroxydes ferriques sont probablement totalement amorphes et on pourrait alors parler de ferrihydrite comme le préconisait R.A. Kuhnel en 1978, mais rapidement, une organisation cristalline apparaît et, par diffraction de rayons X, c’est une raie large qui est observée et qui caractérise une évolution progressive en goethite. Toutefois, on ne peut pas vraiment parler de goethite tant la cristallinité est médiocre et, compte tenu des propriétés de cet oxy-hydroxyde, il est préférable de parler de limonite.La transformation directe de l'olivine en limonite se passe lorsque le milieu est bien drainé. Dans certains minerais de nickel saprolitiques, les limonites peuvent être riches en nickel, jusqu’à 5 % Ni environ. R.A. Kuhnel pense que la forme de fixation du nickel dans les phases ferrifères amorphes est la chemisorption. Par endroits, de la silice colloïdale subsiste avec la limonite ; cette silice évolue en microcristaux de quartz. En milieu mal drainé, l’altération de l’olivine conduit à la néoformation d’une argile smectique Mg-Fe, une variété de bowlingite. L’évolution de la serpentine primaire La dégradation progressive de la serpentine primaire, au cours de l’altération dans l’horizon saprolitique, a été mise en évidence au moyen d’un micro-analyseur à sonde électronique. Des micro-analyses effectuées sur une serpentine primaire résiduelle encore optiquement homogène et apparemment très peu altérée révèlent un départ de magnésie qui conduit par endroits à une composition globale proche de celle d’une smectite, alors que la diffraction de rayons X ne montre que la présence de serpentine. En fait, la mise en solution de la magnésie laisse sur place de la silice

colloïdale. Cette silice amorphe a d’ailleurs été observée en microscopie électronique et il s’avère qu’elle ne renferme pas de nickel. Progressivement, l’altération s’intensifiant, des smectites néoformées apparaissent, ainsi que de la limonite.

Saprolite issue d'une péridotite modérément serpentinisée. L'olivine a totalement disparu et elle est remplacée par une limonite extrêmement poreuse. La serpentine est encore reconnaissable bien qu'elle présente déjà une pigmentation dénotant l'apparition de limonite.La micro-répartition du nickel dans les saprolites issues de harzburgites partiellement serpentinisées Plusieurs investigations ont été faites sur un minerai saprolitique issu de l’altération de harzburgites en partie serpentinisées (50 à 60 % de serpentine), en particulier au moyen d'un micro analyseur à sonde électronique. Les échantillons, consolidés par une résine ont été étudiés pour les principaux éléments constituants : Ni, Fe, Mg et Si.

Micro-répartition du magnésium : les zones blanches sont riches en magnésium et les zones noires en sont dépourvues. On reconnaît très bien la structure de la péridotite avec en noir, l’emplacement de l’olivine maintenant transformée en limonite (oxy-hydroxydes ferriques dépourvus de magnésium) et, en blanc, la serpentine primaire. Mosaïque de 6 images faisant chacune 300 µm de côté. Micro-répartition du nickel (même prép constate qu'il y a du nickel un peu partout, mais surtout dans la serpentine. En fait, cette image traduit surtout une différence de porosité entre la limonite résultant de l'altération de l'olivine et la serpentine primaire résiduelle. En réalité, la teneur en nickel dans la limonite est aussi importante que la teneur en nickel de la serpentine primaire résiduelle.

Analyses brutesAnalyses corrigées%SerpentineLimoniteSerpentineLimoniteSiO241,35,844,924,6Fe2O37,214,37,860,9MgO28,90,331,51,3NiO5,41,55,96,4H2O+9,11,69,96,8Total91,123,5100100

Microanalyses de serpentine primaire résiduelle et de limonite remplaçant l’olivine.Les micro-analyses brutes réalisées au début des années 70 sur des sections polies de saprolites imprégnées de résine montraient des teneurs en NiO de l'ordre de 5 % dans la serpentine primaire résiduelle et de 1,5 % seulement dans les limonites. Ces données brutes pourraient conduire à des interprétations erronées. En effet, il faut corriger ces analyses car la somme des oxydes et de l'eau de constitution calculée, est de l'ordre de 90 % dans les serpentines alors qu'on boucle seulement à 23 - 24 % dans les limonites. La porosité étant comblée par de la résine, la matière minérale est diluée. Après correction des analyses, les résultats montrent que les teneurs en NiO sont approximativement identiques entre la serpentine et la limonite, de l'ordre de 6 %. Ces deux phases ont donc la même capacité de rétention du nickel. La serpentine primaire résiduelle et sa capacité de fixation du nickelLors de l’altération, il y a une évolution chimique de la serpentine primaire résiduelle se traduisant par un enrichissement en fer et en nickel. Dans la lizardite primaire résiduelle, la teneur en nickel peut fréquemment dépasser 3 % et même avoisiner 5 à 6 %. Il s’avère donc que la lizardite primaire résiduelle est un important minéral porteur du nickel dans les minerais saprolitiques néo-calédoniens. A la fin des années 70, la micro-répartition du nickel au sein même des lamelles de lizardite a été étudiée en microscopie électronique. En faisant plusieurs analyses dans un même cristal de lizardite, il a été montré que le nickel est à peu près uniformément réparti.Compte tenu des teneurs en nickel observées dans les serpentines primaires résiduelles des minerais saprolitiques, la fixation expérimentale du nickel dans la serpentine a été étudiée en 1984. Une solution de sulfate de nickel très diluée circule dans un circuit dans lequel se trouve un échantillon de serpentine saine broyée. L'échantillon est placé dans une enceinte chauffée à 60° pour accélérer un peu le processus de fixation du nickel. Les échantillons de serpentine utilisés ont à l’origine une teneur de 0,3 à 0,4 % Ni. Après un peu plus de deux mois, la teneur en nickel de la serpentine atteint 2 %. La répartition homogène du nickel dans les grains de serpentine, étudiée au moyen du micro-analyseur à sonde électronique, montre que le nickel a diffusé dans les grains et s'est donc substitué au magnésium de la serpentine. Les microanalyses de smectites néoformées lors de l’altération de la serpentine primaire montrent que cette phase argileuse peut également être porteuse de nickel. Toutefois, par rapport aux teneurs observées dans la lizardite primaire résiduelle, les teneurs en nickel des smectites associées sont plus faibles. Les garniérites Cette brèche à éléments de saprol minerais très riches exploités autrefois, à la fin du 19ème siècle (Thio, Camp des Sapins). La garniérite fût découverte en 1864 par l'ingénieur Jules Garnier qui contribua plus tard, en 1880, à la fondation de la SLN avec J. Higginson. Des analyses réalisées en Australie lui permirent de savoir qu'il s'agissait d'un silicate de nickel et de magnésium, hydraté. Jules Garnier publia sa découverte en 1867. Quelques années plus tard, le nom de garniérite fût attribué à ce minéral par le minéralogiste américain J.D. Dana. Toutefois, la nature minéralogique précise de la garniérite ne fût connue que beaucoup plus tard.Dans un premier temps, dans les années 30, c’est la diffraction de rayons X qui permit de faire des identifications partielles ; plus tard, dans les années 70, d'autres techniques plus performantes ont permis de mieux préciser la nature minéralogique de la garniérite ou plutôt des garniérites.Les premiers échantillons de garniérite examinés par diffraction de rayons X ont permis à Simone Caillère (Museum d’Histoire Naturelle de Paris) d'identifier clairement la présence de serpentine nickélifère dans le milieu des années 30. Cette serpentine nickélifère néoformée dans les saprolites ne doit pas être confondue avec les serpentines primaires résiduelles enrichies en

nickel dont nous avons parlé plus haut.Dès la fin des années 60, la diffraction des rayons X, réalisée avec des appareils plus performants que dans les années 30, a conduit à identifier deux types de phyllosilicate dans les garniérites :- des phyllites à 7,3 Å, c'est-à-dire des serpentines,- des phyllites à 10 Å apparentées aux smectites, mais présentant pas la faculté de gonfler avec l’éthylène-glycol.Au début des années 70, lors des investigations financées par la SLN, nous avons pu préciser la minéralogie des garniérites tandis que l'équipe américaine du professeur Georges Brindley menait des recherches sur le même sujet et aboutissait aux mêmes résultats.Grâce aux techniques de la microscopie électronique et de la diffraction d'électrons, devenues performantes dans les années 70, il a été possible de mettre en évidence deux types de phyllites à 10 Å dans les garniérites de Nouvelle-Calédonie, d'une part, une phyllite turbostratique, c'est-à-dire une phyllite dont l’empilement des feuillets est caractéristique des smectites, et d'autre part, une phyllite à empilement régulier apparentée au talc. Ainsi, il a été mis en évidence, dans la plupart des garniérites de Nouvelle-Calédonie, la présence en proportion variable de trois phyllosilicates nickélifères :- une serpentine nickélifère appelée népouite, dont l’équivalent magnésien est la lizardite ;- une smectite nickélifère non gonflante, la pimélite, dont le pôle magnésien est une variété de kérolite ;- un talc nickelifère, la willemseite.D’autres silicates nickélifères peuvent être rencontrés dans les garniérites mais ils sont rarement observés en Nouvelle-Calédonie. Etant donné que les minerais de nickel exploités en Nouvelle-Calédonie à la fin du 19ème siècle étaient essentiellement constitués de garniérite, au sens minéralogique du terme, les mineurs locaux ont continué par la suite à parler de « garniérite » pour désigner d’une façon générale tous les minerais silicatés extraits. Cette pratique se poursuit encore aujourd’hui, avec des minerais saprolitiques pourtant souvent dépourvus de garniérite. Les analyses chimiques de garniérites montrent que ces phases néoformées à partir de solutions du sol chargées de silice, nickel et magnésie sont dépourvues de fer, ce qui les distingue des serpentines primaires résiduelles qui contiennent toujours du fer. La garniérite peut se présenter en remplissage de fractures ou également en imprégnation au sein des saprolites. Les minerais saprolitiques en résumé : Finalement, dans les minerais saprolitiques, les principales phases porteuses du nickel sont la serpentine primaire résiduelle et les limonites néoformées par altération supergène de l’olivine et, un peu moins rapidement, de la serpentine. Dans certains cas, les smectites Mg-Fe néoformées peuvent également renfermer une proportion importante du nickel de certains minerais formés dans des zones hydromorphes. La garniérite, autrefois considérée comme la principale phase minérale nickélifère, est aujourd’hui une phase accessoire dans les minerais saprolitiques ou minerais silicatés, les « minerais garniéritiques » des anciens mineurs. La garniérite peut même être totalement absente dans certains gisements saprolitiques. Les latérites Dans l’horizon latéritique, la partie supérieure, correspondant aux latérites « rouges », remaniées, est généralement très pauvre en nickel, avec des teneurs inférieures à 1 % Ni, souvent de l’ordre de 0,6 à 0,8 % Ni alors que les latérites « jaunes » sous-jacentes, en place, en particulier celles qui sont à la base de l’horizon latéritique, peuvent avoir une teneur en nickel supérieure à 1 % Ni, atteignant parfois localement près de 2 % Ni. Un chercheur allemand, W.Schellmann, a fait de nombreux travaux sur les latérites, principalement dans les années 70 et le début des années 80. Il a montré que la « goethite » des latérites est d'autant plus pauvre en nickel que sa cristallinité est bonne. Cette observation est tout à fait cohérente avec le fait que la cuirasse, constituée de goethite bien cristallisée, est en effet toujours très pauvre en nickel (0.5 % Ni en moyenne), alors que les limonites de l'horizon saprolitique peuvent renfermer jusqu'à 5 % Ni. D’autre part, W. Schellmann a également montré que les latérites sont constituées de deux types de particules ferrifères, les unes étant dépourvues de nickel (probablement des oxy-hydroxydes bien cristallisés) et les autres comportant du nickel (limonites). Il a été évoqué d’autre part la présence de "goethite alumineuse nickélifère" dont la largeur des raies de diffraction X traduirait l'accroissement de la substitution du fer par l'aluminium et une décroissance de la cristallinité pouvant s'accorder avec une plus grande capacité de rétention du nickel. Outre les oxy-hydroxydes ferriques plus ou moins bien cristallisés, il y a aussi dans les latérites d’autres phases, accessoires, les unes étant résiduelles (chromite, silicates primaires ou néoformés dans les saprolites) ou néoformées dans l’horizon latéritique : hématite, maghemite, lépidocrocite, et surtout asbolanes et autres minéraux manganèsifères riches en cobalt (jusqu’à 3 % Co) qui représentent, dans les minerais latéritiques, une valeur notable. Ces minéraux cobaltifères, remarquablement étudiés par S. Llorca dans les années 80, sont principalement des asbolanes mais d’autres phases minérales peuvent être présentes. La concentration du nickel dans les saprolites Si, dans les saprolites formées en milieu drainé, le nickel présentait à la manière du fer un simple enrichissement résiduel, les teneurs en nickel ne seraient guère que de l’ordre de 0,6 à 0,8 %. En effet, les péridotites moyennement serpentinisées, renfermant 0,3 à 0,4 % Ni, ont une densité de l’ordre de 3 alors que les saprolites ont une densité apparente (sur saprolites sèches) de 1,5 environ, ce qui conduirait donc à doubler la teneur en nickel dans les saprolites. Pour comprendre l’origine des concentrations nickélifères observées dans l’horizon saprolitique, en particulier dans sa partie supérieure où les concentrations peuvent dépasser une teneur de 3 % Ni, il faut revenir au profil d’altération et rappeler les éléments suivants :

- la teneur en nickel, faible dans la cuirasse, croît progressivement dans les latérites de haut en bas, pour atteindre approximativement 1,6 à 1,8 % Ni à la base de l’horizon latéritique puis des teneurs plus élevées dans la partie supérieure des saprolites, elle décroît ensuite vers la base des saprolites, jusqu’à la roche mère qui ne renferme que 0,3 % Ni ;
- la cristallinité des oxy-hydroxydes ferriques croît de la base des saprolites vers la surface, les « limonites » des saprolites ayant une forte capacité de rétention du nickel alors que ce métal ne peut pas entrer dans le réseau cristallin de la goethite bien cristallisée ;
- le pH est acide (5,5) dans l’horizon latéritique et faiblement basique dans les saprolites (7,5 à 8). Il s’avère apparemment que, dans le profil d’altération, la cristallisation progressive des « limonites » (oxy-hydroxydes ferriques en partie amorphes, dans les saprolites) en goethite (FeO.OH bien cristallisé) s’accompagne d’une décroissance de la capacité de rétention du nickel. Par conséquent, le nickel

présent dans les latérites, en particulier dans la base des latérites, se trouve progressivement libéré dans les solutions interstitielles du sol, au fur et à mesure de l’évolution cristalline des oxy-hydroxydes ferriques. En raison du pH acide, dû à la décomposition des végétaux morts à la surface du sol, le nickel ainsi expulsé des oxy-hydroxydes ferriques qui cristallisent reste en solution dans la quasi totalité de l’horizon latéritique. A leur arrivée dans l’horizon saprolitique, les solutions du sol sont neutralisées par la magnésie et le nickel est incorporé dans les « limonites » ou dans les serpentines primaires résiduelles, éventuellement dans des smectites néoformées. Si l’apport de nickel se poursuit alors que la saprolite est saturée (au delà de 3 % Ni environ), il se forme alors de la garniérite dans toutes les cavités existantes : fissures, brèches, pores de la saprolite. La garniérite est donc un indicateur de la saturation en nickel de la saprolite.Bien souvent, seule la partie supérieure des saprolites est enrichie en nickel (minerai saprolitique) et la partie inférieure de l’horizon saprolitique peut présenter des teneurs inférieures à 1 % Ni. Sur certains massifs, il a été rencontré des horizons saprolitiques épais de 30 à 40 m dont seuls les 5 à 10 m supérieurs sont fortement enrichis en nickel. Finalement, les interprétations de E. Glasser (1903) et de E. de Chételat (1947) concernant le mode de formation des minerais de nickel de Nouvelle-Calédonie étaient remarquables, pour l’époque, mais il a fallu environ un siècle pour que les connaissances générales en matière de géologie et de minéralogie des sols, ainsi que les outils d’investigation, permettent d’identifier correctement les phases présentes dans les minerais saprolitiques et de connaître la microrépartition du nickel.

Localisations et répartitions successives du nickel au cours de l'altération latéritique des péridotites de Nouvelle-Calédonie. Memoire CERGA, tome XV, Montpellier, thèse 1978. Brindley, G W and Pham Thi Hang, 1973. The nature of garnierites I : structures, chemical compositions and color characteristics. Clays and clay minerals, vol 21, 27-40. Brindley, G W, 1978. The structure and chemistry of hydrous nickel containing silicate and aluminate minerals. Bull BRGM, section II, n°3, pp 233-245, Colloque sur la minéralogie, géochimie, géologie des minéraux et minerais nickéliferes latéritiques, Orléans.Caillere, S, 1936. Composition minéralogique des minerais silicatés de nickel (nouméite et garniérite). CR VIIe congr Intern Mines Métall Géol appl, Sect Géol appl, 1935, 1, pp 197-205.Caillere, S, 1936. Les antigorites nickéliferes de Nouvelle-Calédonie. Bull Soc Fr Minéral, 59 : 286-298.Garnier, J, 1867. Note sur la garniérite. C R Acad Sci Fr, 86 : 684-686. Glasser, E, 1903. Rapport à M le Ministre des colonies sur les richesses de la Nouvelle-Calédonie. Annales des Mines, Fr, 2e série, 4 : 299-392.Glasser, E, 1904. Rapport à M le Ministre des colonies sur les richesses de la Nouvelle-Calédonie. Annales des Mines, Fr, 2e série, 5 : 503-620 and 623-693.Glasser, E, 1907. Note sur une espèce minérale nouvelle : la népouite, silicate hydraté de nickel et de magnésie. Bull Soc Fr Minér, 30 : 17-28.Hanck, 1938. Prospection des gisements de nickel néo-calédoniens. SLN, note interne. Llorca, S. 1993. Metallogeny of supergene cobalt mineralization, New Caledonia. Australian Journal of Earth Sciences. Llorca, S. 1991. Supergene cobalt minerals from New Caledonia. Canadian Mineralogist.Manceau, A, 1984. Localisation du nickel dans les phyllosilicates : application aux minerais de nickel de Nouvelle-Calédonie. Thèse, Paris VII.Maquet, M, 1981. Contribution à la cristallochimie des serpentines Fe-Ni, par spectrométrie V et IR proche : extension aux minerais néo-calédoniens. Thèse, Paris VI.Orloff, O, 1968. Etude géologique et géomorphologique des massifs d'ultrabasites compris entre Houailou et Canala (Nouvelle-Calédonie). Thèse, Montpellier.Pelletier, B, 1972. Etude générale de la localisation du nickel dans les minerais silicatés de Nouvelle-Calédonie (1) : les faciès d'altération de la harzburgite "normale" de Népoui. Minemet Recherche - SLN : rapport interne, 65 p.Pelletier, B, 1974. Etude générale de la localisation du nickel dans les minerais silicatés de Nouvelle-Calédonie (2) : les faciès d'altération de la harzburgite "verte" de Poro, caractérisation minéralogique des garniérites et de certains faciès terreux. Minemet Recherche - SLN : rapport interne, 54 p.Pelletier, B, Lavé, M, 1976. Etude générale de la localisation du nickel dans les minerais silicatés de Nouvelle-Calédonie (1) : les minerais de la Tiebaghi. Minemet Recherche - SLN : rapport interne, 98 p.Pelletier, B, 1983. Localisation du nickel dans les minerais "garniéritiques" de Nouvelle-Caledonie. Colloque Int CNRS : Pétrologie des roches altérées et des sols, Paris, 4-7 july.Pelletier, B, 1996. Serpentines in nickel silicate ore from New Caledonia. Nickel Conference, Kalgoorlie, Western Australia. p. 197-206.Pelletier, B, 1999. La garniérite. Revue Mines n°4, Nouvelle-Calédonie.Pelletier, B, 1999. Histoires de serpents et de serpentines. Revue Mines n°5, Nouvelle-Calédonie.Petit, J C, 1978. Microrepartition du nickel dans les serpentines de Tiebaghi. Minemet Recherche - SLN : rapport interne, 13 p.Prat, J, 1974. Etude des minerais nickéliferes silicatés de Nouvelle-Calédonie : les serpentines des harzburgites "normales" de Népoui et les veinules enrichies en nickel qu'elles contiennent (Etude au moyen de la microscopie électronique). Minemet Recherche - SLN : rapport interne, 40 p.Queneau, P. E. 1971. Cobalt and the nickeliferous limonites.Schellmann, W. 1983. Geochemical principles of lateritic nickel ore formation. Second International Seminar on Lateritisation Processes, Sao Paulo, Brazil, 1982 (in « Lateritisation processes », Edited by A.J.Melfi and A.Carvalho) Schellmann, W. 1978. Behaviour of nickel, cobalt and chromium in ferruginous lateritic nickel ores. Colloque sur la minéralogie, géochimie, géologie des minéraux et minerais nickélifères latéritiques. Orléans. Edition BRGM.Trescases, J J, 1975. L'évolution géochimique supergène des roches ultrabasiques en zone tropicale : formation des gisements nickélifères de Nouvelle-Calédonie. Mémoire ORSTOM n°78, Paris, Thèse, Strasbourg, 1973.Troly, G, Esterle, M, Pelletier, B et Reibell, W, 1979. Nickel deposits in New Caledonia : some factors influencing their formation. Int Laterite Symposium AIME, New Orleans, pp 85-119. Weber, F and Trauth, D, 1977. Etude par des techniques de microscopie électronique de deux échantillons de Tiébaghi. Minemet Recherche - SLN : rapport interne, 12 p.