

2007

Bulletin



N° 51 - 52

Le nickel : presqu'île de Kola et Nouvelle-Calédonie

Nicole Santarelli

Edition WEB

# **Le nickel : presqu'île de Kola et Nouvelle-Calédonie**

**Nicole Santarelli**

(Conférence donnée dans le cadre des A.M.I.S le 21 janvier 2006)

## **Plan de l'exposé**

### **I - Le nickel : un élément très recherché**

Le nickel (Mendeleiev : n°28)

Usages

Les minerais de nickel

Localisation des minerais sulfurés et oxydés

Réserves mondiales de nickel

### **II - Le nickel à Kola : le site de Montchegorsk**

#### **1 - Géologie de Kola**

#### **2 – Traitement des minerais sulfurés**

### **III – Le nickel de Nouvelle-Calédonie**

#### **1 - Géologie de la Nouvelle-Calédonie**

1- Quelques noms de la géologie calédonienne

2- Environnement géologique du Pacifique SW

3- Géologie de Grande-Terre

#### **2 – L'or vert de Nouvelle-Calédonie : les minerais de nickel.**

1- Métamorphisme des péridotites : la serpentinitisation « primaire »

2- Altération supergène = latéritisation

3- Jules Garnier (1839-1904) et la « garniériste »

4- Minerais actuels et minerais potentiels en Nle-Calédonie :

a - Exploitations minières actuelles en Nouvelle-Calédonie

b - Mines, métallurgie et environnement

Mines et environnement

Pourquoi et comment protéger la flore locale?

c - Projets miniers, métallurgiques, et minerais latéritiques

Le projet « DONIAMBO 75 000t » défendu par la SLN,

Le projet KONIAMBO

Le projet GORONICKEL (INCO) et le procédé PAL

### **Remerciements**

### **Bibliographie et sources**

## Le nickel : un élément très recherché

Le nickel, n°28 du tableau de Mendeleïev a été isolé en 1751 par le chimiste suédois Axel Fredrik Cronstedt. Il est abondant dans les météorites, et aussi dans le manteau et le noyau terrestres (5ème rang probable), mais il n'occupe que le 23-24e rang d'abondance dans la croûte. Les minerais sont très localisés dans quelques régions peu nombreuses.

Ses caractéristiques en font un élément recherché :

Le nickel s'oxyde difficilement à l'air car il est protégé en surface par une mince couche d'oxyde. Il résiste bien à la corrosion par l'eau douce même à chaud, et aussi à la corrosion par l'eau de mer, les acides non oxydants, la soude et la potasse, même concentrées et à chaud.

### Usages

Le nickel est utilisé sous forme d'alliages depuis le 3<sup>e</sup> millénaire avant JC (en Chine). L'exploitation industrielle débute au XIX<sup>e</sup>, d'abord en Norvège, puis en Nouvelle-Calédonie, à la suite de la découverte des « minerais verts » par Jules Garnier en 1867.

A la fin du XIX<sup>e</sup>, la découverte du grand gisement de Sudbury fait du Canada le premier producteur mondial. Au début du XX<sup>e</sup>, commence la fabrication des aciers inoxydables et aciers réfractaires qui consomment aujourd'hui presque la moitié du nickel produit.

Le nickel est l'élément d'addition le plus répandu dans les alliages modernes où il est utilisé à toutes les teneurs : faibles, moyennes, élevées. Les plus connus sont le Maillechort (Cu - Ni - Zn), et les cupronickels avec des teneurs de 30% à 10% Ni (+ Fe +Mn), etc...

L'addition de nickel dans les aciers et autres alliages permet d'améliorer les performances de ces matériaux :

- Résistance mécanique (aciers de construction)
- Résistance à la corrosion (aciers inox, cupro-nickels)
- Résistance aux T° élevées (aciers réfractaires).
- Alliages non fragiles aux basses T°.
- Alliages à faible coefficient de dilatation (ferro-nickels).
- Alliages magnétiques pour électro-aimants.

Il est utilisé dans l'électronique, dans la fabrication des pièces de monnaie (France, Nouvelle-Calédonie), massif ou sous forme de plaqué dans l'industrie chimique en présence de soude et pour les chlorations organiques, nickelage électrolytique utilisé pour la décoration et la protection (contre la corrosion) des aciers et autres alliages, en catalyse (pétrochimie)...

Par exemple, dans un Boeing 747, il y a environ 4 t de nickel (turbines réacteurs, cuisines, sanitaires, etc...).

Le nickel présente un intérêt économique et stratégique incontestable. Il est indispensable dans l'industrie aérospatiale, le nucléaire, l'industrie chimique.

## Les minerais de nickel

**Les minerais sulfurés** fournissent à ce jour la plus grande partie de la production mondiale de nickel.

Le principal minéral est la Pentlandite (Fe,Ni)<sub>9</sub>S<sub>8</sub> associée à la Pyrrhotite (FeS parfois nickélique). Ils sont accompagnés par la Pyrite (FeS<sub>2</sub>), et la Chalcopyrite (Cu,Fe)S<sub>2</sub>.

Il est possible de **concentrer** le minerai après extraction, par flottation, ce qui permet de ne traiter

qu'un tonnage relativement modéré du tout-venant.

Dans ces minerais, en plus de Ni, on trouve Cu, Co, Ag, Au, et les platinoïdes.

Les gisements sont associés à des roches magmatiques basiques (gabbros), ou ultrabasiques (picrites, komatiites):

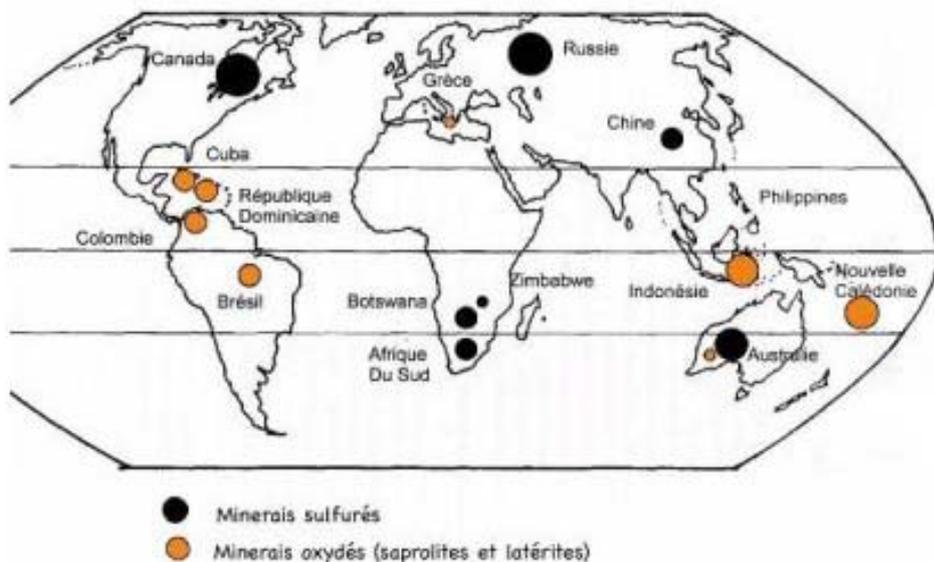
Parmi les plus importants on peut citer :

- les gisements associés au complexe magmatique basique intrusif dans l'Archéen et le Protérozoïque de Sudbury (Canada)
- les gisements associés aux alternances gabbros/péridotites du Bushveld (Afrique du sud), et de Stillwater (Montana USA))
- les gisements associés à des intrusions doléritiques en relation avec d'épais basaltes continentaux permo-triasiques : Norilsk-Talnakh (Sibérie).
- les gisements associés aux komatiites archéennes : Australie W (Kambalda), Canada (Quebec), Zimbabwe.

**Les minerais « oxydés »** sont des horizons enrichis en nickel dans les sols développés sur péridotites, sous climat tropical. Leur exploitation et la mise au point des traitements sont récents (1870). Les matériaux exploités sont des serpentines (silicates), et des latérites (hydroxydes). Ils sont microcristallins et de *faible densité* : Il n'est pas possible de **concentrer** le minerai après extraction : il faut donc traiter un énorme tonnage de tout-venant à faible teneur, mais facile à extraire.

**Un minerai potentiel encore non exploité** : les nodules polymétalliques des grands fonds océaniques.

Le nickel s'y présente sous forme oxydée. Il accompagne des oxydes de manganèse, des composés de cuivre et de cobalt.



**Fig.1** – Localisation des minerais de nickel, presque île de Kola et Nouvelle-Calédonie (D'après Les minerais de nickel de Nouvelle-Calédonie B. Pelletier 2001)

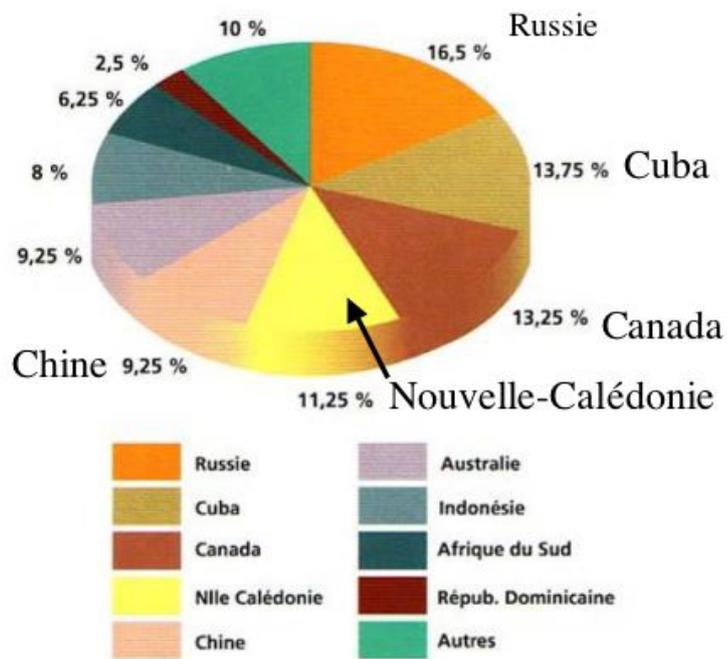


Fig.2 - Réserves mondiales de Nickel.  
 D'après Le Nickel ( J.M. Estournès 2001).

# 1- Le nickel à Kola

## 1 – Géologie de Kola

La presqu'île de Kola, au nord-ouest de la Russie, est constituée par des formations d'âge archéen à protérozoïque, avec intrusions alcalines d'âge Dévonien sup à Carbonifère.inf.

Dans le domaine protérozoïque inf. (2.5 à 1.6 Ga), s'ouvrent 2 zones de rift minéralisées :

- Rift de **Petchenga** : Au nord-ouest de Kola, à la frontière avec Norvège et Finlande.

C'est un fossé d'effondrement d'âge protérozoïque inf.: 1.98 Ga, rempli par des formations volcaniques tholéitiques essentiellement basaltiques, interstratifiées dans des sédiments. Les derniers événements volcaniques sont accompagnés d'intrusions basiques à ultrabasiques.

Les minéralisations en Cu-Ni-Co (disséminées ou massives) sont liées aux péridotites de ces intrusions.

- Rift d'**Imandra** : Au cœur de la presqu'île de Kola, à 600 m d'altitude.

Le rift d'âge protérozoïque inf. d'Imandra est rempli par plus de 10 km de volcanites et méta-sédiments, mais le métamorphisme reste de faible degré (schistes-verts ou amphibolite).

L'intrusion basique de Montchegorsk (55 km<sup>2</sup>) comprend des péridotites (dunites et harzburgites), des pyroxénites, des gabbros, et des diabases. L'intrusion s'est mise en place de 2.5 à 2.45 Ma, c'est à dire en 50 Ma. Elle est minéralisée en Nickel-Cuivre-Cobalt-Platine-Palladium, (Au, Rh, Se, Te, S, As).

La zone filonienne associée au pluton, traverse les ultrabasites. Les filons sont verticaux, de 2.5 m de puissance environ, et les plus longs se suivent sur 100 km de longueur.

Les exploitations anciennes se faisaient par puits de mine verticaux et galeries horizontales. Les teneurs sont les suivantes : Ni : 2 - 6 %, Co : 1.5 %, Cu : 12 %, S : 9 - 20 %, PGE : 7 ‰ en moyenne (max 20-30 g/t).

Les principaux minéraux porteurs de nickel sont la **chalcopyrite** (Cu, Fe) S<sub>2</sub> (Ag, Au), la **pyrite** Fe S<sub>2</sub> (Ni, Co, As, Sb, Au...), la **pyrrhotite** Fe S (Ni, Co), la **pentlandite** (Fe, Ni)<sub>9</sub> S<sub>8</sub>, la **cubanite** Cu Fe S<sub>3</sub>, la **millérite** Ni S (Co, Fe, Cu). Ils sont accompagnés de divers autres sulfures et sulfoarséniures (60 sulfures décrits...).

Les hauts-fourneaux et ateliers d'extraction du nickel et du cuivre se trouvent sur place, à proximité des mines.

Le gisement a été découvert au XIX<sup>e</sup> siècle : c'était alors le plus riche d'URSS à l'époque. Il est maintenant largement dépassé par Norilsk (minéralisation en Cu, Ni, platinoïdes).

## 2 - Traitement des minerais sulfurés

Les méthodes sont complexes et coûteuses : c'est la pyrométallurgie.

- **Séparation** du minerai et de sa gangue, et séparation des différents minerais (Cu et Ni), par des **méthodes mécaniques** : Broyage - flottation - séparation magnétique. On peut donc **enrichir le minerai dès la phase initiale du traitement**, ce qui est un avantage.

- **Grillage**

- **Fusion au four électrique**, à partir d'énergie d'origine hydraulique, thermique, nucléaire : plusieurs centrales au nord de Kola et à Apatity.

Oxydation d'une partie du S et du Fe pour donner une matte sulfureuse à 15 - 20 % de Ni-Cu.

- **Affinage** dans des convertisseurs basiques de type Bessemer (ou convertisseurs à oxygène) pour donner un produit à 75 à 80 % de Ni-Cu.

- **Séparation** de Ni et de Cu par des procédés mécaniques ou chimiques.

- **Affinage final par électrolyse** ou par décomposition du nickel carbonyle (procédé Mond).

**Il est difficile et coûteux d'éviter les rejets de SO<sub>2</sub> au cours du grillage, de la fusion, et de l'affinage : l'environnement s'en ressent.**

## 2 – Le Nickel de Nouvelle-Calédonie

### 1 - Géologie de la Nouvelle-Calédonie

#### • Quelques noms de la géologie calédonienne

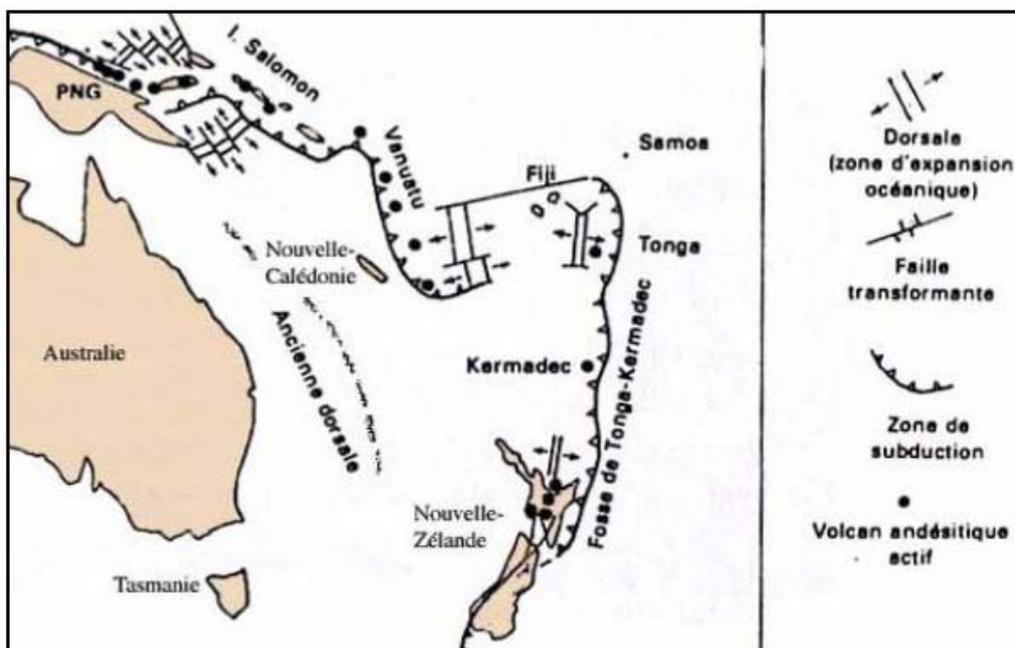
**-Les pionniers :** J. Garnier (1863-66 ), E. Glasser (1900), S. Caillère (1936) (premières études des serpentines nickélifères), A. Lacroix (détermination d'échantillons calédoniens).

**-Les années 50-60 :** Réalisation de la carte géologique et repérage des secteurs miniers : P. Routhier, J. Avias,.

**-Les plus jeunes : 1970 – 2000 :** J.P. Paris (géologie de la Nouvelle-Calédonie), J.J. Trescases (altération supergène des péridotites), A. Manceau (minéralogie des minerais de nickel oxydés), B. Pelletier (géologie du nickel), P. Maurizot et D. Cluzel (géologie), et bien d'autres...

#### • Environnement géologique du Pacifique SW

Australie, Papouasie-Nouvelle-Guinée, Nouvelle-Calédonie, Nouvelle-Zélande, sont des morceaux de Gondwana à la dérive. Ils sont séparés par la mer de Corail, ouverte probablement vers 86-60 Ma.



**Fig.3** – L'environnement géologique du Pacifique sud-ouest : des morceaux de Gondwana à la dérive.

(D'après Les minerais de nickel de Nouvelle-Calédonie B. Pelletier 2001)

La Nouvelle-Calédonie est une île montagneuse (sommets au-dessus de 1600m), de 400 km

de long sur 50 à 80 km de large.

Administrativement, elle est divisée en une province nord et une province sud. Les îles Loyauté (Lifou, Maré, Ouvéa, Tige), constituent la 3<sup>e</sup> province de l'archipel.

• Carte géologique de Nouvelle-Calédonie

1 - La colonne stratigraphique de l'autochtone

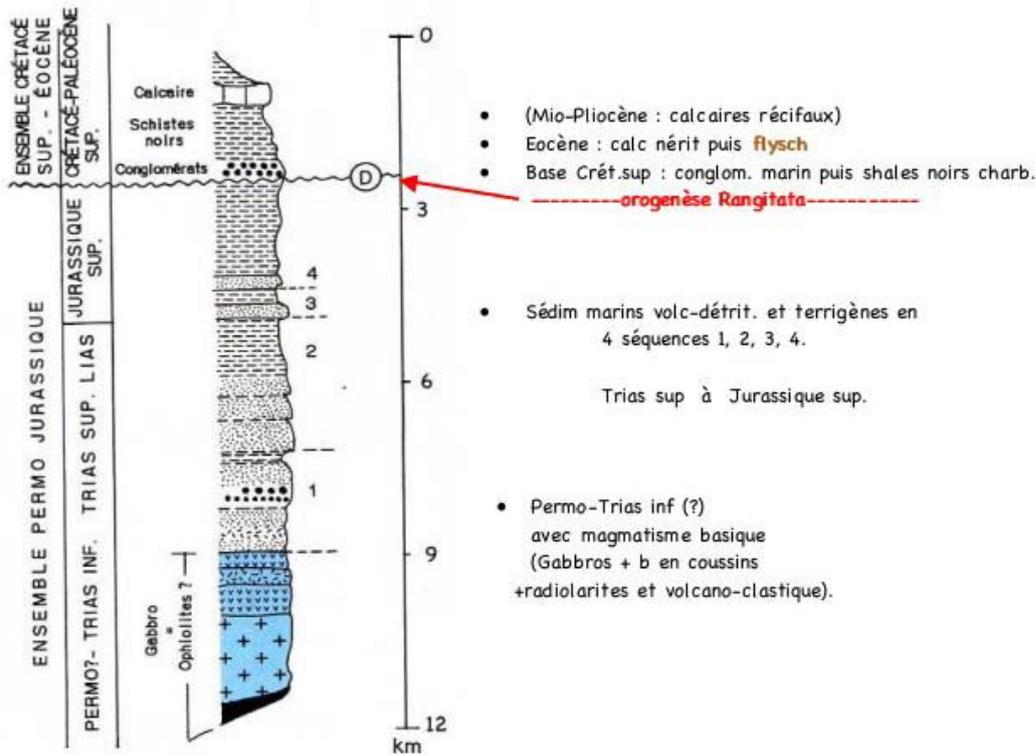


Fig.4 – Log stratigraphique de l'autochtone (nappes non comprises). D'après Géologie et géodynamique de la France (Dercourt 1997)

La série « autochtone » (et parautochtone) semble commencer au Permo-Trias. Elle comprend, à la base, une série ophiolitique (permo-triasique), surmontée par des formations volcano-sédimentaires, alternant avec des sédiments terrigènes en 4 séquences (Trias sup. à Jurassique sup.).

Le Crétacé inf. est absent, et le Crétacé sup repose directement en discordance sur ces séries jurassiques déformées par l'orogénèse Rangitata (décrite en Nouvelle-Zélande).

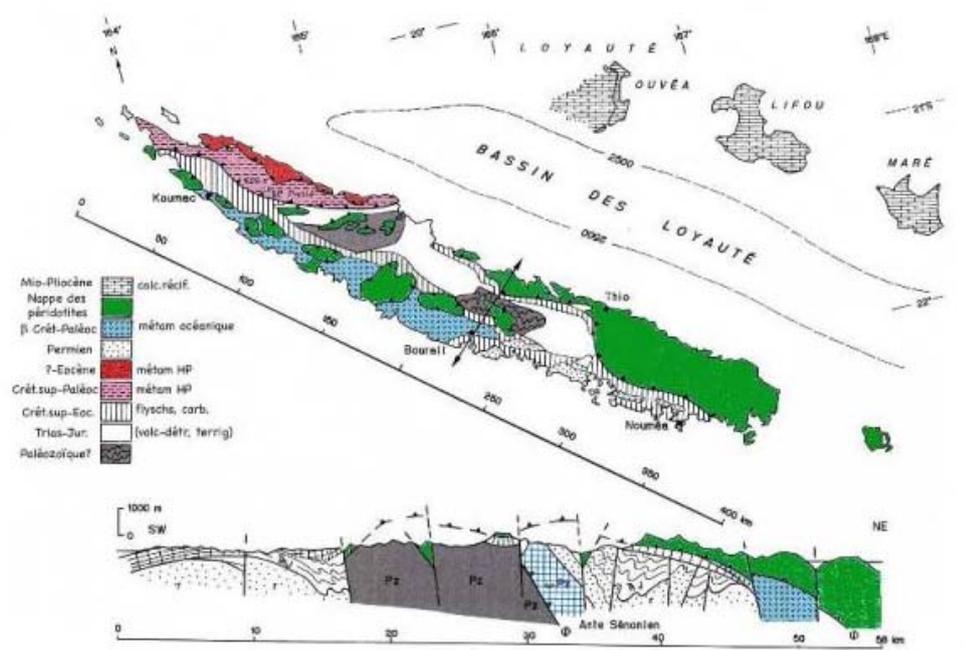
Au-dessus de la discordance, le Crétacé sup commence par des conglomérats marins à la base, puis il passe progressivement à des shales noirs charbonneux.

L'Eocène commence par des calcaires néritiques et se termine par des flyschs.

La **nappe des péridotites** vient chevaucher ces formations. On estime que sa mise en place a eu lieu à l'Eocène sup, vers 40-37 Ma.

Le Mio-Pliocène est représenté sur tout l'archipel par des calcaires récifaux émergés, portés à des altitudes de plusieurs mètres sur Grande-Terre, jusqu'à 100 m sur les îles Loyauté.

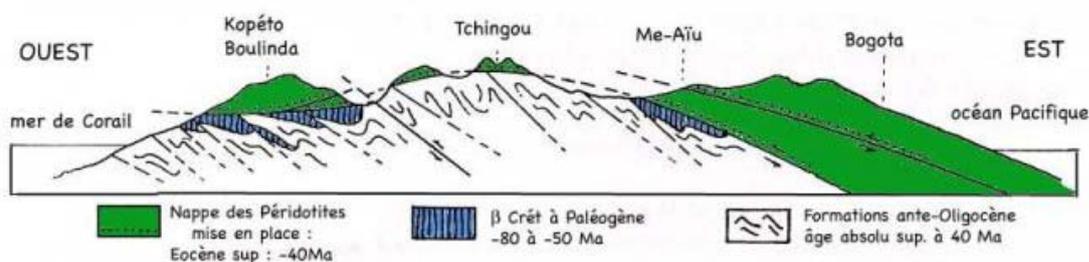
## 2 - La carte géologique



**Fig.4** – Carte et coupe simplifiées de la Nouvelle-Calédonie  
D’après Géologie et géodynamique de la France (Dercourt 1997)

Cette coupe montre bien le chevauchement de la **nappe des péridotites** sur le Crétacé sup et l’Eocène discordants sur les formations plus anciennes, plissées par l’orogénèse Rangitata.

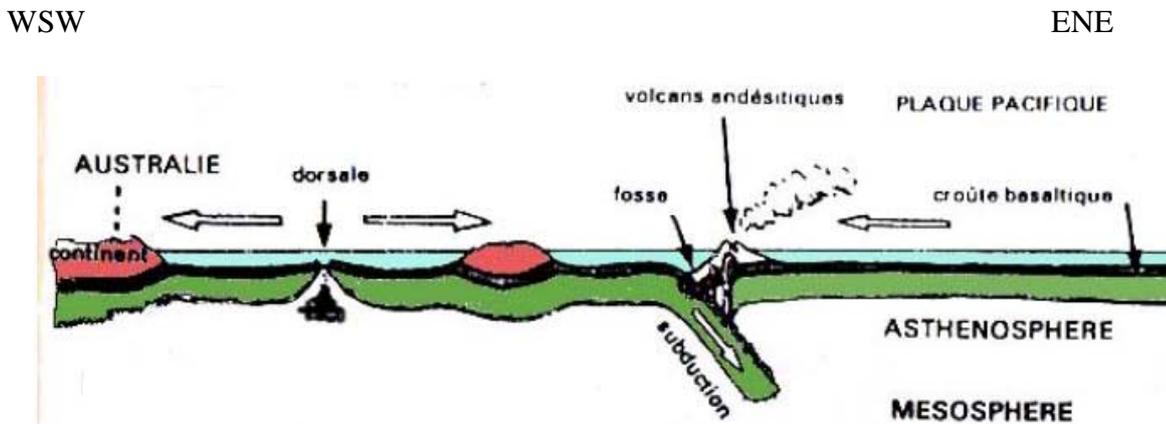
## 3 - Une autre coupe W-E « simplifiée »



Coupe interprétative (d’après B.Pelletier 2001)

**Fig.6** - La nappe des péridotites (constituée de plusieurs unités écaillées) chevauche (vers le sud-ouest) la nappe des basaltes, et les formations sédimentaires datées du Crétacé. sup –Eocène. Elle s’est mise en place il y a 40-37 Ma (Eocène sup.).

#### 4 - Evolution de la chaîne néo-calédonienne

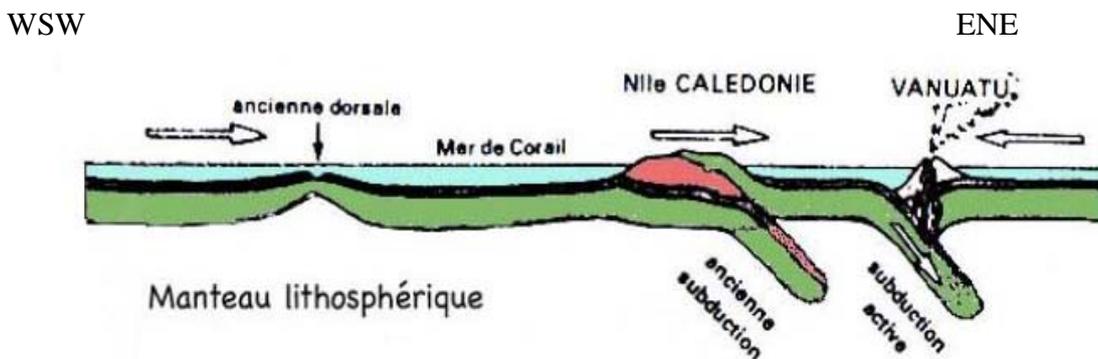


**Fig.7** - Coupe à travers le Pacifique sud-ouest (-50 Ma – Eocène)  
(D'après B.Pelletier 2001)

Du Crétacé sup au début de l'Eocène, une dorsale active dans la mer de Corail éloigne la Nouvelle-Calédonie de l'Australie dont elle s'est détachée.

Plus à l'est, une zone de subduction fonctionne et alimente en produits volcano-sédimentaires les fonds sous-marins voisins.

La poursuite de la convergence va entraîner, à l'Eocène sup, l'obduction de la lithosphère océanique sur la Nouvelle-Calédonie (nappe des Péridotites).



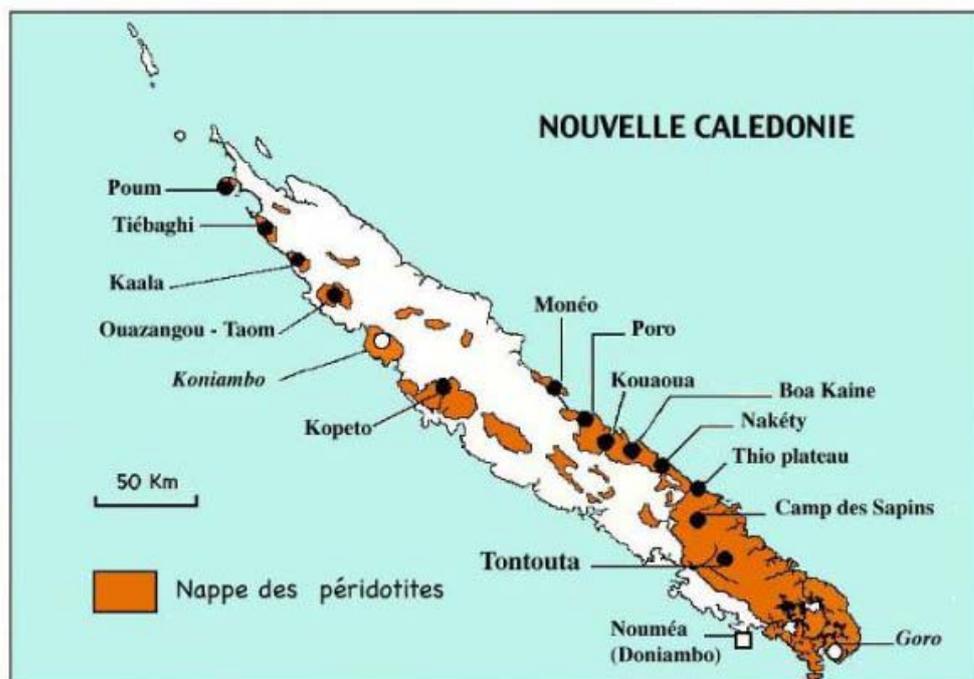
**Fig.8** - Coupe à travers le Pacifique sud-ouest (état actuel)  
(D'après B.Pelletier 2001)

La dorsale ne fonctionne plus, c'est un haut-fond.

Après obduction de la nappe des Péridotites sur la Nouvelle-Calédonie, la subduction s'est bloquée, la lithosphère continentale de Nouvelle-Calédonie « refusant » de plonger dans le manteau.

La convergence se poursuivant, une nouvelle zone de subduction apparaît et fonctionne plus à l'est : c'est celle du Vanuatu (ex-Nouvelles-Hébrides), avec quelques volcans actifs (Yasur à Tanna, Ambrym...).

## 5 - La nappe des péridotites et les exploitations de nickel.



**Fig.9** - Situation des exploitations de nickel (D'après B. Pelletier 2001)

Les exploitations de Nickel sont toutes installées dans les altérites de la nappe des Péridotites qui couvre environ 1/3 de Grande-Terre. Ces péridotites sont en majorité des harzburgites (Ol+Opx+Sp), accompagnées de rares dunites.

## 2 – L'or vert de Nouvelle-Calédonie : les minerais de nickel.

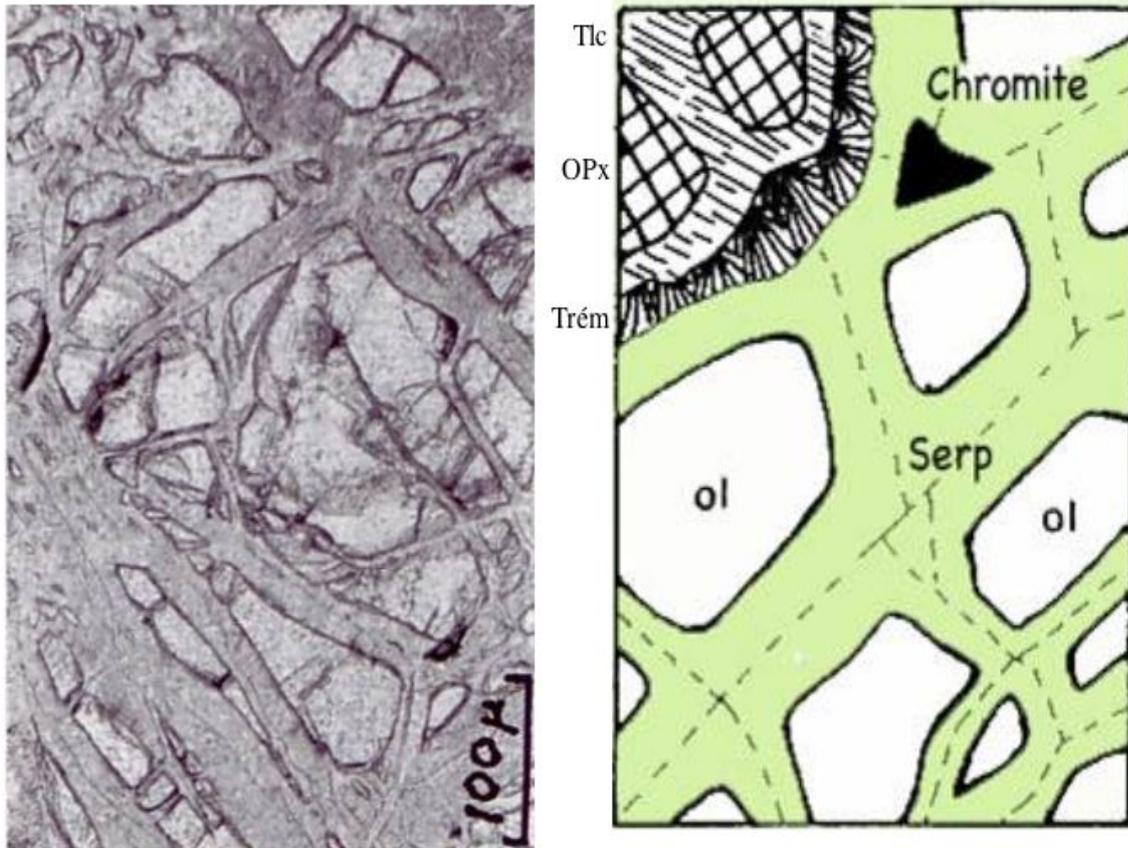
Les minerais « oxydés » (garniérites, saprolites et latérites) sont liés à l'évolution des altérations dans la nappe des péridotites.

Par « altérations », on entend 2 grands ensembles de processus : la serpentinitisation « primaire », et l'altération supergène (latéritisation).

### 1- Métamorphisme des péridotites : la serpentinitisation « primaire »

Elle intervient **avant** l'altération supergène, au cours de 2 épisodes successifs :

- serpentinitisation par métamorphisme hydrothermal océanique (avant obduction)
- serpentinitisation liée à la tectonique d'obduction (- 40 Ma) et de mise en place de la nappe : elle intervient dans la semelle des nappes et au niveau des cisaillements internes qui recourent la nappe.

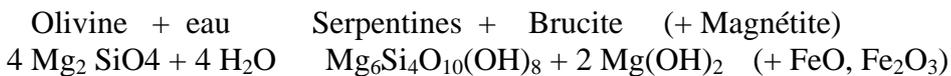


**Fig.10** - Serpentinisation de la péridotite avant altération supergène. (d'après B.Pelletier 2001). La serpentine progresse le long des joints de grains dans les olivines. Talc et trémolite apparaissent aux dépens des orthopyroxènes.

Qu'appelle t-on serpentines ? :

Ce sont des silicates ferro-magnésiens hydratés qui cristallisent en très fins cristaux dont la structure a longtemps été mal connue, jusqu'à l'avènement des techniques modernes (microscopie électronique).

La serpentinisation est un processus de **Basse T°** (< 400°C : faciès schistes verts) lié à l'**hydratation** des roches et minéraux silicatés riches en Mg.



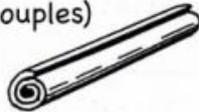
Dans les cristaux de serpentines à feuillets plans (lizardites), 2 cations (Si et Mg) sont susceptibles d'être partiellement remplacés par substitution :

Mg peut être remplacé par  $\text{Fe}^{2+}$  - Ni - Co

Si peut être remplacé par Al -  $\text{Fe}^{3+}$

Ces serpentines sont donc des minerais potentiels de Ni et Co.

C'est pourquoi les serpentines sont importantes pour le géologue minier de Nouvelle-Calédonie : Elles contrôlent l'altération des massifs de péridotites, et elles peuvent piéger le nickel et le cobalt dans leur structure cristalline.

	LIZARDITE	CHRYSTILE
Formule de base	Mg <sub>6</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub> ± Al, Ni, Fe	Mg <sub>6</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub> ± Fe
Forme des cristaux	Feuillets plans 	feuillets enroulés (fibres souples) 

- **Lizardite** et **chrysotile** sont les minéraux des serpentines les plus fréquents dans les roches de la nappe des péridotites avant altération supergène.
- Si-Mg sans substitution : **chrysotile** (feuillelet s'enroule).  
Si-Mg avec substitutions (± Al-Ni-Fe) : feuillelet reste plan : **Lizardite**

**Fig.11** - Principaux minéraux constituant les serpentines dans la nappe des péridotites en Nouvelle-Calédonie. D'après B.Pelletier (2001)

### • Harzburgite

- SiO<sub>2</sub> = 45%
- MgO = 44.5%
- FeO = 7.2%
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0.5%
- NiO = 0.35%
- H<sub>2</sub>O = 0%

- MgO/SiO<sub>2</sub> proche de 1

### • Serpentine

- SiO<sub>2</sub> = 40%
- MgO = 39%
- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 6.5%
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0.2%
- NiO = 0.3 - 0.4%
- H<sub>2</sub>O = 13%

- MgO/SiO<sub>2</sub> proche de 1

Comparaison des compositions chimiques globales avant et après serpentinitisation D'après B.Pelletier (2001)

La seule différence importante est la teneur en eau. Par ailleurs, les pourcentages relatifs des divers éléments sont comparables dans les serpentines et les harzburgites.

## 2- Altération supergène = latéritisation

La latéritisation est un processus pédogénétique qui peut s'exercer sur des substrats variés, en climat tropical. A partir des substrats alumineux (argiles, granitoïdes, schistes, basaltes...) ce processus peut aboutir aux bauxites.

Affectant la nappe des péridotites (très pauvre en Al), la latéritisation donne des produits encore silicatés (saproilités) et des produits oxydés (latérites), qui constituent les deux types de minerais de nickel et de cobalt de Nouvelle-Calédonie.

L'altération supergène intervient **après** l'obduction de la lithosphère océanique (nappe des péridotites).

Elle s'exerce :

- sur les péridotites partiellement serpentinisées
- sur les serpentines « primaires »
- rarement sur les péridotites fraîches.



## Profil d'altération latéritique

- La cuirasse ferrugineuse est le stade ultime de l'altération des péridotites.
- Le profil peut atteindre une centaine de m d'épaisseur.

Profil schématique d'altération latéritique sur péridotites  
D'après Le Nickel ( J.M. Estournès 2001).

De la base au sommet du profil, on observe :

- **Les péridotites « fraîches »** = Roche mère :

Elles sont toujours plus ou moins serpentinisées.

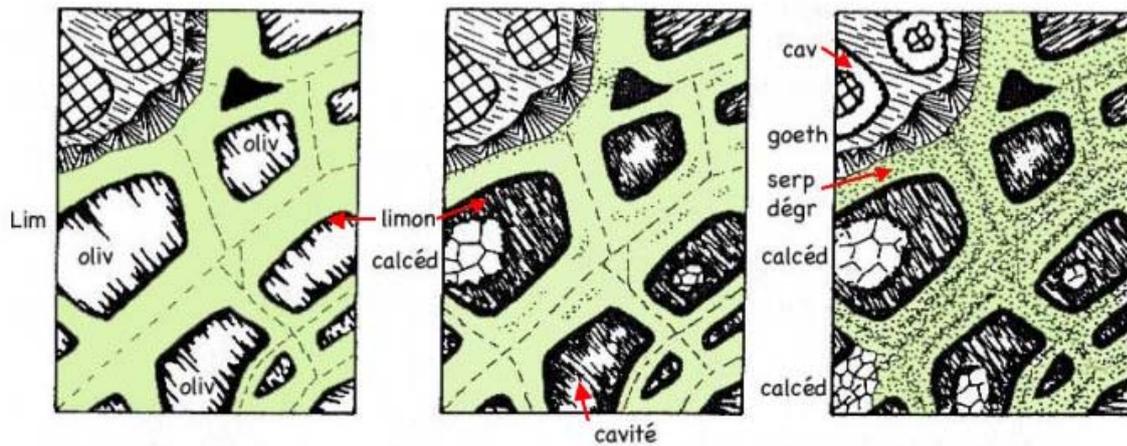
- **Les saprolites :**

Elles correspondent à l'horizon C d'un sol : roches partiellement décomposées par pédogenèse (action de l'eau + acides humiques + acides fulviques).

-Les silicates sont encore présents (serpentes, amphiboles...).

-L'altération supergène se traduit par l'augmentation de la porosité, sans changement de volume : Les structures de la roche-mère sont conservées.

-Le nickel des saprolites est contenu dans les serpentines primaires (lizardite nickélicifère) enrichies *per descensum* à partir des horizons supérieurs du profil d'altération. Mais on y trouve aussi des **silicates nickelifères néoformés** : ce sont les «**garniérites**» (comprenant des serpentines d'origine supergène), minerais riches d'autrefois, aujourd'hui épuisés.



**Fig.13** - Passage des harzburgites serpentinisées (à gauche) aux saprolites (à droite) : Processus supergènes et cristallisation de garniérites. D'après B.Pelletier (2001)

Les « limonites » (oxy-hydroxydes ferriques amorphes) envahissent l'olivine le long des cassures et la remplacent. Des cavités apparaissent. L'olivine disparaît progressivement.

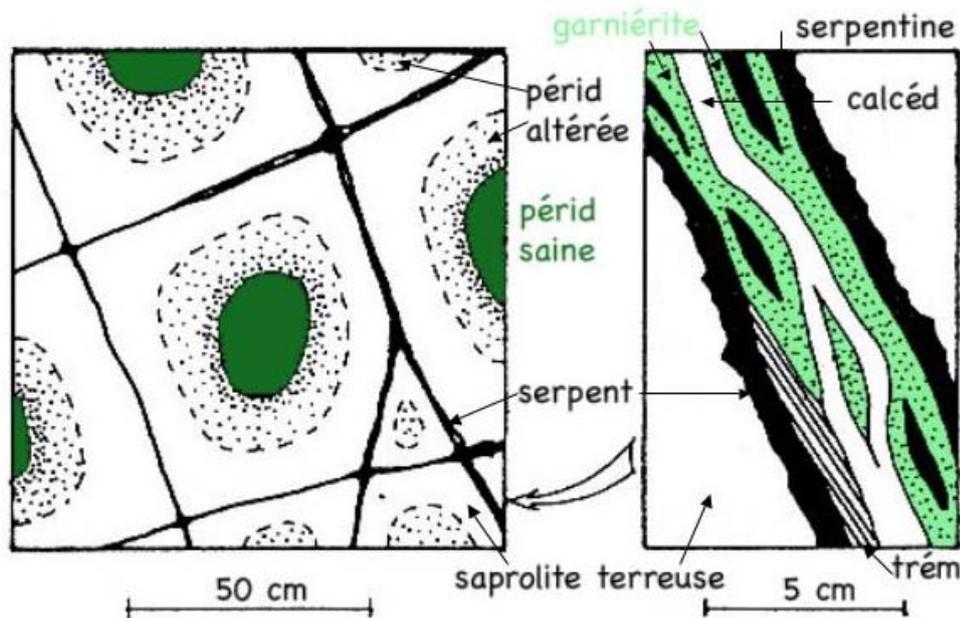
La serpentine est dégradée à son tour en limonite.

La **chromite** est le seul minéral primaire de la péridotite à subsister jusque dans les latérites.

A partir de la limonite, de la goéthite cristallise.

La silice libérée cristallise sous forme de calcédoine dans les cavités et les fissures.

La « **garniérite** » accompagne la calcédoine dans ces fissures et cavités.



**Fig.14** - Altération supergène des péridotites serpentinisées, et fentes minéralisées en garniérite (D'après B.Pelletier 2001).

Dans les fentes, on observe serpentine et trémolite, liées à la serpentinitisation « primaire », et des minéraux supergènes plus jeunes : garniérite et calcédoine.

#### • Les latérites :

Elles correspondent à l'horizon B d'un sol : c'est un horizon plus évolué, lessivé, plutôt meuble.

-Les silicates sont entièrement hydrolysés.

-Les minéraux présents sont des oxy-hydroxydes ferriques : goethite, hématite et «limonites».

-Les structures de la roche-mère et les volumes ne sont pas conservés.

De bas en haut, on trouve les latérites rouges, relativement «autochtones», qui ont conservé certaines structures primaires (fissures de la roche-mère), puis les latérites jaunes qui sont généralement très remaniées. On y observe des figures sédimentaires variées : stratifications obliques et entrecroisées, petites discordances, successions de niveaux à racines qui se recourent, etc...

#### • La cuirasse

Au sommet du profil d'altération, la cristallisation de la limonite en goethite donnant la **cuirasse** sommitale, libère le Ni (il ne rentre pas dans le réseau de la goethite) qui va enrichir les latérites et les serpentines des saprolites sous-jacentes, *per descensum*.

### 3- Jules Garnier (1839-1904) et la garniériste

Diplômé de l'école des Mines, Jules Garnier est envoyé en mission de prospection en Nouvelle-Calédonie pour le ministère de la marine et des colonies du 11/12-1863 au 4/8-1866.

Le 24 sept 1864, il découvre un matériau vert à la surface d'une roche dans le lit de la Dumbéa : il écrit «nickel?» dans ses notes de terrain.

Des échantillons sont expédiés au MNHN à Paris, à Sydney et aux USA. La confirmation est unanime : il s'agit bien d'un composé de nickel.

Clarke en 1874 (ou Dana 1872?) nomme le « minéral » **Garniériste**. Sa structure ne sera connue qu'un siècle plus tard.

La « garniériste » est en général un **mélange** fin (observable au microscope électronique) d'argiles (smectites) nickélifères, de talc nickélifère, et de serpentines nickélifères. Elle contient jusqu'à 40% de Ni mais pas de Fe. Elle présente une très jolie couleur verte.

Les garniéristes se forment par altération supergène

Elles remplissent des fissures, des poches, et tapissent les diaclases des péridotites altérées (saprolites).

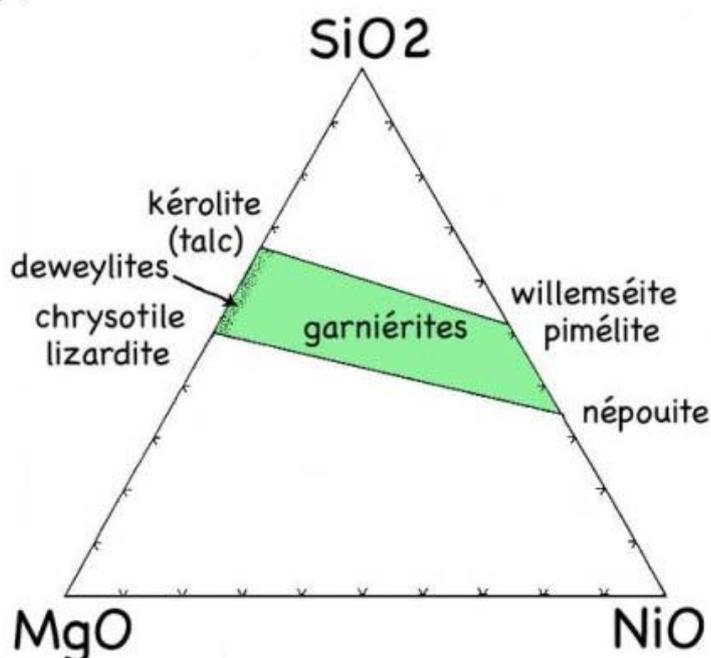


Fig.15 - Composition des serpentines nickélifères : garniéristes (D'après B.Pelletier 2001)

Les garniéristes représentent les solutions solides entre les serpentines nickélifères (népouites –

willemséite - pimélite), et leurs équivalents magnésiens (kérolite – deweylite – chrysotile – lizardite).

C'est le premier minerai exploité en Nouvelle-Calédonie (teneurs 5% en moyenne).

La première exploitation démarre en 1873, au Mont-Dore (avec des teneurs importantes : jusqu'à 14% Ni) : c'est le début de la ruée vers l'or vert calédonien.

En 1880 naît la SLN, 1er producteur mondial jusqu'en 1910.

#### 4- Les minerais actuels et potentiels en Nouvelle-Calédonie :

-Minerais **garniéritiques** : silicates. Ils sont riches (8% Ni en moyenne) mais épuisés

-Minerais **saprolitiques** : silicates. Plus pauvres (2 à 5% Ni) et en quantités limitées

-Minerais **latéritiques** : oxydes. Teneurs <2% Ni, mais présence de 0.15% Co) et disponibles en quantités énormes.

Teneurs %	Minerais saprolitiques	Minerais latéritiques
Ni	1 - 5 %	0.8 - 2 %
Co	0.05 - 0.08 %	<b>0.10 - 0.25 %</b>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10 - 30 %	50 -75 %
MgO	25 - 38 %	0.5 - 5 %
SiO <sub>2</sub>	40 -55 %	1.5 - 6 %
Situation	Partie sup de l'horizon saprolitique. Rarement tout l'horizon.	Partie inf. de l'horizon latéritique, avec les minéralisations cobaltifères.

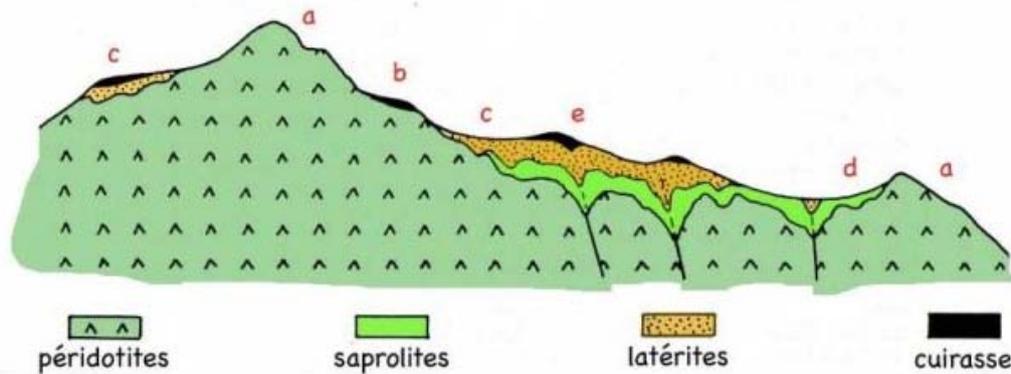
Tableau : Comparaison des minerais saprolitiques et latéritiques : (D'après B.Pelletier 2001)

#### - Exploitations minières actuelles en Nouvelle-Calédonie : Minerai saprolitique.

Les premières «mines» ont exploité un minerai garniéritique riche et facile à repérer dans les gisements grâce à sa couleur verte. Les ressources en garniélite sont maintenant épuisées, et les exploitations plus récentes ont recherché les minerais saprolitiques, dont le traitement est comparable.

##### • Travaux d'exploration

Ils nécessitent le repérage de profils d'altération à la base desquels la saprolite soit conservée sous une épaisseur minimale de latérites (représentant les stériles d'aujourd'hui, en attendant de devenir le minerai du futur), qu'il faut dégager et stocker.



**Fig.16** - Différents types de profils d'altération possibles sur un massif de péridotites. D'après B.Pelletier (2001)

La présence des saprolites « fertiles » dans le profil n'est jamais garantie avant d'avoir réalisé les investigations pétrologiques et géochimiques.

Après érosion, et remaniements naturels, la succession des niveaux d'un profil d'altération, et leur épaisseur sont modifiées. La présence d'une épaisse couche de saprolites enrichie en nickel n'est jamais garantie.

Il est impossible, même pour un géologue minier averti, d'évaluer simplement les ressources d'un site : cela nécessite toujours de faire de nombreux forages, dans la phase d'exploration, et aussi pendant l'exploitation, afin de cerner les zones productives, et les zones trop pauvres.

- Décapage des latérites et mise en décharges contrôlées. Le « déménagement » de latérites trop épaisse se révèle coûteux, et la mise en décharges non étanches est un danger permanent pour le lagon, toujours proche des exploitations dans cette île très étroite. L'envasement progressif par les argiles et autres particules fines issues des latérites détruit la faune et la flore de ce milieu très riche en espèces, mais très fragile. Quel que soit le mode d'exploitation, les espèces rares (nombreuses endémiques) de la forêt et des maquis primaires installés sur les péridotites et les serpentinites, sont aussi en danger d'extinction.

- Tri primaire des saprolites : Séparation des gros blocs de péridotites stériles et du minerai «tout venant» constitué par les altérites en blocs plus petits et graviers.

- Criblage du «tout venant» : Le minerai trié mécaniquement est constitué par les fractions fines. Les roches non altérées et plus compactes (à priori moins enrichies en Ni) sont rejetées.

- Transport du minerai trié.

Les gisements ne sont jamais loin de la côte. Le transport vers le port minéralier se fait en général par tapis-roulant ou par camions. Le minerai est stocké, puis chargé sur les minéraliers. Ces bateaux ont des capacités de 15 000 à 40 000 tonnes.

- Traitement du minerai : Pyrométallurgie des minerais saprolitiques

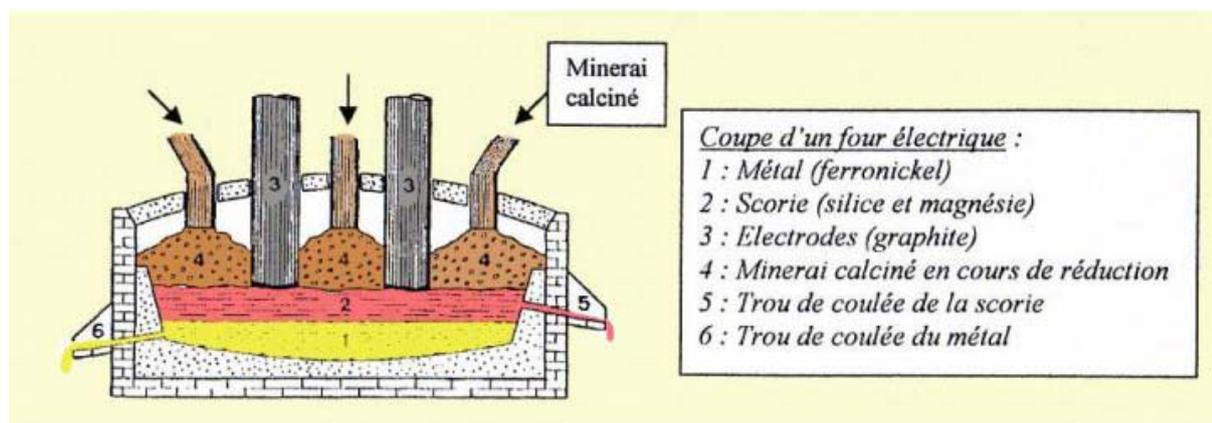
Les minerais néo-calédoniens sont traités à l'usine de Doniambo (Nouméa), ou au Japon.

Débarqué du minéralier, le minerai est réparti en tas homogénéisés par mélange des produits des différentes mines.

Le traitement ressemble un peu au traitement des minerais sulfurés (c'est encore de la pyrométallurgie), mais sans les rejets de SO<sub>2</sub> puisque le minerai est quasiment dépourvu de soufre. Elimination de l'eau par calcination dans des fours rotatifs.

Fusion électrique du minerai en milieu réducteur (le minerai est mélangé à gypse, calcaire, et coke) : Ni et Fe métalliques se séparent de la scorie riche en Si et Mg.

Le ferronickel brut est ensuite désulfuré et affiné dans des convertisseurs. On obtient alors des lingots ou de la grenaille de ferronickel à 22 – 30 % de nickel.



**Fig.17** - Fusion électrique du minerai. (D'après B.Pelletier 2001)

A Doniambo, la SLN utilise 3 fours électriques de 33m x 13m x 5.5m. Ils fonctionnent en continu, 24h par jour, 365 jours par an...

L'usine de Doniambo produisait en 1994 52 000 tonnes par an de nickel sous forme de ferronickel et de matte.

#### - Mines, métallurgie et environnement

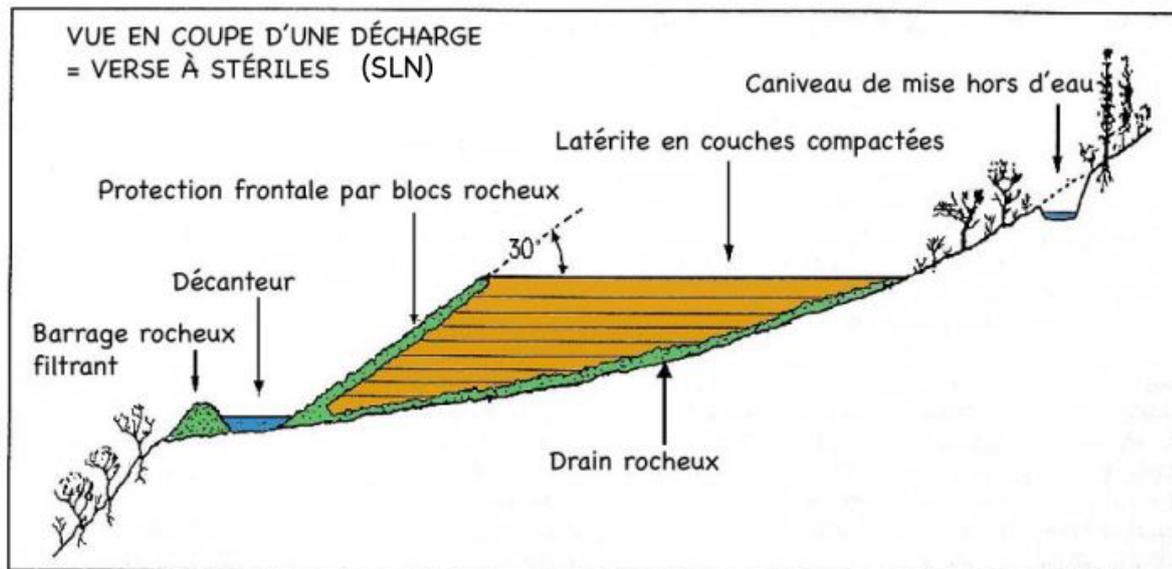
Quel avenir pour la végétation naturelle (forêt et maquis minier) après 125 ans d'exploitation ?

Les exploitations anciennes et récentes ont laissé des traces bien visibles dans le paysage calédonien. Les dégâts concernent principalement la flore de l'île, et aussi les fragiles écosystèmes du lagon voisin. Mais une prise de conscience des exploitants, entre autre la SLN (Société Le Nickel), et des autorités, a permis d'améliorer les méthodes d'exploitation.

La SLN essaie de limiter les chantiers d'exploration en utilisant des foreuses légères aéroportées pour éviter la construction de pistes forestières dévastatrices.

Elle essaie aussi de limiter le départ de particules fines (argiles et poussières de latérites - saprolites) vers le réseau hydrographique et le lagon très vulnérable. Pour cela, l'exploitant conserve un merlon de terrain solide qui limite les écoulements et les ravinements pendant la saison humide, ce qui protège les versants en contre-bas, et surtout le lagon voisin.

Pour les mêmes raisons, et de la même façon, la SLN essaie de stabiliser les stériles miniers (latérites déplacées) stockés près des mines, et qui représentent des centaines de millions de tonnes...



**Fig.18** - Stabiliser les stériles miniers stockés près des mines (centaines de millions de tonnes) : de nouvelles dispositions sont prises à la SLN pour éviter la pollution des cours d'eau, et donc du lagon, par les fines particules d'argiles et hydroxydes de fer lors du stockage des stériles. D'après B.Pelletier (2001)

L'impact des mines sur la flore terrestre néo-calédonienne est loin d'être négligeable : d'énormes surfaces ont été déboisées, entraînant la destruction potentielle des endémiques locales, et favorisant le ravinement des versants souvent très raides, par les pluies torrentielles de la saison humide. De nombreuses endémiques de l'île sont en voie de disparition.

### **Pourquoi protéger la flore locale?**

La flore de la Nouvelle-Calédonie est une flore originale :

- C'est une flore très riche et à affinités gondwaniennes. On y retrouve une grande partie des familles qui peuplent Amérique du sud, Afrique, Australie.
- Mais c'est aussi une flore devenue insulaire depuis 60 à 80 Ma, sans grand changement climatique : l'évolution « en vase clos » a donné une grande proportion d'endémiques.
- Cette flore de forêts de montagne et maquis minier, se développe sur des roches ultrabasiques dont la composition chimique (riches en Mg, pauvres en alcalins et Ca) crée des conditions très restrictives. Sur les 2200 espèces de ces milieux, on compte 80 % d'endémiques. C'est une flore extrêmement originale, et unique au monde, qui mérite d'être protégée.

### **Comment protéger cette flore ?**

Une stratégie a été choisie par la SLN, en association avec l'antenne locale de l'IRD : d'une part, ainsi que nous venons de le voir, des efforts sont entrepris pour diminuer l'impact des engins de chantiers sur les forêts locales et associations végétales encore en état.

D'autre part, on a commencé à réaliser des tentatives de revégétalisation des sites après exploitation, pour aider la survie de la flore locale.

Pour cela, il faut repérer les espèces pionnières locales (Cypéracées, Casuarina, Acacia, Grevillea...) susceptibles de repeupler les friches minières après exploitation. Des essais de culture de ces espèces sont ensuite effectués en pépinières subventionnées.

De 1993 à 2002, à titre expérimental, plus de 370 000 plans ont été mis en terre, par semis hydraulique après paillage du substrat.

Il faudra bien sûr attendre encore quelques années pour juger de la réelle efficacité de ces méthodes, mais on peut se réjouir de la prise de conscience du problème.

## - Projets miniers et métallurgiques en Nouvelle-Calédonie

La demande mondiale de nickel et de cobalt augmente, et la Nouvelle-Calédonie veut donc augmenter sa production.

Plusieurs projets récents ont vu le jour, dans des optiques bien différentes.

Le projet « DONIAMBO 75 000t » défendu par la SLN, se propose d'augmenter la capacité de traitement de l'usine SLN de Dionambo, en modifiant les dimensions et le fonctionnement des fours électriques de l'usine.

Parallèlement, il est question de construire à Thiébaghi une usine de concentration du minerai.

Le projet KONIAMBO (pour lequel s'associent Falconbridge et SMSP), prévoit la construction à Voh-Koné, d'une usine pyrométallurgique pour traiter les saprolites de Koniambo, avec une production de 60 000 t de nickel par an.

Le projet GORONICKEL répond à la constatation que le minerai saprolitique est en voie d'épuisement sur toute l'île : les réserves peuvent encore durer une trentaine d'années au maximum. Les travaux récents montrent que le minerai de l'avenir proche sera la latérite.

Le projet GORONICKEL se propose d'exploiter les latérites du « grand sud » calédonien (région de Goro-Yaté-Prony) dans un projet minier nouveau, associé à un projet métallurgique nouveau aussi.

Les teneurs en nickel dans les latérites sont modestes (0.8 à 2 %), mais ces formations contiennent toujours un peu de cobalt (0.10 à 0.25 %), et les tonnages disponibles sont énormes. Les minéraux porteurs du nickel et du cobalt dans les latérites sont des oxydes. Le traitement du minerai latéritique (« minerai oxydé ») sera donc très différent du traitement pyrométallurgique qui convient aux sulfures et aux silicates. Ce sont les procédés « hydrométallurgiques » qui semblent être les plus efficaces. Ils se déclinent en 2 versions différentes : Procédé ammoniacal et procédé acide.

Le projet GORONICKEL prévoit d'utiliser le procédé acide PAL pour le traitement des minerais latéritiques. Le procédé acide PAL (Pressure acid leaching) est une lixiviation acide sous pression et nécessite des autoclaves en acier recouvert de titane.

Les opérations du procédé PAL sont les suivantes :

- dissolution du minerai dans l'acide sulfurique chaud (240 -270°C), et sous pression (35 à 55 bars).

La totalité de Co et Ni (oxydes et silicates) passe en solution.

- neutralisation partielle de la solution :

On ajoute  $\text{CaCO}_3$  pour ramener le pH à 4

On ajoute  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  qui fait monter le pH jusqu'à 5

On fait baisser la température ce qui fait précipiter le fer sous la forme de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , ainsi que l'alumine sous la forme  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .

Ni et Co, encore en solution, sont séparés et précipités sous les formes  $\text{NiO}$  et  $\text{CoCO}_3$ .

Pour le moment, ce traitement fonctionne à titre expérimental depuis quelques années, dans une usine à échelle réduite installée sur le site.

Le projet commercial GORONICKEL définitif comprendra :

- Une exploitation de latérite en découverte et les installations pour la préparation du minerai (mise en pulpe).

- Une usine de traitement hydrométallurgique à 3 autoclaves

-Une usine pour la préparation du calcaire et de la chaux (les gisements de calcaire naturel exploitables les plus proches sont en Australie, si les coraux du lagon et les calcaires récifaux des îles Loyauté restent protégés).

-Une usine de production d'acide sulfurique

-Un port industriel

-Une centrale électrique au charbon.

-Une base de vie : les ouvriers alterneront 4 jours de travail logés et nourris sur place, avec 4 jours de vacances.

La production envisagée pour le site de Goronickel s'élève à 54 000 tonnes de nickel et 5 400 tonnes de cobalt par an.

Ces nouveaux procédés métallurgiques utilisant la voie humide consomment beaucoup d'eau qui n'est pas entièrement recyclée, mais rejetée au lagon régulièrement. Ils représentent un danger potentiel pour l'environnement de la Réserve du Lagon sud classée patrimoine mondial par l'Unesco...



**Fig.19** - Situation géographique du site de Goronickel

Je tiens à remercier particulièrement nos collègues de l'université d'Apatity (Kola), la société Le Nickel à Nouméa, B. PELLETIER Géologue à la SLN, et S.SELLA Ingénieur-chimiste à la SLN

### **Bibliographie et sources**

- B. Pelletier (2001) Les minerais de nickel de Nouvelle-Calédonie .SLN-Le Nickel.
- B. Pelletier (2001) L'industrie minière et l'environnement. SLN-Le Nickel
- Dercourt (1997) Géologie et géodynamique de la France Dunod
- A.Djémai. Livret-guide de l'excursion à Kola (ABC-Mines 2003)
- Encyclopedia universalis.
- Revue de l'UFG : Géologues. n°138 sept 2003 Spécial DOM-TOM Océan Pacifique

- Michel Picard (1999) L'Archipel néo-calédonien CDP Nouvelle-Calédonie
- Association Grevillea (1999) Splendeurs insoupçonnées de la Nouvelle-Calédonie.  
Footprint Pacifique
- J.M. Estournès Le Nickel (2001) coll Découvertes calédoniennes. Planète Mémo.
- J.Geyssant (2003). Les minéraux des complexes alcalino-ultramafiques de Kola.
- Brochures : - Le Nickel-SLN : usine de Doniambo
- - La SMSP
- - Inco (Goro nickel)