

## NICKEL 2014

### MATIÈRES PREMIÈRES :

La teneur moyenne de l'écorce terrestre est d'environ 75 ppm.

Dans les minerais, le nickel est souvent associé au [fer](#), [cuivre](#), [chrome](#) et [cobalt](#).

**Minerais** : deux principaux types :

**Sulfurés** (65 % de la production), sous forme de pentlandite,  $(Ni,Fe)_9S_8$ , associée, en général, à de la pyrrhotite ( $Fe_7S_8$ ), de la pyrite ( $FeS_2$ ) et de la [chalcopyrite](#) ( $CuFeS_2$ ). Les exploitations minières sont, en général, souterraines.

- Les minerais ont des teneurs de 0,7 à 3 % de nickel et contiennent du [cuivre](#) (environ 1 %), des platinoïdes, du cobalt, de l'[argent](#) et de l'[or](#), qui sont récupérés. Ils sont concentrés par flottation à des teneurs de 10 à 15 % de Ni.

- Ces minerais sont exploités en Russie, au Canada, en Australie de l'Ouest, en Chine, Afrique Australe, Finlande.

- En Russie, la production est principalement assurée par la société [Norilsk Nickel](#) dans des complexes miniers et métallurgiques, situés dans la presqu'île de Tâimyr, en Sibérie occidentale et dans la presqu'île de Kola, proche de la frontière norvégienne.

- Les gisements de Ni-Cu-platinoïdes de Norilsk, dans la presqu'île de Tâimyr, sont regroupés dans la [Polar division](#). Situés dans 2 zones avec 7 mines en exploitation, Norilsk au sud et Talnakh au nord, ils sont exploités entre 500 et 1500 m de profondeur. Le gisement le plus important est celui d'Oktiabrsky (zone de Talnakh) qui s'étend sur une surface de 3x1 km avec une épaisseur moyenne de 30 m. En 2014, la production a été de 17 millions de t de minerai possédant une teneur moyenne de 1,29 % de Ni, 2,08 % de Cu et 6,77 g/t de platinoïdes, le palladium étant plus abondant que le platine avec un rapport compris entre 3/1 et 4/1. Les taux de récupération sont de 82 % pour Ni, 95,8 % pour Cu et 81,4 % pour les platinoïdes lors de la concentration du minerai et de 92,4 % du Ni, 94,7 % du Cu et 93,3 % des platinoïdes lors des opérations métallurgiques. En 2014, la production a été de 122 390 t de Ni, 297 552 t de Cu, 64,2 t de Pd et 15,5 t de Pt. Les réserves prouvées et probables sont de 713,9 millions de t de minerai à 0,93 % de Ni, 1,71 % de Cu, 4,21 g/t de Pd, 1,12 g/t de Pt, 0,24 g/t de Au.

- Dans la [presqu'île de Kola](#), la production, assurée par 3 mines, a été, en 2014, de 106 048 t de Ni, 57 391 t de Cu, 18,5 t de Pd et 3,95 t de Pt à partir de l'extraction de 8,1 millions de t de minerai contenant 0,65 % de Ni, 0,27 % de Cu et 0,08 g/t de platinoïdes. Les réserves prouvées et probables sont de 147,9 millions de t de minerai à 0,59 % de Ni, 0,28 % de Cu, 0,03 g/t de Pd, 0,02 g/t de Pt, 0,01 g/t de Au.

- Au Canada, la société [Vale](#) exploite les gisements de Sudbury (Ontario) depuis 1885, Thompson (Manitoba) depuis 1960 et Voisey's Bay (Labrador) depuis 2005. La société [Glencore](#) exploite des mines à Sudbury (Ontario) ainsi qu'à Raglan (Québec).

- En 2014, la production des 8 mines souterraines de Sudbury exploitées par Vale a été de 6,6 millions de t de minerai contenant 1,36 % de Ni, 1,57 % de Cu, du cobalt, des platinoïdes, de l'or, de l'argent... En 2014, les productions ont été de 64 300 t de Ni, 98 000 t de Cu, 833 t de Co, 5,7 t de Pt, 12,4 t de Pd, 2,6 t d'or. Les réserves prouvées et

probables sont de 85,2 millions de t de minerai contenant 1,26 % de Ni, 1,61 % de Cu, 0,04 % de Co, 1,0 g/t de Pt, 1,2 g/t de Pd, 0,4 g/t d'or.

La production des 2 mines exploitées par Glencore a été, en 2014, de 51 300 t de Ni, 54 000 t de Cu et 800 t de Co.

- La production par Vale des 2 mines souterraines de Thompson a été de 1,7 million de t de minerai contenant 1,78 % de Ni, du cuivre et du cobalt, soit une production de 26 100 t de Ni, 2 000 t de Cu et 489 t de Co. Les réserves prouvées et probables sont de 21,8 millions de t de minerai contenant 1,76 % de Ni.

- La mine à ciel ouvert de Voisey's Bay a débuté sa production en novembre 2005. Le gisement avait été découvert, début 1995, par la société Diamond Fields Resources Inc lors de la recherche de diamants. L'extraction est de 6 000 t/jour de minerai avec production d'un concentré de cuivre et d'un concentré mixte Ni-Cu-Co. Les concentrés sont dans un premier temps expédiés dans les raffineries de Sudbury (Ontario) et Thompson (Manitoba), avant la construction qui a débuté en 2009, d'une raffinerie à Long Harbour, Terre Neuve qui a été achevée en 2014. Le gisement a été acquis, en août 1996, par la société Inco absorbée depuis par Vale. En 2014, la production a été de 2,2 millions de t de minerai contenant 2,58 % de Ni, 1,59 % de Cu et du cobalt soit une production de 48 300 t de Ni, 33 000 t de Cu et 952 t de Co. A pleine capacité, la production devrait atteindre 150 000 t/an de Ni. Ses réserves prouvées et probables sont de 14,7 millions de t de minerai à 2,37 % de Ni, 1,32 % de Cu, 0,11 % de Co.

**Oxydés (35 % de la production de Ni).** Ces minerais sont exploités à ciel ouvert et ne peuvent pas être concentrés par voie physique. Ils ne contiennent pas de cuivre ni de métaux précieux, mais renferment du cobalt. On distingue :

- Les minerais silicatés (sapolites) dans lesquels le nickel se substitue au magnésium de la serpentine ( $3\text{MgO}, 2\text{SiO}_2, 2\text{H}_2\text{O}$ ). Appelés garnièrite en Nouvelle-Calédonie (le plus important gisement mondial de minerais oxydés), leur teneur en Ni est de 2,3 à 3 % et le minerai contient, outre MgO et SiO<sub>2</sub>, 10 à 30 % de Fe et du Co. Outre la Nouvelle Calédonie, ces minerais sont également exploités en Colombie et, à des teneurs plus faibles, en Indonésie, République Dominicaine, Philippines, Brésil...

En Nouvelle Calédonie, ils sont exploités par :

- La société Le Nickel-SLN, détenue à 56 % par le groupe Eramet, 34 % par la STCPI regroupant les 3 provinces de l'île et 10 % par Nisshin Steel (Japon), voir ci-dessous la situation française. Le minerai extrait est transformé, en Nouvelle Calédonie, en ferronickel et en matre de nickel, voir le chapitre métallurgie.

- La Société Minière du Sud Pacifique (SMSP), détenue par la Province Nord en association avec le groupe sud-coréen Posco (SMSP : 51 % - Posco : 49 %) extrait du minerai destiné à alimenter principalement l'usine pyrométallurgique de Gwangyang en Corée du Sud.

- La société Koniambo Nickel, détenue à 49 % par Glencore et 51 % par la Société Minière du Sud Pacifique (SMSP) exploite le massif de Koniambo dont les réserves prouvées et probables sont de 58,7 millions de t de minerai contenant 2,35 % de Ni. La production de ferronickel a débuté sur place, en 2014 avec 12 600 t de Ni et une production prévue, en 2015, de 27 000 à 40 000 de Ni contenu dans du ferronickel et fonctionner à pleine capacité, mi-2016, avec 60 000 t/an.

- Les limonites dans lesquelles Ni se substitue au fer dans la goethite (FeOOH). Appelées latérites, en Nouvelle Calédonie, ce sont des minerais pauvres qui contiennent de 1 à 1,5 % de Ni et outre Fe (40 à 50 %), Co (0,1 à 0,2 %), Cr (2 à 5 %). Ils sont également exploités à Cuba et sont présents en couverture de tous les gisements de minerais silicatés. Ils sont exploités, depuis 1987, par des "petits mineurs" de Nouvelle Calédonie, par Eramet ou par Vale à Goro. La production, destinée à être traitée par hydrométallurgie, est exportée en Australie ou transformée sur place, à Goro. La Chine importe de tels minerais pour produire, dans des anciens hauts fourneaux ou plus récemment dans des fours électriques, du ferronickel de basse teneur appelé "nickel pig iron" ou "nickel basic feed". En 2014, la production chinoise de "nickel pig iron" a été de 460 000 t en Ni contenu soit 23 % de la production mondiale de nickel primaire.

- En Nouvelle Calédonie, l'usine de Goro (74 % Vale, 21 % Sumic Nickel Nederland (associé Sumitomo et Mitsui, sociétés japonaises), 5 % STCPI (Société de Participation Minière du Sud Calédonien)) exploite un gisement de 122 millions de t de minerai latéritique renfermant 1,42 % de Ni et 0,11 % de Co. La production a débuté en 2010, avec, en 2014, une production de 18 700 t de Ni et 1 384 t de Co.

- Le groupe Eramet a pris, en 2006, le contrôle de la société Weda Bay Minerals (Eramet : 60 %, Mitsubishi : 27 %, PT Antam : 10 %, PamCo : 3 %) qui prévoit l'exploitation du gisement d'Halmahera, en Indonésie, qui renferme 155 millions de t de minerai latéritique contenant 1,45 % de Ni et 0,09 % de Co. La capacité de production prévue est de 60 000 t/an de Ni. La décision d'exploitation a été repoussée à 2017.

**Productions** : en 2014, en milliers de tonnes de Ni contenu. Monde : 2 020, Union européenne (Finlande, Grèce, Espagne, hors Nouvelle Calédonie), en 2013 : 44.

Philippines	351	Indonésie	177
Russie	264	Brésil	102
Canada	235	Chine	100
Australie	225	Colombie	84
Nouvelle Calédonie	178	Cuba	50

Source : Eramet

En 2014, les importations chinoises ont été de 47,8 millions de t de minerai latéritique provenant à 76 % des Philippines car, depuis janvier 2014, l'Indonésie qui était le principal fournisseur de la Chine a interdit l'exportation de minerais afin de développer, dans le pays, sa valorisation. En nickel contenu, les importations chinoises, en 2014, sont de 347 000 t.

**Producteurs** : en 2014, en milliers de tonnes de Ni contenu.

- Norilsk (Russie) a produit, en 2014, 274 000 t de nickel, principalement en Russie, voir ci-dessus, mais également, hors de Russie, avec des mines au Botswana, à Phoenix, avec 85 % de la société Tati Nickel Mining Company (en 2014, extraction de 9,18 millions de t de minerai renfermant 0,15 % de Ni, avec une production de 6 400 t de Ni dans les concentrés) et en Afrique du Sud, à Nkomati, avec 50 % de la société Nkomati Nickel (en 2014, extraction de 4,3 millions de t de minerai renfermant 0,38 % de Ni avec une production de 11 900 t de Ni dans les concentrés). En 2015, les activités du Botswana ont été vendues.

- Vale (Brésil) a produit, en 2014, 275 000 t de nickel, avec les mines de Sudbury, Thomson et Voisey's Bay, au Canada, voir ci-dessus, Sorowako, en Indonésie, avec une participation de 59,2 %,

et une production, en 2014, de 78 700 t de Ni, Goro, en Nouvelle Calédonie, avec 18 700 t de Ni, Onça Puma, au Brésil dans l'état de Pará, avec une production de 21 400 t de Ni.

- BHP-Billiton (Australie) a produit, en 2014, 143 000 t de nickel dans des gisements sulfurés en Australie de l'Ouest à Mont Keith et Leinster (98 900 t en 2013-14) et des latérites à Cerro Matoso, en Colombie (44 300 t, en 2013-14). En 2013-14, les réserves prouvées et probables du groupe sont de 63 millions de t de minerai à 0,6 % de Ni à Mt Keith et 48 millions de t à 1,1 % de Ni à Cerro Matoso.

- Glencore (Suisse) a produit, en 2014, 101 000 t de nickel dans des mines à Sudbury (Ontario, Canada), ainsi qu'à Raglan (Nord du Québec, avec, en 2014, une production de 51 300 t de Ni, 54 000 t de Cu, 800 t de Co) et une participation de 49 % dans la société Koniambo Nickel, en Nouvelle Calédonie, avec une production de 12 600 t de Ni.

- Eramet (France) a produit, en 2014, 83 000 t de nickel.

- Jinchuan (Chine) a produit, en 2011, 60 000 t de nickel.

- Anglo American (Royaume Uni) a produit, en 2014, 37 200 t de nickel.

**Réserves mondiales** : en millions de t, en 2014. Monde : 81.

Australie	19	Indonésie	4,5
Nouvelle Calédonie	12	Afrique du Sud	3,7
Brésil	9,1	Philippines	3,1
Russie	7,9	Chine	3
Cuba	5,5	Canada	2,9

Source : USGS

Les ressources sont constituées à 70 % de minerais latéritiques et à 30 % de minerais sulfurés.

**Situation française** : exploitations minières de Nouvelle Calédonie, en 2014.

- La production a été de 178 080 t en nickel contenu dans 13,115 millions de t de minerai (8,782 millions de t de saprolites contenant 141 223 t de Ni et 4,333 millions de t de latérites contenant 36 856 t de Ni). Les exportations de minerai ont été de 5,415 millions de t contenant 70 328 t de Ni dont 50 119 t dans des saprolites et 20 209 t dans des latérites. Ces dernières ont été exclusivement exportées vers l'Australie. 1,766 million de t de saprolites ont été exportées vers le Japon, 1,631 million de t vers la Corée du Sud.

- La société Le Nickel-SLN (détenue à 56 % par Eramet) exploite les mines de Thio (depuis 1875), Kouaoua, Népoui Kopéto, Tiébaghi et depuis 2007, Poum, avec une production de 78 000 t de Ni contenues dans 3,8 millions de t de minerai dont 0,7 sous-traités à la Société Minière Georges Montagnat qui exploite la mine Etoile du Nord. La teneur moyenne des minerais, après enrichissement est de 2,8 %. Les réserves prouvées et probables de la société sont, en Nouvelle Calédonie, de 39 millions de t de saprolites contenant en moyenne 2,63 % de Ni et, en Indonésie, de 175 millions de t de saprolites contenant, en moyenne, 1,58 % de Ni et 0,08 % de Co et de 52,9 millions de t de limonites renfermant 1,26 % de Ni et 0,17 % de Co.

- La Société Minière du Sud Pacifique (SMSP), détenue par la Province Nord qui exploite (SMSP : 51 % - Posco : 49 %) les mines de Ouaco, Poya, Nakety et Kouaoua a produit, en 2013, 1,9 million de t de minerai de garniérite destinées à alimenter principalement l'usine pyrométallurgique de

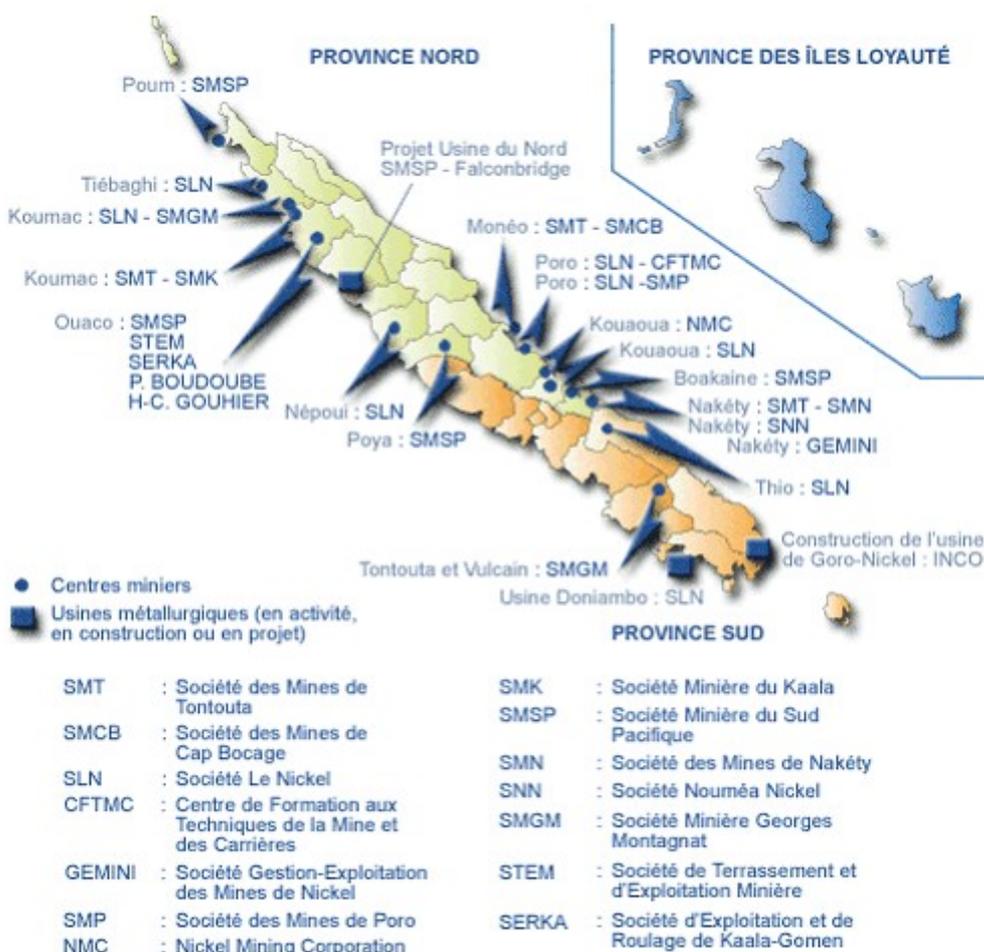
Gwangyang en Corée du Sud, détenue à 51 % par la SMSP et 49 % par Posco et qui a débuté sa production en octobre 2008 avec une capacité de 30 000 t/an de Ni contenu dans du ferronickel. Par ailleurs, la SMSP est associée à Glencore (SMSP : 51 % - Glencore : 49 %) dans l'usine pyrométallurgie du Nord exploitant le gisement de Koniambo, avec une capacité de production prévue, mi-2016, de 60 000 t de Ni contenu dans du ferronickel. La production a débuté en 2014.

- Vale exploite la mine de Goro (détenue à 74 % par Vale, 21 % par Sumic Nickel, 5 % par la STCPI (Nouvelle Calédonie)) depuis 2010.

Autres sociétés exploitant des mines : Société des Mines de la Tontouta (SMT), Société Minière Georges Montagnat (SMGM)...

## Les mines de nickel, en Nouvelle Calédonie

(d'après un document du Sénat : projet de loi de finances pour 2007 : outre-mer)



## MÉTALLURGIE des minerais oxydés

**Procédé pyrométallurgique** : exemple de l'usine de Doniambo de la société Le Nickel-SLN en Nouvelle-Calédonie. Le minerai donne, dans un premier temps, du ferronickel de première fusion qui pour une grande part, après affinage, est destiné à la production d'aciers inoxydables et pour une

autre part est transformé en sulfure de nickel (matte) destiné à la production de nickel. Ce dernier est obtenu, à partir des mattes, selon un procédé hydrométallurgique.

Réduction : le minerai, riche en eau (25 %), est séché, puis, après ajout de 50 kg d'anthracite par t de minerai sec, calciné à 1000°C dans des fours rotatifs (95 m de long, 4 m de diamètre). Une première réduction des oxydes métalliques a ainsi lieu, à l'état solide.

Le minerai est ensuite réduit, en phase liquide, dans des fours électriques de type Demag. Le métal (ferronickel de 1<sup>ère</sup> fusion) sur lequel surnagent des scories est coulé dans des poches de 18 t. Les scories sont granulées à l'aide d'eau de mer et utilisées pour des remblaiements.

- Four Demag : cuve : 33 m de long, 13 m de large, 5,5 m de haut. Puissance nominale : jusqu'à 75 MW, utilise 6 électrodes de 1,4 m de diamètre. Le rendement est de 97 % et la consommation électrique : 19 000 kWh/t de Ni.

Une tonne de minerai donne 110 kg de ferronickel (contenant de 24 à 29 kg de Ni).

Affinage du ferronickel de 1<sup>ère</sup> fusion : consiste à enlever des proportions variables de C, S et Si selon la qualité désirée de ferronickel et le fer pour l'obtention des mattes.

- Production de ferronickel (contient de 24 à 26 % de Ni) :

- Désulfuration et soufflage de O<sub>2</sub> pour maintenir le métal en fusion : une partie du silicium est oxydée. Donne les grenailles (75 % de la production, destinées à alimenter les convertisseurs sidérurgiques) et les qualités courantes de ferronickel livrées en lingots de 15 à 25 kg.

- La société Eramet est le 1<sup>er</sup> producteur mondial de ferronickel.

- Production de mattes (destinées à l'élaboration de Ni) :

- Sulfuration et déferrage par injection de soufre liquide. Donne une "matte synthétique" (10 à 15 % de S) dans des convertisseurs Pierce-Smith de 60 t, puis soufflage d'air et ajout de SiO<sub>2</sub> jusqu'à obtention d'un produit intermédiaire.

- Un affinage secondaire, dans des convertisseurs de 20 t, donne des mattes de "qualité industrielle" constituées de sulfure de nickel (75 % Ni-25 % S). Les mattes contiennent outre un peu de fer, du cobalt qui est récupéré lors de l'élaboration du nickel.

### Exemple : usine de Doniambo

- C'est une usine de la société Le Nickel-SLN, du groupe Eramet. Elle a été construite en 1910, effectif : 1 400 personnes.

- Traite le minerai calédonien à l'aide de 3 fours électriques de type Demag dont le FD10, d'une puissance de 75 MW, le plus puissant four de fusion au monde.

- Consommation de minerai brut : 3 à 4 millions de tonnes par an.

- Capacités de production : 75 000 t/an de Ni dont 80 % en ferronickel et 20 % en matte.

- La totalité des mattes est exportée vers la métropole pour être transformée à Sandouville.

Usine du Nord, à Koniambo : elle a démarré en 2014, avec une production prévue pour 2015 de 27 000 à 40 000 t de nickel contenu dans du ferronickel et devrait atteindre sa pleine capacité mi-2016, avec 60 000 t/an de nickel contenu.

#### Affinage des mattes par hydrométallurgie :

- Lessivage : après broyage, les mattes sont dissoutes par une solution de chlorure ferrique, en présence de Cl<sub>2</sub>. Ni<sup>2+</sup> et les ions des impuretés métalliques (Fe, Co, Cr...) passent en solution (en présence d'ions Cl<sup>-</sup>). Le soufre éliminé lors de cette opération est récupéré.
- Purification de la solution de Ni<sup>2+</sup>, par extractions successives des diverses impuretés à l'aide de solvants organiques ou de résines échangeuses d'ions.
  - Extraction des ions Fe<sup>3+</sup> par du tributyl-phosphate. La solution de FeCl<sub>3</sub> est recyclée, l'excès commercialisé est utilisé dans le traitement de l'eau potable.
  - Extraction du Co par du tri-iso-octylamine. Co est récupéré sous forme de chlorure de Co.
  - Extraction des autres impuretés : Pb à l'aide d'une électrolyse sélective, les autres impuretés (Cr<sup>3+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Cu<sup>2+</sup>...) par résines et charbon actif.
- Électrolyse de la solution de Ni<sup>2+</sup> : les anodes sont insolubles. Ni se dépose sur des cathodes constituées de feuilles minces de Ni. Ni obtenu est à plus de 99,97 %. Les cathodes sont débitées en "carrés" et livrées en fûts de 200 ou 250 kg.

#### Exemple : usine de Sandouville

- Exploitée par le groupe Eramet. L'usine date de 1978, son effectif est de 180 personnes.
- Elle traite les mattes calédoniennes et produit du nickel de haute pureté, des sels de nickel et de cobalt.
- Capacités annuelles de production : 16 000 tonnes de Ni.
- Autres produits obtenus (en capacités annuelles de production) : Co : 500 tonnes (sous forme de chlorure de Co), FeCl<sub>3</sub> : 1 000 t, S : 4 000 t.
- Eramet est le 1<sup>er</sup> producteur mondial de chlorure de Ni.

#### **Procédé hydrométallurgique : exemple de l'usine de Goro.**

Le procédé consiste en une lixiviation sous pression à l'aide d'acide sulfurique suivie d'une purification par précipitation d'hydroxydes puis d'extractions par solvants et purification par résines échangeuses d'ions.

Le minerai (limonite et garniérite) est mis en suspension dans l'eau pour donner une pulpe qui est préchauffée à l'aide de vapeur d'eau puis introduite dans un autoclave (270°C) en présence d'acide sulfurique. Les parties valorisables du minerai, Ni et Co, passent à 98 % en solution. La solution est séparée de la pulpe lixiviée par une succession de lavages et décantations.

La neutralisation de la solution acide est réalisée à l'aide de calcaire et de chaux qui forment du gypse. Lors de cette neutralisation de nombreux éléments métalliques, en particulier Fe, précipitent sous forme d'hydroxydes qui sont éliminés par décantation et filtration. Les principaux cations

restant en solution sont les suivants : Ni, Co, Zn, Mn, Mg et Ca. Une extraction par solvant permet de récupérer Ni, Co et Zn qui sont déextraites par l'acide chlorhydrique. Zn est éliminé sur résine échangeuse d'ions. Co est extrait par solvant et la solution restante de chlorure de nickel, chauffée à l'air à 800°C, donne de l'oxyde de nickel, le chlorure d'hydrogène étant recyclé pour former l'acide chlorhydrique. Après déextraction la solution de chlorure de cobalt est neutralisée avec du carbonate de sodium pour donner du carbonate de cobalt.

En 2014, la production de l'usine de Goro a été de 19 830 t de nickel contenu dans l'hydroxyde et les sels de nickel et de 435 t de cobalt contenu dans son carbonate.

Queensland Nickel, dans sa raffinerie de Yabulu à Townsville, en Australie, utilise une lixiviation à l'ammoniac suivie d'extractions par solvants. Le minerai latéritique est importé de Nouvelle Calédonie et des Philippines. Les capacités de production sont de 76 000 t/an de Ni et 3 500 t/an de Co.

Le groupe Eramet envisage de traiter les latérites et garniérites du gisement indonésien d'Halmahera à l'aide d'un procédé hydrométallurgique à pression atmosphérique, par lixiviation à l'acide sulfurique puis extraction par solvants de Ni, Co et Mn.

## **RECYCLAGE :**

Le recyclage fournit 50 % du Ni destiné à la production des aciers inoxydables (Ni contenu dans les aciers inoxydables est réutilisé lors du recyclage de ces aciers) et 20 % des autres utilisations. Aux Etats-Unis, en 2014, recyclage de 102 000 t qui représentent 41 % de la consommation. Dans l'Union européenne, le taux de recyclage est de 45 %.

**PRODUCTIONS** : en 2014, production de Ni (en milliers de tonnes) contenu dans Ni raffiné, les sels et les ferronickels. Monde : 1 969, Union européenne (hors Nouvelle-Calédonie), en 2013 : 117.

Chine	697	Norvège	91
Russie	234	Brésil	77
Japon	177	Nouvelle Calédonie	62
Canada	147	Finlande	43
Australie	147	Colombie	42

Source : Eramet

En Chine, en 2014, les importations représentent 87 % de la consommation du pays. Celles de ferronickel sont de 282 933 t à 22 % de Nouvelle Calédonie, 21 % de Birmanie, 17 % de Colombie, 14 % du Japon, 12 % du Brésil.

Dans le monde, en 2011, la production de nickel donne une coproduction de 98 000 t de cobalt, 472 t de platinoïdes, 10 t de scandium. Par exemple, la production de cobalt provient, à 55 %, de mines de nickel, 35 % de mines de cuivre et seulement pour 10 % de mines de cobalt.

**Producteurs** : en 2014, en milliers de t.

<u>Norilsk</u> (Russie, Finlande)	274	<u>BHP-Billiton</u> (Australie, Colombie)	85
<u>Vale</u> (Canada, Royaume Uni, Japon,	275	<u>Sumitomo</u> (Japon)	72

Nlle Calédonie)			
<a href="#">Jinchuan</a> (Chine), en 2013	143	<a href="#">Eramet</a> (France, Nouvelle Calédonie)	55
<a href="#">Glencore</a> (Norvège, Australie, Nlle Calédonie)	101	<a href="#">Anglo American</a> (Brésil, Venezuela, Afrique du Sud)	47,4

Source : Eramet ou rapports des sociétés

- En Russie, les premières mattes de cuivre-nickel du complexe de Norilsk ont été livrées en 1939. Un chemin de fer relie l'usine métallurgique au port de Dudunka sur l'Ienisseï qui évacue les mattes de cuivre et de nickel ainsi que les produits destinés au raffinage dans l'usine Severonickel, dans la presqu'île de Kola. Depuis mars 2007, après la reprise des activités de OMG, Norilsk exploite la raffinerie de Harjavalta, en Finlande, d'une capacité de 60 000 t/an. En 2014, les productions de Norilsk Nickel ont été de 274 247 t de nickel, 368 016 t de cuivre, 85,5 t de paladium, 20,4 t de platine.

- [Vale](#), exploite des raffineries de nickel, sur les sites de production minière, voir ci-dessus, mais également, au Japon, à Matsuzaka, avec 60 000 t/an, à Taïwan, à Kaoshiung, avec 18 000 t/an, en Chine, à Dalian, avec 32 000 t/an, en Corée du Sud, à Onsan, avec 30 000 t/an, au Royaume Uni, à Clydach, au Pays de Galles, avec 40 000 t/an.

- [Glencore](#) depuis la prise de contrôle de Falconbridge, en août 2006, exploite la raffinerie de Kristiansand, en Norvège, qui traite les minerais extraits au Canada, avec une capacité de production de 86 000 t/an de Ni, 39 000 t/an de cathodes de cuivre et 5 200 t/an de Co. Possède une participation de 49 % dans la société Koniambo Nickel, en Nouvelle Calédonie, avec, en 2014, une production de 12 900 t de Ni contenu dans du ferronickel et exploite, en Australie, la raffinerie de Murin Murin, avec, en 2014, une production de 36 400 t de Ni.

#### **Situation française : en 2014.**

- Production métallurgique (en Ni contenu) :

- Ferronickel : en Nouvelle-Calédonie, 46 771 t à Doniambo et 12 600 t à Koniambo. La production est totalement exportée.
- Mattes : 8 241 t, à Doniambo, en Nouvelle-Calédonie. La production est destinée à l'usine Eramet de Sandouville.
- Oxyde et hydroxyde : 19 830 t, à Goro, en Nouvelle Calédonie.
- Nickel électrolytique : 10 800 t, en 2010, à Sandouville, à partir des mattes calédoniennes.
- Sels de nickel : 2 080 t, en 2010, à Sandouville, à partir des mattes calédoniennes.

- Exportations (en Ni contenu) de Nouvelle Calédonie : 76 500 t.

#### **UTILISATIONS :**

**Consommations :** en 2014. Monde : 1 887 000 t dont 970 000 t en Chine, 380 000 t dans l'Union européenne, 250 000 t aux Etats-Unis, 132 000 t au Japon.

**Répartition de la consommation :** en 2014, dans le monde.

Aciers inoxydables (8 à 12 % Ni)	67 %	Galvanoplastie	8 %
Alliages de Ni (25 à 100 %	11 %	Aciers alliés et fonderie (< 4	7 %

Ni)		% Ni)	
-----	--	-------	--

Source : rapport d'activité d'Eramet

- L'utilisation dans les aciers inoxydables était de 35 % en 1960 et de 46 % en 1974.

### Utilisations diverses :

Aciers inoxydables : voir ce chapitre.

Nickelage : les pièces appelées chromées sont en fait essentiellement nickelées. Elles sont en acier recouvert par une couche de 20 à 30  $\mu\text{m}$  de Ni sur laquelle est déposée une mince pellicule de Cr (0,2 à 0,3 micromètres) destinée uniquement à faciliter l'entretien. Les pièces "chromées" sont concurrencées par les plastiques (dans les pare-chocs) et les peintures. Les automobiles produites aux États-Unis contiennent environ 1 kg de Ni. L'industrie automobile représente de 6 à 8 % de la consommation finale de nickel dans le monde.

Le nickelage a lieu selon deux méthodes : électrolytique ou chimique.

- Nickelage par électrolyse : méthode la plus courante. La pièce à revêtir constitue la cathode, l'anode est formée de "carrés" de Ni pur placés dans des paniers en titane. La solution du bain d'électrolyse contient du sulfate et du chlorure de  $\text{Ni}^{2+}$ .

- Nickelage par réduction chimique : les pièces à revêtir sont immergées dans une solution d'ions  $\text{Ni}^{2+}$  contenant un réducteur (hypophosphite de  $\text{Na}^+$  ou borohydrures). Exemple de composition de bain, le nickelage étant effectué à 95-98°C et à pH 4,5-5, sous agitation :

Sulfate de nickel	25 g/L	Hypophosphite de sodium	20 g/L
Acide lactique	25 g/L	Acide propionique	3 g/L

La vitesse de dépôt est de 15 micromètres par heure. L'acide lactique qui agit comme complexant peut être remplacé par l'acide glycolique, citrique ou salicylique. Il permet d'éviter la précipitation de phosphite de nickel, peu soluble. L'acide propionique (ou l'acide acétique ou NaF) augmente la vitesse de dépôt. Fe, Ni, Au, Co, Al, Pd catalysent la réduction. Par contre, dans le cas du cuivre ou de ses alliages, il est nécessaire de réaliser un contact avec un métal catalytique pour amorcer la réaction.

On obtient ainsi des dépôts très durs, d'épaisseur uniforme. Par exemple 95 000  $\text{m}^2$  de pièces en acier destinées au traitement de UF6 dans l'usine Eurodif de Tricastin ont été revêtues selon ce procédé.

- Les fils d'aluminium utilisés comme conducteurs électriques sont recouverts de nickel afin d'éviter les problèmes de contact liés à la présence de la couche d'alumine (isolante). L'épaisseur du nickel est de 1,5 micromètres, le dépôt électrolytique est effectué à la vitesse de 300  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ , pour un fil de 2 mm de diamètre.

### Autres utilisations :

- Aciers : pour les aciers inoxydables, voir ce chapitre.

- de construction : Ni augmente la résistance mécanique.

- non fragiles à froid : 9 % de Ni.

- Invar : à 36 % de Ni. Possède un coefficient de dilatation nul. Utilisé comme matériau d'étalons secondaires de mesure, de bilames, en horlogerie pour annuler l'influence des écarts de température, pour les "shadow-mask" des écrans de téléviseurs couleur (0,4 à 1 kg par téléviseur), pour les cuves de [méthaniers](#) (360 t/méthanier, 39 méthaniers dans le monde utilisent cet alliage)...
- Autres alliages : [cupronickel](#) (10 et 30 % de Ni), [maillechorts](#) (18 % Ni). Le maillechort et le monel (64 % de Ni) sont utilisés pour fabriquer des montures de lunette. Dans l'Union européenne, la libération (par ressuage) des ions Ni<sup>2+</sup> doit être limitée à 0,5  $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{semaine}$  pour les objets en contact prolongé avec la peau.
- Alliage Ni-Cr (Ni : 60 %, Cr : 35 %, Si : 2 %, Mo : 1 %, Fe : 1 %) utilisé pour réaliser des couronnes et bridges dentaires.
- Alliage Inconel 600 : alliage à base de Ni contenant 13 % de Cr et 6 % de Fe. Cet alliage utilisé pour certaines pièces (manchons traversant le couvercle...) des [réacteurs nucléaires](#) à eau pressurisée des centrales françaises est sensible à la corrosion sous contrainte et les pièces présentent des fissures. Il est remplacé par l'Inconel 690 à 29 % de Cr.
- Développement de l'utilisation d'un alliage [Zn](#)-Ni (à 13 % de Ni) pour la [galvanisation](#) de tôles pour automobiles.
- [Cupronickel](#) : pièces de 1 € et 2 €, soit 3,5 % de la consommation française de nickel.
- Dans les batteries Ni-Cd (voir le chapitre consacré au [cadmium](#)) et nickel-hydrure métallique (NiMH). Ces dernières sont constituées d'une électrode négative formée par un alliage LaNi<sub>5</sub> ou ZrNi<sub>2</sub>, l'électrode positive étant à base d'hydroxyde de nickel. L'électrolyte est de l'[hydroxyde de potassium](#).
- Comme catalyseur (Ni-Al) d'hydrogénation pour la fabrication de l'acide adipique. Des catalyseurs à base d'oxyde de nickel sont employés dans le reformage du [gaz naturel](#) pour donner de l'[hydrogène](#).
- Alliages (Ni-Ti) à mémoire de forme, appelés "nitinol" (voir le chapitre consacré au [titane](#)). Utilisés en orthodontie, comme endoprothèses ("stent").
- Comme moule de fabrication de CD, DVD et disques Blu-ray. Une matrice de verre recouverte de résine photosensible est gravée par laser, puis recouverte par évaporation d'argent qui rend la surface conductrice et enfin le nickel est déposé par électrolyse. Le nickel est ensuite séparé de la matrice de verre et donne un moule permettant de fabriquer plus de 100 000 disques.