

NICKEL 2011

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](#), exploités entre 500 et 1500 m de profondeur, sont regroupés dans 2 zones avec 7 mines en exploitation, Norilsk au sud et Talnakh au nord. Le gisement le plus important est celui d'Oktaabrsky (zone de Talnakh) qui s'étend sur une surface de 3x1 km avec une épaisseur moyenne de 30 m. En 2008, ce gisement a livré 57 % du cuivre, 39 % du nickel et 49 % des platinoïdes de l'ensemble de la production de Norilsk de plus de 15 millions de t de minerai possédant une teneur moyenne de 1,56 % de Ni, 2,65 % de Cu et 8,42 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 83,8 % du Ni et 96,4 % du Cu lors de la concentration du minerai et de 92,8 % du Ni et 94,6 % du Cu lors des opérations métallurgiques. En 2011, la production a été de 124 000 t de Ni et 304 000 t de Cu. Les réserves prouvées de Talnakh sont de 122 millions de t de minerai à 1,48 % de Ni, 2,73 % de Cu, 6,20 g/t de Pd, 1,61 g/t de Pt, 0,32 g/t de Au...

- Dans la [presqu'île de Kola](#), la production, assurée par 3 mines, a été, en 2011, de 113 000 t de Ni et 60 000 t de Cu à partir de l'extraction de 8,1 millions de t de minerai contenant 0,59 % de Ni, 0,25 % de Cu et 0,10 g/t de platinoïdes. Les réserves prouvées sont de 164 millions de t de minerai à 0,54 % de Ni, 0,25 % 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 [Xstrata](#) exploite des mines à Sudbury (Ontario) ainsi qu'à Raglan (Québec).

- En 2011, la production des 6 mines souterraines de Sudbury exploitées par Vale a été de 5,6 millions de t de minerai contenant 1,45 % de Ni, 1,61 % de Cu, du cobalt, des platinoïdes, de l'or, de l'argent... En 2011, les productions ont été de 59 700 t de Ni, 101 000 t de Cu, 593 t de Co, 5,4 t de Pt, 7,7 t de Pd, 5,7 t d'or. Les réserves prouvées sont

de 59,8 millions de t de minerai contenant 1,20 % de Ni, 1,35 % de Cu, 0,04 % de Co, 0,70 g/t de Pt, 0,90 g/t de Pd, 0,30 g/t d'or. La production des 2 mines exploitées par Xstrata a été, en 2011, de 3,2 millions de t de minerai donnant 22 716 t de Ni, 49 887 t de Cu, 476 t de Co.

- La production par Vale des 2 mines souterraines de Thompson a été de 1,9 million de t de minerai contenant 1,61 % de Ni, du cuivre et du cobalt, soit une production de 25 000 t de Ni, 1 000 t de Cu et 158 t de Co. Les réserves prouvées sont de 7,7 millions de t de minerai contenant 1,83 % de Ni et 0,12 % de Cu.

- 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 devrait être achevée en 2013. Le gisement a été acquis, en août 1996, par la société Inco absorbée depuis par Vale. En 2011, la production a été de 2,4 millions de t de minerai contenant 3,38 % de Ni, 2,39 % de Cu et du cobalt soit une production de 68 900 t de Ni, 51 000 t de Cu et 1 585 t de Co. A pleine capacité, la production devrait atteindre 150 000 t/an de Ni. Ses réserves prouvées sont de 18,7 millions de t de minerai à 2,80 % de Ni, 1,62 % de Cu, 0,14 % 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 Ni se substitue au magnésium de la serpentine ($3\text{MgO}, 2\text{SiO}_2, 2\text{H}_2\text{O}$). Appelés garniérite 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 SiO₂, 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...

- Ils sont exploités en Nouvelle Calédonie 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 ou matte de nickel, voir le chapitre métallurgie.

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

- Egalement en Nouvelle Calédonie, la société Koniambo Nickel, détenue à 49 % par Xstrata et 51 % par la Société Minière du Sud Pacifique (SMSP) débute l'exploitation du massif de Koniambo dont les réserves prouvées sont de 62,5 millions de t de minerai contenant 2,46 % de Ni. La production de ferronickel devait débiter sur place, en janvier 2013 avec une production prévue, fin 2014, de 60 000 de Ni contenu dans du ferronickel.

- 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 qui en a extrait, en 2011, 550 000 t, 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 2011, la production chinoise de "nickel pig iron" a été de 263 000 t en Ni contenu soit 17 % de la production mondiale de nickel primaire.

- En Nouvelle Calédonie, l'usine de [Goro](#) (74 % [Vale](#), 21 % Sumic Nickel Nederland (associe [Sumitomo](#) et [Mitsui](#), sociétés japonaises), 5 % STCPI (Société de Participation Minière du Sud Calédonien)) exploite un gisement de 100,4 millions de t de minerai latéritique renfermant 1,34 % de Ni et 0,12 % de Co soit un total de 1,77 million de t de Ni et 137 000 t de Co et une production annuelle prévue de 60 000 t de Ni et 4 600 t de Co. La production a débuté en 2010, avec, en 2011, une production de 5 100 t de Ni et 245 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, pour 2013, 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.

Productions : en 2011, en milliers de tonnes de Ni contenu. Monde : 1 897, Union européenne (Finlande, Grèce, Espagne, hors Nouvelle Calédonie) : 58.

Indonésie	283,2	Brésil	148,8
Russie	270,0	Nouvelle Calédonie	122,9
Philippines	243,6	Chine	91,1
Canada	211,5	Colombie	74,4
Australie	186,1	Cuba	67,2

Source : Eramet

En 2011, les importations chinoises ont été de 48,3 millions de t de minerai latéritique provenant à 53,3 % d'Indonésie et 45,6 % des Philippines.

Producteurs : en 2011, en milliers de tonnes de Ni contenu.

Norilsk (Russie)	272	Xstrata (Suisse)	79
Vale (Brésil)	234	Eramet (Nouvelle Calédonie)	78
BHP-Billiton (Australie)	139	Jinchuan (Chine)	60
PT Antam (Indonésie)	123	Anglo American (Royaume Uni)	54

Source : rapports d'activité des sociétés

- Norilsk exploite également, hors de Russie, des mines en Australie, à Lake Johnston (8 400 t de Ni en 2012), au Botswana, à Phoenix, avec 85 % de la société Tati Nickel Mining Company (en 2011, 7 000 t de Ni, 6 000 t de Cu, 964 kg de Pd, 186 kg de Pt), en Afrique du Sud, à Nkomati, avec 50 % de la société Nkomati Nickel (en 2011, 5 000 t de Ni, 2 000 t de Cu, 591 kg de Pd, 186 kg de Pt).

- Vale exploite les mines de Sudbury, Thomson et Voisey's Bay, au Canada, Sorowako, en Indonésie, avec une participation de 59,2 %, et une production, en 2011, de 67 800 t de Ni, Goro, en Nouvelle Calédonie, Onça Puma, au Brésil dans l'état de Para, avec une production de 7 000 t de Ni, en 2011.

- BHP-Billiton exploite des gisements sulfurés en Australie de l'Ouest à Mont Keith et Leinster (109 000 t en 2011-12) et des latérites à Cerro Matoso, en Colombie (48 900 t, en 2011-12). En 2011-12, les réserves du groupe sont de 108 millions de t de minerai à 0,57 % de Ni à Mt Keith et 94 millions de t à 1,0 % de Ni à Cerro Matoso.

- Xstrata exploite des mines à Sudbury (Ontario, Canada), ainsi qu'à Raglan (Nord du Québec, avec, en 2011, l'extraction de 1,3 million de t de minerai donnant 27 274 t de Ni, 7 215 t de Cu, 561 t de Co) et Bonao (République Dominicaine) par la société Falcondo détenue à 85,26 % par Xstrata qui a produit 13 498 t de Ni, en 2011. le groupe possède une participation de 49 % dans la société Koniambo Nickel, en Nouvelle Calédonie.

- Restructuration de l'industrie du nickel : en 2005, BHP-Billiton a acquis les exploitations de Western Mining en Australie de l'Ouest ; en 2006, Vale a acheté Inco, Xstrata a acquis Noranda-Falconbridge ; en 2007, Norilsk a acquis LionOre Mining.

Réserves mondiales : en millions de t, en 2012. Monde : 75.

Australie	20	Indonésie	3,9
Nouvelle Calédonie	12	Afrique du Sud	3,7
Brésil	7,5	Canada	3,3
Russie	6,1	Chine	3
Cuba	5,5	Madagascar	1,6

Source : USGS

Les ressources sont constituées à 60 % de minerais latéritiques et à 40 % de minerais sulfurés.

Situation française : exploitations minières de Nouvelle Calédonie, en 2012.

- La production a été de 132 111 t en nickel contenu dans 9,7 millions de t de minerai (6,4 millions de t de saprolites contenant 102 167 t de Ni et 3,3 millions de t de latérites contenant 29 649 t de Ni). Les exportations de minerai ont été de 4,65 millions de t contenant 61 250 t de Ni destinées à 39,8 % à la Corée du Sud, 30,1 % à l'Australie, 28,5 % au Japon, 1,6 % à la Chine.

- 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 de la société sont, en Nouvelle Calédonie, de 17,5 millions de t contenant en moyenne 2,67 % de Ni et, en Indonésie, de 57 millions de t contenant, en moyenne, 1,49 % de Ni et 0,08 % de Co.

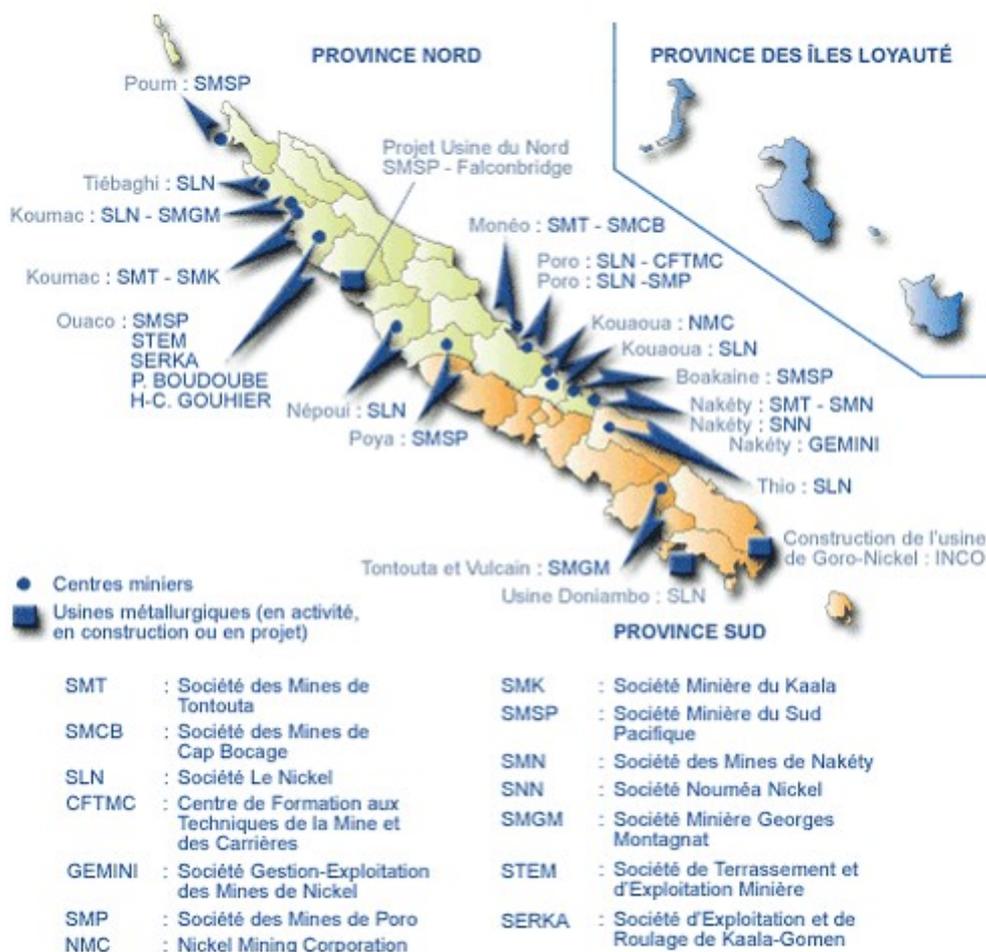
- La Société Minière du Sud Pacifique (SMSP), détenue par la Province Nord qui exploite (SMSP : 51 % - Posco : 49 %) les mines de Ouaco, Poya, Nakety et Kouaoua a produit, en 2011, 1,3 million de t de minerai destinées à alimenter principalement l'usine pyrométallurgique de Gwangyang en Corée du Sud, 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. La SMSP est associée à Xstrata dans le projet d'usine pyrométallurgie exploitant le gisement de Koniambo, avec une capacité de production prévue, fin 2014, de 60 000 t de Ni contenu dans du ferronickel. La production a débuté en janvier 2013.

- 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 : Groupe Pentecost, 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^{ère} 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^{ère} 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 [O₂](#) 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 2^{ème} producteur mondial de ferronickel.](#)

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

- Sulfuration et déferrage par injection de S 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 [SiO₂](#) 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.

Affinage des mattes par hydrométallurgie :

- Lessivage : après broyage, les mattes sont dissoutes par une solution de chlorure ferrique, en présence de Cl₂. Ni²⁺ et les ions des impuretés métalliques (Fe, Co, Cr...) passent en solution (en présence d'ions Cl⁻). Le soufre éliminé lors de cette opération est récupéré.
- Purification de la solution de Ni²⁺, par extractions successives des diverses impuretés à l'aide de solvants organiques ou de résines échangeuses d'ions.
 - Extraction des ions Fe³⁺ par du tributyl-phosphate. La solution de FeCl₃ 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 (Cr³⁺, Mg²⁺, Al³⁺, Cu²⁺...) par résines et charbon actif.
- Électrolyse de la solution de Ni²⁺ : 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), FeCl₃ : 1 000 t, S : 4 000 t.
- Eramet est le 1^{er} 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.

Queensland Nickel, dans sa raffinerie de Yabulu en Australie, utilise une lixiviation à l'ammoniac suivie d'extractions par solvants. Le minerai latéritique est importé de Nouvelle Calédonie, Indonésie et Philippines. Les capacités de production sont de 32 000 t/an de Ni et 1 900 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 2012, recyclage de 95 100 t qui représentent 43 % de la consommation. Dans l'Union européenne, le taux de recyclage est de 45 %.

PRODUCTION : en 2011, production de Ni (en milliers de tonnes) contenu dans Ni raffiné, les sels et les ferronickels. Monde : 1 589, Union européenne (hors Nouvelle-Calédonie) : 119.

Chine	411,2	Norvège	92,4
Russie	265,7	Finlande	48,5
Japon	157,3	Nouvelle Calédonie	40,0
Canada	142,4	Colombie	37,8
Australie	110,2	Royaume-Uni	37,4

Source : Ecomine

En 2011, la production chinoise a été de 178 000 t de nickel (raffiné, sels et ferronickel) et de 263 000 t de nickel contenu dans du "nickel pig iron". Les importations ont été de 266 000 t.

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 2011, en milliers de t.

<u>Norilsk</u> (Russie, Finlande)	295,1	<u>BHP-Billiton</u> (Australie, Colombie)	85,1
<u>Vale</u> (Canada, Royaume Uni, Japon, Nlle Calédonie)	208,9	<u>Sumitomo</u> (Japon)	61,7
<u>Jinchuan</u> (Chine)	129,3	<u>Eramet</u> (France, Nouvelle Calédonie)	54,2
<u>Xstrata</u> (Canada, Rép. Dominicaine)	104,1	<u>Anglo American</u> (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 2011, les productions de Norilsk Nickel ont été de 295 096 t de nickel, 377 944 t de cuivre, 87,3 t de palladium, 21,6 t de platine

- Xstrata depuis la prise de contrôle de Falconbridge, en août 2006, exploite la raffinerie de Kristiansand, en Norvège, 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.

Situation française : en 2012

- Production métallurgique (en Ni contenu) :

- Ferronickel : 43 030 t, à Doniambo, en Nouvelle-Calédonie. La production est totalement exportée.
- Mattes : 13 417 t, à Doniambo, en Nouvelle-Calédonie. La production est destinée à l'usine Eramet de Sandouville.
- Oxyde et hydroxyde : 5 731 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 : 50 160 t dont :

- Ferronickel : 44 858 t
- Hydroxyde : 3 191 t
- Oxyde : 2 111 t.

UTILISATIONS :

Consommations : en 2011, en milliers de tonnes. Monde : 1 569. Union européenne (hors Nouvelle Calédonie) : 326.

Chine	680,0	Italie	54,5
Japon	152,2	Taiwan	46,6
États-Unis	122,5	Inde	34,8
Allemagne	92,5	Espagne	32,7
Corée du Sud	74,1	Belgique	28,5

Source : Ecomine

Répartition de la consommation : en 2011, dans le monde.

Aciers inoxydables (8 à 12 % Ni)	65 %	Aciers alliés et fonderie (< 4 % Ni)	7 %
Alliages de Ni (25 à 100 % Ni)	12 %	Batteries	3 %
Nickelage	9 %	Monnaies	1 %

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 μm 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 Ni^{2+} .

- Nickelage par réduction chimique : les pièces à revêtir sont immergées dans une solution d'ions Ni^{2+} contenant un réducteur (hypophosphite de 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 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^{2+} 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_5 ou ZrNi_2 , 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.