

NICKEL 2015

MATIÈRES PREMIÈRES :

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

Dans les minerais, le nickel est souvent associé au [fer](#), au [cuivre](#), au [chrome](#) et au [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, 6 souterraines et une à ciel ouvert, 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 2015, la production a été de 17,3 millions de t de minerai possédant une teneur moyenne de 1,27 % de Ni, 2,06 % de Cu et 6,85 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 81,3 % pour Ni, 95,5 % pour Cu lors de la concentration du minerai et de 93,1 % du Ni, 94,2 % du Cu lors des opérations métallurgiques. En 2015, la production a été de 96 916 t de Ni, 292 632 t de Cu, 60,2 t de Pd et 15,2 t de Pt. Les réserves prouvées et probables sont de 703 millions de t de minerai à 0,92 % de Ni, 1,701 % de Cu, 4,18 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 4 mines, 3 souterraines et une à ciel ouvert, a été, en 2015, de 125 100 t de Ni, 63 075 t de Cu, 20,9 t de Pd et 4,2 t de Pt à partir de l'extraction de 8,0 millions de t de minerai contenant 0,62 % de Ni, 0,25 % de Cu et 0,07 g/t de platinoïdes. Les réserves prouvées et probables sont de 140 millions de t de minerai à 0,58 % 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 2015, la production des 8 mines souterraines de Sudbury exploitées par Vale a été de 6,2 millions de t de minerai contenant 1,46 % de Ni, 1,64 % de Cu, du cobalt, des platinoïdes, de l'or, de l'argent... En 2015, les productions ont été de 54 400 t de Ni, 98 000 t de Cu, 751 t de Co, 4,8 t de Pt, 10,6 t de Pd, 2,8 t d'or. Les réserves prouvées et

probables sont de 76,4 millions de t de minerai contenant 1,27 % de Ni, 1,61 % de Cu, 0,04 % de Co, 1,1 g/t de Pt, 1,1 g/t de Pd, 0,4 g/t d'or.

- La production par Vale des 2 mines souterraines de Thompson a été de 1,7 million de t de minerai contenant 1,71 % de Ni, du cuivre et du cobalt, soit une production de 24 800 t de Ni, 1 000 t de Cu et 365 t de Co. Les réserves prouvées et probables sont de 20,6 millions de t de minerai contenant 1,71 % 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 ont été 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 reçu les premiers concentrés en mai 2015. Le gisement a été acquis, en août 1996, par la société Inco absorbée depuis par Vale. En 2015, la production a été de 2,3 millions de t de minerai contenant 2,57 % de Ni, 1,51 % de Cu et du cobalt soit une production de 53 000 t de Ni, 32 000 t de Cu et 849 t de Co. A pleine capacité, la production devrait atteindre 150 000 t/an de Ni. Ses réserves prouvées et probables sont de 36,1 millions de t de minerai à 2,24 % de Ni, 1,05 % de Cu, 0,13 % de Co.

- La production des mines canadiennes de Glencore ont été, en 2015, de 49 100 t de nickel, 14 900 t de cuivre, 800 t de cobalt, 19 t d'argent, 1,1 t d'or, 4,9 t de palladium, 2,3 t de platine, 156 kg de rhodium.

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 garniélite 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...

En Nouvelle Calédonie, ils sont exploités par :

- La société Le Nickel-SLN, détenue à 56 % par le groupe Eramet, 34 % par la STCPI (Société de Participation Minière du Sud Calédonien) 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 matte 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 35,1 millions de t de minerai contenant 2,30 % de Ni. La production de ferronickel a débuté sur place, en 2014 avec, en 2015, une production de 9 100 t de Ni contenu dans du ferronickel. La capacité prévue est de 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 à Madagascar 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, à environ 10 %, appelé "nickel pig iron (NPI)" 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 (80,5 % Vale, 14,5 % Sumic Nickel Nederland (associe Sumitomo et Mitsui, sociétés japonaises), 5 % STCPI (Société de Participation Minière du Sud Calédonien)) exploite un tel gisement. La production a débuté en 2010, avec, en 2015, une production de 26 900 t de Ni et 2 391 t de Co. En 2014, les réserves prouvées et probables étaient de 122,3 millions de t renfermant 1,42 % de Ni et 0,11 % 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.

Productions : en 2015, en milliers de tonnes de Ni contenu. Monde : 2 530, Union européenne (Finlande, Grèce, Espagne, hors Nouvelle Calédonie), en 2013 : 44.

Philippines	530	Indonésie	170
Russie	240	Brésil	110
Canada	240	Chine	102
Australie	234	Colombie	73
Nouvelle Calédonie	186	Cuba	57

Source : USGS

En 2015, les importations chinoises ont été de 35,3 millions de t de minerai latéritique provenant à 97 % 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.

Producteurs : en 2015, en milliers de tonnes de Ni contenu.

- Vale (Brésil) a produit, en 2015, 290 600 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 2015, de 79 500 t de Ni, Goro, en Nouvelle Calédonie, avec 26 900 t de Ni, Onça Puma, au Brésil dans l'état de Pará, avec une production de 24 400 t de Ni.

- [Norilsk](#) (Russie) a produit, en 2015, 266 406 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 et en Afrique du Sud, à Nkomati, avec 50 % de la société Nkomati Nickel. Au cours de l'année 2015, les activités au Botswana et en Afrique du Sud ont été vendues.

- [Glencore](#) (Suisse) a produit, en 2015, 96 200 t de nickel dans des mines au Canada, à Sudbury (Ontario, Canada), ainsi qu'à Raglan (Nord du Québec) avec, en 2015, une production de 49 100 t de Ni, 14 900 t de Cu, 800 t de Co, en Australie Occidentale, à Murrin Murrin avec, en 2015, une production de 37 500 t de nickel et 2 800 t de cobalt et une participation de 49 % dans la société Koniambo Nickel, en Nouvelle Calédonie, avec une production de 9 100 t de Ni contenu dans du ferronickel.

- [BHP-Billiton](#) (Australie) a produit, en 2015-16, 80 700 t de nickel dans des gisements sulfurés en Australie de l'Ouest à Mont Keith et Leinster. L'exploitation de latérites à Cerro Matoso, en Colombie, avec 36 800 t en 2015-16 a été reprise par le groupe [South32](#) issu de BHP-Billiton. Les réserves prouvées et probables de BHP-Billiton sont de 49 millions de t de minerai à 0,66 % de Ni, celles de South32 de 42 millions de t à 1,1 % de Ni à Cerro Matoso.

- [Jinchuan](#) (Chine) a produit, en 2011, 60 000 t de nickel contenu dans les minerais.

- [Eramet](#) (France) a produit, en 2015, 53 000 t de nickel contenu dans les minerais, voir ci-dessous.

- [Sherritt International](#), a produit, en 2015, 35 761 t de nickel et 3 253 t de cobalt. La société exploite des limonites, à Cuba au travers de Moa, joint venture 50/50 avec General Nickel Company, groupe d'état cubain et à Madagascar, près de Moramanga, dans le centre-est du pays, à travers la société [Ambatovy](#), détenue à 40 % par Sherritt, 32,5 % par Sumitomo Corporation et 27,5 % par Korea Resources Corporation. En 2015, la production de Moa a été de 33 706 t de nickel, dont 16 853 t pour Sherritt et de 3 734 t de cobalt dont 1 867 t pour Sherritt. La production d'Ambatovy a été de 47 271 t de nickel dont 18 908 t pour Sherritt et de 3 464 t de cobalt dont 1 386 t pour Sherritt. Les réserves prouvées et probables de Moa sont de 60,48 millions de t de minerai renfermant 1,15 % de Ni, 0,12 % de Co et 43,8 % de Fe. Celles de Ambatovy sont de 180,7 millions de t de minerai renfermant 0,84 % de Ni et 0,07 % de Co.

Le gisement de Ambatovy couvre une surface de 1 600 ha, à une profondeur de 20 à 100 m.

Exploité à ciel ouvert, sans explosifs car la roche est très friable, le minerai conditionné sous forme de pulpe est acheminé, avec un débit de 826 t/h, en 30 heures, par un pipeline, d'un diamètre de 60 cm, sur 220 km jusqu'à la raffinerie de Toamasina sur la côte est de l'île. La production a débuté en janvier 2014, avec une production prévue de 60 000 t/an de nickel et 5 600 t/an de cobalt.

- [Anglo American](#) (Royaume Uni) a produit, en 2015, 30 300 t de nickel contenu dans les minerais.

Réserves mondiales : en milliers de t, en 2015. Monde : 79 000.

Australie	19 000	Indonésie	4 500
Brésil	10 000	Afrique du Sud	3 700
Nouvelle Calédonie	8 400	Philippines	3 100
Russie	7 900	Chine	3 000
Cuba	5 500	Canada	2 900

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 2015.

- La production a été de 185 965 t en nickel contenu dans 14,293 millions de t de minerai (9,367 millions de t de saprolites contenant 144 199 t de Ni et 4,926 millions de t de latérites contenant 41 766 t de Ni). Les exportations de minerai ont été de 5,520 millions de t (4,467 millions de t de saprolites et 1,053 million de t de latérites). Ces dernières ont été exclusivement exportées vers l'Australie. 2,739 millions de t de saprolites ont été exportées vers la Corée du Sud et 1,728 million de t vers le Japon.

- 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 53 369 t de Ni contenues dans 2,9 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 2,47 %. Les réserves prouvées et probables de la société sont, en Nouvelle Calédonie, de 37,3 millions de t de saprolites contenant en moyenne 2,62 % de Ni et, en Indonésie, de 122,3 millions de t de saprolites contenant, en moyenne, 1,72 % de Ni et 0,04 % de Co et de 52,9 millions de t de limonites renfermant 1,26 % de Ni et 0,17 % de Co.

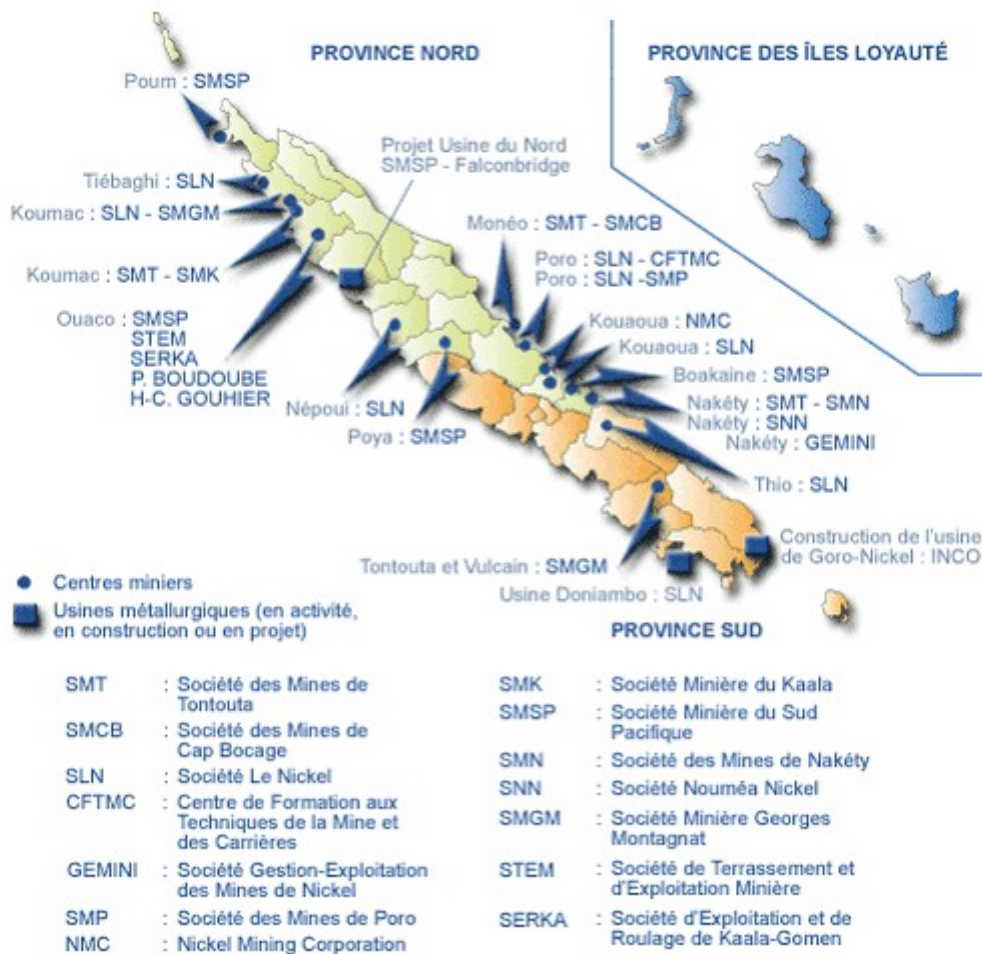
- La Société Minière du Sud Pacifique (SMSP), détenue par la Province Nord qui exploite en association avec le groupe sud-coréen Posco (SMSP : 51 % - Posco : 49 %) les mines de Ouaco, Poya, Nakety et Kouaoua a produit, en 2013, 1,9 million de t de minerai de garniérite destinées à alimenter principalement 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 et, en 2015, la production a été de 9 100 t de Ni contenu dans du ferronickel.

- 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^{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 1^{er} 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 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. Eramet envisage d'arrêter la production de mattes et d'augmenter celle de ferronickel.

Usine du Nord, à Koniambo : elle a démarré en 2014, avec une production, en 2015, de 9 100 t de nickel contenu dans du ferronickel et une capacité prévue de 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 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 tributylphosphate. 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 (Cr^{3+} , Mg²⁺, Al³⁺, Cu²⁺...) par résines et charbon actif.

- Électrolyse de la solution de Ni^{2+} : 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.

En 2015, la production de l'usine de Goro a été de 30 730 t de nickel contenu dans l'hydroxyde et les sels de nickel et de 1 538 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 2015, recyclage de 101 900 t qui représentent 45 % 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 : 1 988, Union européenne (hors Nouvelle-Calédonie), en 2013 : 117.

Chine	690	Norvège	90
Russie	239	Brésil	80
Japon	178	Nouvelle Calédonie	62
Canada	150	Finlande	43
Australie	138	Colombie	41

Source : Eramet

En Chine, en 2015, les importations de ferronickel ont été de 653 410 t, renfermant 123 000 t de nickel, à 33 % d'Indonésie, 15 % de Nouvelle Calédonie, 11 % du Japon,, 10 % de Colombie. Celles de nickel brut ont été de 303 422 t à 64 % de Russie, 9 % du Canada.

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, en 2014, la production de cobalt provient, à 50 %, de mines de nickel, 44 % de mines de cuivre et seulement pour 6 % de mines de cobalt.

Producteurs : en 2015, en milliers de t.

<u>Vale</u> (Canada, Royaume Uni, Japon, Nlle Calédonie)	291	<u>BHP-Billiton</u> (Australie)	81
<u>Norilsk</u> (Russie, Finlande)	266	<u>Sumitomo</u> (Japon)	74
<u>Jinchuan</u> (Chine)	140	<u>Eramet</u> (France, Nouvelle Calédonie)	53
<u>Glencore</u> (Norvège, Australie, Nlle Calédonie)	96	<u>Sherritt International</u> (Cuba, Madagascar)	36

Source : Eramet ou rapports des sociétés

- 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, au Royaume Uni, à Clydach, au Pays de Galles, avec 40 000 t/an.

- 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 2015, les productions de Norilsk Nickel ont été de 266 406 t de nickel, 369 426 t de cuivre, 83,6 t de paladium, 20,4 t de platine.

- 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 2015, une production de 9 100 t de Ni contenu dans du ferronickel et exploite, en Australie, la raffinerie de Murin Murin, avec, en 2015, une production de 37 500 t de Ni.

Situation française : en 2015.

- Production métallurgique (en Ni contenu) :

- Ferronickel : en Nouvelle-Calédonie, avec 46 613 t à Doniambo et 9 100 t à Koniambo. La production est totalement exportée.
- Mattes : 6 761 t, à Doniambo, en Nouvelle-Calédonie. La production est destinée à l'usine Eramet de Sandouville.
- Hydroxyde de nickel : 9 686 t, à Goro, en Nouvelle Calédonie.
- Oxyde de nickel : 21 044 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 : 95 638 t pour une production de 93 977 t.

UTILISATIONS :

Consommations : en 2015. Monde : 1 890 000 t dont, en 2014, 970 000 t en Chine, 380 000 t dans l'Union européenne, 226 000 t aux Etats-Unis, en 2015, 132 000 t au Japon.

Répartition de la consommation : en 2015, dans le monde.

Aciers inoxydables (8 à 12 % Ni)	67 %	Aciers alliés et fonderie (< 4 % Ni)	6 %
Alliages de Ni (25 à 100 % Ni)	8 %	Superalliages	5 %
Galvanoplastie	7 %	Batteries	3 %

Source : rapport d'activité de Norilsk

- 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 m² 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 m.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 du [dihydrogène](#).

- 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.