

# Nickel 2023

## 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](#). Par exemple, en 2020, 60 % du cobalt extrait provient de mines de cuivre, 38 % de mines de nickel et 2 % de la mine de cobalt de Bou Azzer. 6,7 % des revenus des exploitations minières de nickel proviennent du cobalt, 1,3 % provient du cuivre. Dans le monde, en 2011, la production de nickel a donné une coproduction de 98 000 t de cobalt, 472 t de platinoïdes, 10 t de [scandium](#).

Deux principaux types de minerais se partagent l'approvisionnement en nickel primaire : les minerais sulfurés et les minerais oxydés. En 1990, la part des minerais sulfurés était de 70 %, celle des minerais oxydés de 30 %. En 2009-2010, les parts étaient sensiblement égales. En 2022, les proportions sont inversées, 30 % pour les minerais sulfurés, 70 % pour les minerais oxydés.

## Minerais sulfurés

Ils se présentent sous forme de pentlandite,  $(\text{Ni,Fe})_9\text{S}_8$ , associée, en général, à de la pyrrhotite ( $\text{Fe}_7\text{S}_8$ ), de la pyrite ( $\text{FeS}_2$ ) et de la [chalcopyrite](#) ( $\text{CuFeS}_2$ ). Les exploitations minières sont, en général, souterraines. Ces gisements se sont formés, sauf pour le gisement de Sudbury, au Canada, après l'intrusion d'un magma au travers de la croûte terrestre, par cristallisation fractionnée. Le [gisement de Sudbury](#) est un cas particulier car il résulte, il y a 1,85 milliard d'années, de l'impact d'une météorite de 10 à 15 km de diamètre suivi de la fusion de la croûte terrestre. Les zones exploitées sont situées sur le bord extérieur d'un anneau de 60 x 30 km. La découverte du gisement date de 1883 lors de la construction du chemin de fer du Canadien Pacifique traversant le pays.

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, après broyage, par séparation magnétique puis 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, en Afrique Australe, en Finlande.

- En Russie, la production est principalement assurée par la société [Nornickel](#) dans des complexes miniers et métallurgiques, situés dans la presqu'île de Tâïmyr, en Sibérie occidentale, et dans la presqu'île de Kola, proche de la frontière norvégienne.
  - Les gisements de Ni-Cu-platinoïdes de Nornickel, dans la presqu'île de Tâïmyr, sont regroupés dans la Polar division et la Medvezky Ruchey. Situés dans 2 zones avec 9 mines en exploitation, 8 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'Oktyabrsky (zone de Talnakh) qui s'étend sur une surface de 3x1 km avec une épaisseur moyenne de 30 m. En 2023, la production a été de 19,2 millions de t de minerai possédant une teneur moyenne de 1,14 % de Ni, 1,98 % de Cu et 6,48 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 84,7 % pour Ni, 96,2 % pour Cu et 85,3 % pour les platinoïdes lors de la concentration du minerai

brut et de 94,9 % pour Ni, 95,6 % pour Cu et 96,7 % pour les platinoïdes lors des opérations métallurgiques d'obtention des produits finis. Les concentrés miniers contenant le nickel sont transformés sur place en mattes qui sont traitées dans la presqu'île de Kola ou à la raffinerie de Harjavalta, en Finlande. Les réserves prouvées et probables sont de 1 203 millions de t de minerai à 0,71 % de Ni, 1,31 % de Cu, 3,43 g/t de Pd, 0,93 g/t de Pt, 0,19 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 obtenue à partir de l'extraction de 7,2 millions de t de minerai contenant 0,52 % de Ni, 0,22 % de Cu et 0,08 g/t de platinoïdes. Les réserves prouvées et probables sont de 64 millions de t de minerai à 0,63 % de Ni, 0,32 % de Cu, 0,03 g/t de Pd, 0,02 g/t de Pt, 0,01 g/t de Au.
- Au total, en 2023, la production a été de 209 000 t de Ni, 425 000 t de Cu (dont 68 958 t provenant du gisement de Bystrinskoye exploité par la division de Trans Bakal), 83,7 t de Pd et 20,7 t de Pt.
- 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 2023, la production des 5 mines souterraines de Sudbury exploitées par [Vale](#) a été de 3,422 millions de t de minerai contenant 1,4 % de Ni, 1,8 % de Cu, du cobalt, des platinoïdes, de l'or, de l'argent... En 2023, les productions ont été de 38 200 t de Ni, 57 900 t de Cu, 365 t de Co, 3,9 t de Pt, 4,6 t de Pd, 1,4 t d'or. Les réserves prouvées et probables sont de 75,1 millions de t de minerai contenant 1,42 % de Ni, 1,37 % de Cu, 0,04 % de Co, 0,84 g/t de Pt, 1,0g/t de Pd, 0,32 g/t d'or.
  - La production par [Vale](#) de la mine souterraine de Thompson a été de 682 000 t de minerai contenant 1,9 % de Ni, 0,1 % de cuivre et du cobalt, soit une production de 7 900 t de Ni, 4 700 t de Cu et 94 t de Co. Les réserves prouvées et probables étaient, en 2015, 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, à Terre Neuve, qui a reçu les premiers concentrés en mai 2015 et qui traite totalement la production de Voisey's Bay depuis fin 2017. Le gisement a été acquis, en août 1996, par la société Inco absorbée depuis par Vale. En 2023, la production a été de 1,760 million de t de minerai contenant 0,8 % de Ni, 0,5 % de Cu et du cobalt soit une production de 13 500 t de Ni, 10 800 t de Cu et 637 t de Co. Ses réserves prouvées et probables sont de 31,1 millions de t de minerai à 1,80 % de Ni, 0,82 % de Cu, 0,12 % de Co.
  - La production des mines canadiennes de [Glencore](#) a été, en 2023, de 39 300 t de nickel, 13 700 t de cuivre, 400 t de cobalt, 6,9 t d'argent, 0,3 t d'or, 2,0 t de palladium, 0,7 t de platine, 93 kg de rhodium. Les réserves prouvées et probables des mines canadiennes sont de 28,8 millions de t de minerai renfermant 1,96 % de Ni, 0,81 % de Cu, 0,05 % de Co, 0,56 g/t de Pt et 0,90 g/t de Pd.

## Minerais oxydés

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](#) et sont humides avec une teneur en eau d'environ 25 %. On distingue :

- Les minerais silicatés (saproplites) 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 fer et du cobalt. 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, filiale de [Nippon Steel](#)), voir ci-dessous la situation française. Le minerai extrait est transformé, en Nouvelle Calédonie, en ferronickel, voir le chapitre métallurgie ou exporté.
  - La [Société Minière du Sud Pacifique](#) (SMSP), détenue à 87 % par la Province Nord et 5 % par les îles Loyauté possède 51 % de 2 sociétés :
    - [Nickel Mining Company](#) (NMC), 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 production est de 3,6 millions de t/an d'un minerai à 1,89 % de Ni, afin de produire 54 000 t/an de ferronickel.
    - La société [Koniambo Nickel](#), en association avec le groupe [Glencore](#) (SMSP : 51 % – Glencore : 49 %) exploite le massif de Koniambo dont les réserves prouvées et probables sont de 37,2 millions de t de minerai contenant 2,20 % de Ni. Un convoyeur de 11 km achemine le minerai jusqu'à l'usine métallurgique de production de ferronickel. La production de ferronickel a débuté en 2014 avec, en 2023, une production de 27 100 t de Ni contenu dans du ferronickel. La capacité prévue est de 60 000 t/an. En février 2024, la production a été suspendue et Glencore a annoncé vouloir vendre ses parts.
- Les limonites dans lesquelles Ni se substitue au fer dans la goethite ( $\text{FeOOH}$ ). Appelées latérites, en Nouvelle Calédonie, ce sont des minerais pauvres qui contiennent de 1 à 1,5 % de Ni et du fer (40 à 50 %), du [cobalt](#) (0,1 à 0,2 %), et du [chrome](#) (2 à 5 %). Ils sont également exploités en Indonésie, Philippines, 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, la SMSP ou par Prony Resources à Goro. La production, destinée à être traitée par hydrométallurgie ou par pyrométallurgie pour donner du ferronickel de basse teneur, est exportée ou transformée sur place, pour donner de l'hydroxyde mixte de nickel et cobalt 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 fonte de nickel ou « nickel pig iron (NPI) » ou encore « nickel basic feed ». En 2023, la production chinoise de « nickel pig iron » a été de 400 000 t en Ni contenu, celle de l'Indonésie de 1,3 million de t.

- En Nouvelle Calédonie, l'usine de Goro (95 % [Vale](#), 5 % STCPI (Société de Participation Minière du Sud Calédonien)) exploitait un tel gisement. La production a débuté en 2010, avec, en 2020, une production de 1,690 million de t de minerai renfermant 1,50 % de Ni et ayant donné 31 000 t de Ni et 2 198 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. En 2021, l'usine a été vendue à la société [Prony Resources](#) détenue à 30 % par la SPMSC regroupant les provinces nord et sud et à 19 % par [Trafigura](#). La production a été réorientée avec celle de NHP (Mixed Hydroxide Precipitate), produit intermédiaire d'hydroxyde mixte de nickel et cobalt destiné à la production de batteries. En 2023, la production a été de 31 741 t de Ni contenu.
- La société [Le Nickel-SLN](#), a obtenu l'autorisation d'exporter 4 millions de t/an de tels minerais. En 2023, les exportations ont porté sur 2,7 millions de t de minerais.
- Le groupe [Eramet](#) a pris, en 2006, le contrôle de la société Weda Bay Minerals détenue à 90 % par Strand Minerals et 10 % PT Antam qui prévoit l'exploitation du gisement d'Halmahera, en Indonésie. En 2017, après le retrait, dans Strand Minerals de Mitsubishi et PamCo, le projet d'exploitation a été reconfiguré en se limitant à la production de ferronickel avec l'entrée au capital de Strand Minerals du groupe chinois [Tsingshan](#) premier producteur mondial d'aciers inoxydables, la participation d'Eramet étant de 43 %, celle de Tsingshan de 57 %. En octobre 2019, la production minière a débuté et en avril 2020 celle de ferronickel. En 2023, la production a été de 33,2 millions de t de minerais (première mine mondiale) et de 33 400 t de Ni contenu dans du ferronickel basse teneur, avec 12 à 15 % de Ni. Les réserves prouvées et probables sont de 743,1 millions de t de saprolites contenant, en moyenne, 1,29 % de Ni et 0,04 % de Co et de 428 millions de t de limonites renfermant 1,04 % de Ni et 0,17 % de Co.

## Productions minières

### Production minière de nickel

*En milliers de t de nickel contenu, en 2023, sur un total mondial de 3,674 millions de t.*

Indonésie	2 013	Chine	114
Philippines	393	Canada	112
Nouvelle Calédonie	234	Brésil	76
Russie	210	Cuba	42
Australie	151	Guatemala	15

*Source : Eramet, INSG*

En 2021, 33 pays produisaient des minerais de nickel, ils étaient 24, en 2005. En 2019, la production de l'Union européenne est de 54 000 t dont 40 000 t en Finlande et 14 000 t en Grèce.

### Commerce international :

Principaux pays exportateurs, en 2023 : sur un total de 50,938 millions de t de minerais et concentrés.

en milliers de t de minerais et concentrés

Philippines	40 442	Côte d'Ivoire	2 016
-------------	--------	---------------	-------

Nouvelle Calédonie 6 675    Guatemala    922

Source : ITC

Les exportations des Philippines sont destinées à 99 % à la Chine.

Principaux pays importateurs : en 2023.

en milliers de t de minerais et concentrés

Chine	44 658	Indonésie	374
Corée du Sud	3 036	Macédoine du Nord	237
Japon	1 123	Finlande	123

Source : ITC

Les importations de la Chine proviennent à 86 % des Philippines, 7 % de Nouvelle Calédonie. Entre janvier 2014 et janvier 2017, l'Indonésie qui était le principal fournisseur de la Chine a interdit l'exportation de minerais afin de développer, dans le pays, sa valorisation. Depuis janvier 2017, l'Indonésie a assoupli cette interdiction mais l'a rétabli à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2020.

**Principaux producteurs** : en tonnes de Ni contenu.

- [Nickel Asia Corporation](#) a produit, aux Philippines, en 2019, 282 812 t de nickel contenu dans des minerais de 5 mines. En 2022, les ventes ont été de 15,930 millions de t de minerai humide dont 8,150 millions de t exportées en Chine et au Japon et 7,790 millions de t de limonites livrées aux usines hydrométallurgiques de Coral Bay et Taganito pour produire du sulfate de nickel et cobalt.
  - La mine de Rio Tuba, dans l'île de Palawan, détenue à 60 %, a produit 1,491 million de t de saprolites à 1,42 % de Ni et 2,668 millions de t de limonites à 1,03 % de Ni livrées à l'usine hydrométallurgique de Coral Bay,
  - La mine de Taganito, au nord de l'île de Mindanao, détenue à 65 %, a produit 3,233 millions de t de saprolites à 1,43 % de Ni et 4,703 millions de t de limonites à 1,08 % de Ni livrées à l'usine hydrométallurgique de Taganito,
  - La mine de Hinatuan, au nord de l'île de Mindanao, a produit 917 266 t de saprolites à 1,31 % de Ni et 495 153 t de limonites à 0,84 % de Ni.
  - La mine de Cagdiano, dans l'île de Dinagat, a produit 1,502 million de t de saprolites à 1,39 % de Ni et 512 520 t de limonites à 1,12 % de Ni.
  - La mine de Dinapigue, au nord de l'île de Luçon, qui est entrée en activité en 2021 a produit 160 462 t de saprolites et 175 342 t de limonites à 1,07 % de Ni.

Les réserves prouvées et probables sont de 120 millions de t de saprolites renfermant 1,42 % de Ni et 13,79 % de Fe et de 153 millions de t de limonites renfermant 1,04 % de Ni et 43,06 % de Fe.

- [Nornickel](#) (Russie) a produit, en 2023, 209 000 t de nickel. Hors de Russie, en Afrique du Sud, la mine de Nkomati, détenue à 50 % en association avec [African Rainbow Minerals](#), est depuis mars 2021 à l'arrêt.
- [Vale](#) (Brésil) a produit, en 2023, 164 900 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 44,33 %, et une production, en 2023, de 64 100 t de Ni, Onça Puma, au Brésil dans l'État de Pará, avec une production de 17 000 t de Ni. Goro, en Nouvelle Calédonie, a été vendue en 2021.

- [Glencore](#) (Suisse) a produit, en 2023, 97 600 t de nickel :
  - dans des mines au Canada, à Sudbury (Ontario), ainsi qu'à Raglan (Nord du Québec) avec une production de 39 300 t de Ni, 13 700 t de Cu, 400 t de Co,
  - en Australie Occidentale, à Murrin Murrin avec une production de 31 100 t de nickel et 2 100 t de cobalt, les réserves prouvées et probables de Murrin Murrin étant de 90 millions de t de minerai renfermant 1,03 % de Ni et 0,09 % de Co,
  - et une participation de 49 % dans la société Koniambo Nickel, en Nouvelle Calédonie, avec une production de 27 200 t de Ni contenu dans du ferronickel et des réserves prouvées et probables de 35,5 millions de t renfermant 2,20 % de Ni.
- [BHP-Billiton](#) (Australie) a produit, en 2022-23, 80 000 t de nickel dans des gisements sulfurés en Australie occidentale à Mont Keith, Leinster et Cliffs. Les réserves prouvées et probables sont de 88 millions de t de minerai renfermant 0,57 % de Ni à Mont Keith, 8 millions de t renfermant 1,14 % de Ni à Leinster, 0,5 million de t renfermant 2,1 % de Ni à Cliffs, 7,6 millions de t renfermant 1,4 % de Ni à Venus et 151 millions de t renfermant 0,56 % de Ni pour la mine, en projet, de Yakabindie.
- [Jinchuan](#) (Chine), dans la province du Gansu, exploite un gisement sulfuré de nickel-cuivre, découvert en 1958, de 6,5×0,5 km, situé au pied du Mont Longshou avec une capacité de production de 150 000 t/an de nickel contenu dans les minerais. En 2020, la production a été de 77 000 t. Les réserves prouvées sont de 560 millions de t de minerai renfermant 6 millions de t de nickel, 3,9 millions de t de cuivre et de nombreux autres éléments métalliques tels que du cobalt, de l'argent, des platinoïdes... Exploite également des mines de latérites en Indonésie. Au total, les capacités de production sont de 230 000 t/an de Ni, 1,1 million de t/an de Cu, 17 000 t/an de Co, 10 t/an de platinoïdes, 30 t/an de Au, 600 t/an de Ag, 200 t/an de Se.
- [Eramet](#) (France) a produit, en 2023, en Nouvelle Calédonie, 2,8 millions de t minerai de saprolite destiné à l'usine de Doniambo afin de produire 44 800 t de Ni contenu dans du ferronickel et 2,7 millions de t de minerai latéritique destiné à l'exportation. Par ailleurs, la mine de Weda Bay dans laquelle Eramet détient une participation de 38,7 %, a donné 33,2 millions de t de minerais vendues aux producteurs locaux de NPI ou transformées par la société en NPI avec 33 400 t de Ni contenu.
- [Anglo American](#) (Royaume Uni) a produit, au Brésil, en 2023, 40 000 t de nickel contenu dans les minerais de saprolite. La production est réalisée sous forme de ferronickel, dans l'État de Goiás, à Barro Alto, avec le traitement de 2,476 millions de t de minerai renfermant 1,45 % de Ni et donnant 31 800 t de nickel et Niquelândia avec le traitement de 0,6 million de t de minerai renfermant 1,41 % de Ni et donnant 8 200 t de nickel. Les réserves prouvées et probables de Barro Alto sont de 58,5 millions de t de minerai renfermant 1,26 % de Ni, celle de Niquelândia de 6,2 millions de t renfermant 1,24 % de Ni. Anglo American récupère également une coproduction de nickel avec l'exploitation de ses mines de platine. Cela a représenté 21 800 t en 2023
- [South32](#) exploite les latérites à Cerro Matoso, en Colombie, avec, en 2023-24, le traitement de 2,774 millions de t de minerai sec renfermant 1,60 % de Ni. La production de nickel sous forme de ferronickel a été de 40 600 t. Les réserves prouvées et probables sont de 29 millions de t à 1,1 % de Ni.
- [Sherritt International](#), a produit, en 2023, 14 336 t de nickel et 1 438 t de cobalt. La société exploite des limonites, au sud de l'île de Cuba, dans la province de Holguín, au travers de Moa, joint venture 50/50 avec General Nickel Company, groupe d'État cubain. Exploiteait un

gisement, à Madagascar, près de Moramanga, dans le centre-est du pays, à travers la société [Ambatovy](#), détenue à 12 % par Sherritt, 47,7 % par Sumitomo Corporation et 40,3 % par Korea Resources Corporation. En 2020, cette participation a été vendue. Les réserves prouvées et probables de Moa sont de 114,1 millions de t de minerai renfermant 1,01 % de Ni, 0,12 % de Co et 43,8 % de Fe.

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.

### Réserves minières de nickel

*En milliers de t de nickel contenu, en 2023, sur un total mondial de plus de 130 millions de t.*

Indonésie	55 000	Cuba, en 2020	5 500
Australie	24 000	Philippines	4 800
Brésil	16 000	Chine	4 200
Russie	8 300	Afrique du Sud, en 2018	3 700
Nouvelle Calédonie	7 100	Canada	2 200

*Source : USGS*

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

### Situation Calédonienne : en 2023.

La production a été de 19,049 millions de t de minerai renfermant 231 217 t de nickel (13,762 millions de t de saprolites contenant 187 226 t de Ni et 5,287 millions de t de latérites contenant 43 991 t de Ni).

Les exportations de minerai ont porté sur 7,787 millions de t destinées à 52 % à la Chine, 38 % à la Corée du Sud et 9 % au Japon.

En nickel contenu elles ont porté sur 102 858 t destinées à 49 % à la Chine, 42 % à la Corée du Sud et 10 % au 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 2,8 millions de t de minerai de saprolite destinées à l'usine métallurgique de Doniambo et de 2,7 millions de t exportées. La teneur moyenne des minerais, après enrichissement est de 2,47 %. Les réserves prouvées et probables de la société sont, en Nouvelle Calédonie, de 141,2 millions de t de saprolites contenant en moyenne 2,08 % de Ni destinées à l'usine de Doniambo et à l'exportation et 62,7 millions de t de latérites renfermant 1,47 % de Ni.
- [La Société Minière du Sud Pacifique](#) (SMSP), détenue par la Province Nord et les îles Loyauté exploite en association avec le groupe sud-coréen Posco (SMSP : 51 % – [Posco](#) : 49 % au travers de Nickel Mining Company (NMC)) les mines de Ouaco, Poya, Nakety et Kouaoua. Elle produit 3,6 millions de t/an 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 au travers de la Société du Nickel de Nouvelle-Calédonie et Corée (SNNC) et qui a débuté sa production en octobre 2008 avec une capacité portée

depuis à 54 000 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 de 60 000 t/an de Ni contenu dans du ferronickel. La production a débuté en 2014 et, en 2023, elle a été de 27 200 t de Ni contenu dans du ferronickel. En février 2024, la production a été suspendue et Glencore a annoncé vouloir vendre ses parts.

- La société [Prony Resources](#) détenue à 30 % par la SPMSC regroupant les provinces nord et sud et à 19 % par [Trafigura](#) exploite la mine de Goro. La production a été réorientée avec celle de NHP (Mixed Hydroxide Precipitate), produit intermédiaire d'hydroxyde mixte de nickel et cobalt destiné à la production de batteries. En 2023, la production a été de 31 741 t de Ni contenu. La mine a été acquise, en 2021 auprès de Vale qui l'exploitait 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

A partir de minerais sulfurés ou de minerais oxydés, les transformations métallurgiques de ces minerais conduisent à deux types de produits :

- Des produits de nickel de classe I, d'une pureté supérieure à 99,8 %, sous forme de cathodes ou « carrés » de nickel, de poudre de nickel, de sulfate, d'oxyde ou d'hydroxyde. En 2023, ces produits représentent 28 % de la production primaire de nickel. Ils sont obtenus à 60 % à partir de minerai sulfurés.
- Des produits de classe II, d'une pureté inférieure à 99,8 %, sous forme principalement de ferronickel classique à 25 % de Ni mais aussi de nickel pig iron (NPI), ferronickel renfermant environ 10 % de Ni. En 2023, ces produits représentent 72 % de la production primaire de nickel.

Formes de commercialisation du nickel : répartition, en 2023.

Les produits de teneur élevée en nickel représentent 1,4 million de t de Ni contenu, ceux de basse teneur, 3 millions de t.

NPI	50 %	Ferronickel	9 %
Métal	26 %	Oxyde	1 %
Composés	14 %		

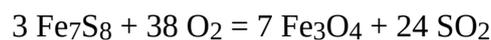
Source : [Nornickel](#)

## Pour les minerais sulfurés

### Procédé pyrométallurgique puis hydrométallurgique

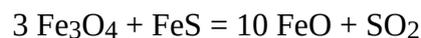
C'est le principal procédé utilisé pour traiter les concentrés de minerais sulfurés. Il consiste dans un traitement pyrométallurgique donnant une matte de nickel constituée principalement de sulfure de nickel suivi d'un traitement hydrométallurgique donnant du nickel pur. Un traitement par vapométallurgie peut également être employé.

**Grillage partiel** des concentrés vers 600-700°C, généralement en lit fluidisé : l'oxydation sélective et partielle des sulfures de fer, présents à des teneurs élevées systématiquement dans tous les minerais sulfurés, donne, en phase solide, un mélange de sulfures de nickel, cuivre, cobalt, de sulfure de fer résiduel et d'oxyde de fer. La principale réaction se produisant à ce stade est l'oxydation de la pyrrhotite selon l'équation chimique suivante :

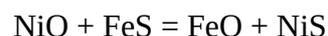


Le fer ayant plus d'affinité pour l'oxygène que, dans l'ordre, le cobalt, le nickel et le cuivre, les autres éléments sont protégés d'une transformation en oxydes par un apport limité en dioxygène. La réaction de grillage étant fortement exothermique, l'alimentation en concentré est contrôlée afin de maintenir une température comprise entre 600 et 700°C et, en général, un apport de combustible n'est pas nécessaire. Le produit obtenu est appelé calcine.

**Fusion** : dans des fours électriques à arc immergé, vers 1200°C, la calcine fond, l'oxyde de fer  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  est réduit en  $\text{FeO}$  par le sulfure de fer résiduel selon la réaction simplifiée suivante :



L'ajout d'un laitier siliceux provenant de l'opération suivante de conversion permet d'y dissoudre l'oxyde de fer et ainsi de l'extraire de la matte fondue sous forme de silicate de fer, en émulsionnant le mélange afin d'assurer un contact intime entre la matte et le laitier. Par ailleurs, les oxydes de nickel, cuivre et cobalt formés lors de l'opération suivante de conversion et se trouvant dans le laitier sont ainsi récupérés et repassent dans la matte selon la réaction suivante pour le nickel :



Le silicate de fer n'étant pas miscible dans la matte fondue, contrairement à l'oxyde de fer, les deux liquides se séparent par décantation en formant, après émulsion, à la surface de la matte liquide une couche liquide de laitier, sa densité étant de 2,8 à 3,8 alors que celle de la matte est de 4,8 à 5,6. La matte obtenue à ce stade à la composition moyenne suivante : 16 % de Ni, 1 % de Cu, 58 % de Fe et 25 % de S.

La fusion peut aussi être réalisée dans des fours flash-smelting dans lesquels le grillage et la fusion sont successivement opérés. La chaleur apportée par le grillage étant utilisée pour la fusion.

**Conversion** : à une température d'environ 1200°C, la matte liquide est oxydée par de l'air ou du [dioxygène](#) dans des convertisseurs de type Pierce-Smith. La principale réaction est l'oxydation du sulfure de fer en oxyde en fer qui en présence d'un laitier de silice se dissout dans celui-ci. La quantité de dioxygène soufflée dans la matte est limitée afin d'éviter au maximum l'oxydation des sulfures de nickel, de cuivre et de cobalt. La faible quantité d'oxydes de nickel, cuivre et cobalt formée est récupérée lors du recyclage du laitier dans l'opération précédente de fusion. La composition obtenue est la suivante : 75 % de Ni, 3 % de Cu, 1 % de Fe et 20 % de S.

**Traitement hydrométallurgique de la matte de nickel** : les mattes de nickel quel que soit le procédé utilisé pour les obtenir ont sensiblement la même composition et leurs traitements, pour obtenir le nickel pur, sont identiques. Voir ci-dessous l'affinage hydrométallurgique des mattes lors du traitement des minerais oxydés.

**Traitement vapométallurgique** : un traitement de carbonylation, procédé Mond, avec du monoxyde de carbone est employé par Vale dans ses raffineries de Sudbury, au Canada, et de Clydach, au Royaume Uni, pour produire du nickel. Il consiste à réduire de l'oxyde brut de nickel par du [dihydrogène](#) puis de purifier le nickel obtenu à l'aide de monoxyde de carbone qui vers 50-60°C, ne réagit qu'avec le nickel en donnant du tétracarbonyle de nickel gazeux  $\text{Ni}(\text{CO})_4$ . Ce dernier se décompose vers 220-250°C en donnant du nickel de grande pureté.

#### **Procédé hydrométallurgique**

Nous décrivons le procédé utilisé par Vale dans son usine de Long Harbour, à Terre Neuve, pour traiter le minerai de Voisey's Bay. Ce procédé, en milieu [acide chlorhydrique](#) et [dichlore](#) en solution, consiste en une lixiviation à chaud, sous pression, suivie d'une série de purifications par extractions par solvants organiques et se terminant par une électrolyse d'une solution de nickel purifiée.

Les concentrés en présence de la solution acide provenant de l'électrolyse finale de production de nickel subissent un prétraitement à l'aide de dichlore provenant également de l'électrolyse finale, puis l'ensemble est introduit, avec ajout de [dioxygène](#), dans un autoclave, sous pression, à chaud. Une première élimination des composés insolubles est réalisée par décantation. Une deuxième purification est réalisée avec l'extraction par solvant des ions  $\text{Cu}^{2+}$  qui après déextraction donnent par électrolyse du [cuivre](#). Une troisième purification à l'aide de [sulfure d'hydrogène](#) permet d'éliminer le [cadmium](#), ainsi qu'une grande partie du fer, par précipitation des sulfures correspondants. Cette purification est suivie par l'élimination des ions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  résiduels,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  résiduels,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  à l'aide d'une nouvelle extraction par solvant. Une dernière purification par extraction par solvant des ions  $\text{Co}^{2+}$ , déextraction puis électrolyse donnant du [cobalt](#), donne une solution purifiée d'ions  $\text{Ni}^{2+}$  qui par électrolyse donne du nickel. La solution, acidifiée lors de l'électrolyse, après la récupération d'environ la moitié des ions  $\text{Ni}^{2+}$  contenus, retourne en aval du procédé pour dissoudre les concentrés, ainsi que le dichlore produit lors de l'électrolyse.

D'autres procédés, comme le procédé Sherritt, ont utilisé de l'[ammoniac](#), sous pression.

#### **Pour les minerais oxydés**

##### **Procédé pyrométallurgique**

Nous décrivons l'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. Depuis le 10 août 2016 la production de matte à Doniambo est arrêtée.

**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.

Les fours Demag sont constitués d'une cuve de 33 m de long, 13 m de large, 5,5 m de haut. Leur puissance nominale peut atteindre 75 MW et ils utilisent 6 électrodes de 1,4 m de diamètre. Le rendement est de 97 % et la consommation électrique de 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) : la société Eramet est le 1<sup>er</sup> producteur mondial de ferronickel de haute teneur.

Lors de la désulfuration et le soufflage de [O<sub>2</sub>](#) pour maintenir le métal en fusion, une partie du silicium est oxydée. On obtient des 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.

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

On réalise une sulfuration et un déferrage par injection de [soufre](#) liquide. On obtient une « matte synthétique » (10 à 15 % de S) dans des convertisseurs Pierce-Smith de 60 t, puis un soufflage d'air et l'ajout de [SiO<sub>2</sub>](#) donne 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 de l'usine de Doniambo :

- C'est une usine de la société Le Nickel-SLN, du groupe Eramet. Elle a été construite en 1910, son effectif est de 1 400 personnes.
- Elle 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.
- La consommation de minerai brut est de 3 à 4 millions de tonnes par an.
- Les capacités de production sont de 75 000 t/an de Ni contenu dans du ferronickel. Depuis le 10 août 2016 et l'arrêt de la production de mattes toute la production est sous forme de ferronickel. Depuis le début de la production, en 1880, celle-ci a été de 1 million de t de mattes.
- La totalité des mattes était exportée vers la métropole pour être transformée à Sandouville.

Autre exemple, l'usine du Nord, à Koniambo : elle a démarré en 2014, avec une production, en 2022, de 25 400 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 [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 tributylphosphate. La solution de FeCl<sub>3</sub> est recyclée, l'excès commercialisé est utilisé dans le [traitement de l'eau potable](#).
- Extraction du cobalt par du tri-iso-octylamine. Co est récupéré sous forme de chlorure de cobalt.
- 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 de l'usine de Sandouville :

- Exploitée par [Sibanye Stillwater](#). L'usine date de 1978, son effectif est de 180 personnes. En novembre 2021, Eramet a annoncé la vente à [Sibanye Stillwater](#) de cette usine qui est devenue effective le 4 février 2022. En 2023, la production a été de 5 714 t de nickel métal, 1 411 de Ni contenu dans des sels, 127 t de Co contenu dans du chlorure et 1 214 t de chlorure ferrique.
- Elle traite des mattes et produit du nickel de haute pureté, des sels de nickel et de cobalt. Depuis l'arrêt, le 10 août 2016, de la production de mattes dans l'usine de Doniambo, en Nouvelle Calédonie, l'approvisionnement est réalisé par des mattes finlandaises provenant de l'usine de [Boliden](#) à Harjavalta.
- Les capacités annuelles de production sont de 12 000 t/an de Ni métal et 4 000 t/an de nickel contenu dans divers sels.
- Les produits suivants sont également obtenus (en capacités annuelles de production) : [Co](#) : 400 tonnes (sous forme de chlorure de cobalt), [FeCl<sub>3</sub>](#) : 3 000 t, [S](#) : 4 000 t.

### **Procédé hydrométallurgique**

Exemple de l'usine de Goro, qui était exploitée, jusqu'en 2021, par Vale, en Nouvelle Calédonie.

Le procédé (HPAL : High Pressure Acid Leach) 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<sup>2+</sup> et Co<sup>2+</sup>, 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 :  $Ni^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  et  $Ca^{2+}$ . Une extraction par solvant permet de récupérer simultanément Ni, Co et Zn qui sont déextraits 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 2020, la production de l'usine de Goro a été de 31 000 t de nickel contenu dans de l'hydroxyde et de l'oxyde de nickel et de 2 198 t de cobalt contenu dans son carbonate. L'oxyde peut ensuite être réduit en nickel à l'aide de [dihydrogène](#).

Le procédé hydrométallurgique a été développé par [Sherritt International](#) pour traiter, depuis 1960, les minerais cubains dans sa raffinerie de Fort Saskatchewan, au Canada, et depuis 2014 les minerais malgaches.

Il est utilisé par [Sumitomo Metal Mining Company](#) (SMMC), pour le traitement de minerais latéritiques des Philippines, avec la société [Coral Bay Nickel Corporation](#), proche de la mine de Rio Tuba, dans l'île de Palawan. La société détenue à 54 % par SMMC, 18 % par Sojitz, 18 % par Mitsui et 10 % par Nickel Asia Corporation, créée en 2005, possède une capacité de production de 24 000 t/an de sulfate de nickel et de cobalt avec une teneur de 57 % de Ni et 4 % de Co qui est raffiné, au Japon, à Niihama. En 2013, une nouvelle usine est entrée en production, à Taganito, au nord de l'île de Mindanao, pour traiter, en partie, le minerai de la mine proche, avec une capacité de production de 51 000 t/an de sulfate de nickel et de cobalt. La société Taganito HPAL Mining Corporation (THPAL) est détenue à 75 % par SMMC, 15 % Mitsui et 10 % Nickel Asia Corporation.

Il est également utilisé par [Glencore](#) pour traiter les minerais australiens de Murrin Murrin et par Ramu NiCo Management, détenu en partie par [Metallurgical Corporation of China](#) (MCC) pour traiter les latérites de Papouasie Nouvelle Guinée.

Eramet, en association (51 %-49 %) avec BASF, a le projet de construire, selon ce procédé une usine de production (Sonic Bay) sur le site de Weda Bay avec une capacité de 60 000 t/an de Ni et 6 000 t/an de Co.

La société [Queensland Nickel](#), en liquidation, dans sa raffinerie de Yabulu à Townsville, en Australie, utilisait une lixiviation à l'[ammoniac](#) suivie d'extractions par solvants. Le minerai latéritique était importé de Nouvelle Calédonie et des Philippines. Les capacités de production étaient de 76 000 t/an de Ni et 3 500 t/an de Co.

## 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 États-Unis, en 2023, recyclage de 80 000 t qui représentent 57 % de la consommation. Dans l'Union européenne, le taux de recyclage est de 45 %.

## Productions

En 2023, production primaire de Ni contenu dans Ni raffiné, les sels et les ferronickels. Monde : 3,204 millions de t. En 2019, la production de l'Union européenne est de 71 800 t, principalement en Finlande et en France.

en milliers de tonnes			
Indonésie	1 450	Canada	108
Chine	745	Norvège	93
Russie	121,5	Nouvelle Calédonie	69
Australie	115,5	Finlande	61
Japon	114,5	Brésil	58

Source : Eramet

## Commerce international de ferronickel : en 2023.

Principaux pays exportateurs : sur un total de 9,378 millions de t.

en milliers de t			
Indonésie	8 533	République Dominicaine	49
Nlle Calédonie	224	Japon	26
Brésil	212	Inde	23
Colombie	146	Birmanie	17
Corée du Sud	93	Macédoine du Nord	12

Source : ITC

Les exportations de l'Indonésie sont destinées pour 98 % à la Chine.

Principaux pays importateurs sur un total de 8,456 millions de t.

en milliers de t			
Chine	8 456	Italie	35
Inde	100	Espagne	34
Corée du Sud	78	Belgique	30
Taipei chinois	54	États-Unis	30
Pays Bas	38	Japon	25

Source : ITC

Les importations chinoises proviennent à 94 % d'Indonésie, 2 % de Nouvelle Calédonie.

## Commerce international de nickel brut : en 2023.

Principaux pays exportateurs : sur un total de 611 454 t.

en milliers de t			
Canada	100	Chine	37
Norvège	93	Madagascar	36
Russie	80	Afrique du Sud	31
Pays Bas	54	Royaume Uni	30
Finlande	43	Japon	25

Source : ITC

Les exportations canadiennes sont destinées à 49 % aux États-Unis, 14 % aux Pays Bas, 7 % à la Chine.

Principaux pays importateurs sur un total de 674 060 t.

en milliers de t

États-Unis	101	Belgique	42
Chine	95	Corée du Sud	36
Allemagne	55	France	36
Pays Bas	47	Italie	35
Japon	45	Inde	32

Source : ITC

Les importations des États-Unis proviennent du Canada à 49 %, de Norvège à 15 %, d'Australie à 11 %, d'Afrique du Sud à 8 %.

**Principaux producteurs** : en 2023. En % de la production mondiale de nickel primaire.

<a href="#">Tsingshan</a> (Chine)	19 %	<a href="#">Vale</a> (Canada, Royaume Uni, Japon...)	4 %
<a href="#">DeLong</a> (Chine)	10 %	Zoomwe (Chine)	4 %
<a href="#">Jinchuan</a> (Chine)	6 %	<a href="#">Shandong Xinhai</a> (Chine)	4 %
<a href="#">Nornickel</a> (Russie, Finlande)	5 %	Huayon (Chine)	3 %
<a href="#">Glencore</a> (Norvège, Australie, Nlle Calédonie)	5 %	Lygend (Chine)	3 %

Source : Nornickel

- [Tsingshan](#), premier producteur mondial d'aciers inoxydables, avec 10,65 millions de t en 2019 a produit, en 2019, 330 000 t de Ni. Exploite des gisements de minerais oxydés en Indonésie, à Morowali, dans l'île de Sulawesi et sur l'île de Halmahera, dans la province du Nord-Maluka, en association avec Eramet. Le minerai est transformé sur place en ferronickel de basse teneur (NPI) qui est exporté vers la Chine. A annoncé la construction, en Indonésie, d'une usine de fabrication de mattes de nickel, avec une capacité de 100 000 t/an, à partir de ferronickel basse teneur afin de produire du sulfate de nickel destiné principalement aux batteries.
- En Russie, les premières mattes de cuivre-nickel du complexe de [Nornickel](#) 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, Nornickel exploite la raffinerie de Harjavalta, en Finlande. En 2023, les productions de Nornickel ont été de 209 000 t de nickel, 425 000 t de cuivre, 83,7 t de palladium, 20,7 t de platine, le nickel raffiné étant produit dans la raffinerie de Monchegorsk dans la presqu'île de Kola et dans celle de Harjavalta, en Finlande. La raffinerie de nickel de la presqu'île de Tâïmyr a été fermée, en 2016, et la production traitée dans la presqu'île de Kola et à Harjavalta.
- [Jinchuan](#), a produit, en 2020, 200 000 t de nickel.
- [Vale](#), exploite des raffineries de nickel, sur les sites de production minière, au Canada, à Sudbury avec une capacité de production de nickel raffiné de 66 000 t/an et Long Harbour avec 50 000 t/an, en Nouvelle Calédonie, vendue en 2021, à Goro avec 57 000 t/an, au Brésil à Onça Puma, avec 27 000 t/an de Ni contenu dans du ferronickel, en Indonésie, à

Sorowako, avec 80 000 t/an de nickel contenu dans des mattes, mais également, au Japon, à Matsuzaka, détenue à 87,2 %, avec 60 000 t/an, à Taipei chinois, à Kaoshiung, avec 18 000 t/an, en Chine, à Dalian, détenue à 98,3 %, avec 32 000 t/an, au Royaume Uni, à Clydach, au Pays de Galles, avec 40 000 t/an. En 2018, la raffinerie de Thompson a été fermée et la production de la mine traitée à Sudbury et Long Harbour. En 2023, la production de 140 700 t de nickel a engendré une coproduction de 72 200 t de cuivre, 1 096 t de cobalt, 4,6 t de Pd, 3,9 t de Pt, 1,4 t d'or.

- [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 et une production, en 2023, de 39 100 t de nickel. Possède une participation de 49 % dans la société Koniambo Nickel, en Nouvelle Calédonie, avec, en 2023, une production de 27 200 t de Ni contenu dans du ferronickel et exploite, en Australie, la raffinerie de Murin Murin, avec, en 2023, une production de 31 100 t de Ni. La production de 97 600 t de nickel a entraîné une coproduction de 13 700 t de cuivre, 2 500 t de cobalt, 6,9 t d'argent, 2,0 t de Pd, 0,7 t de Pt, 0,09 t de Rh, 0,8 t d'or.
- [Shandong Xinhai Technology](#) consomme 6 millions de t/an de minerais latéritiques et possède une capacité de production de 500 000 t/an d'alliages de nickel.
- [Sumitomo Metal Mining Company](#) (SMMC) produit du sulfate de nickel et de cobalt, par hydrométallurgie aux Philippines, avec la société [Coral Bay Nickel Corporation](#), dans l'île de Palawan, avec une capacité de production de 24 000 t/an et avec la société Taganito HPAL Mining Corporation (THPAL) au nord de l'île de Mindanao, avec une capacité de production de 51 000 t/an. Le sulfate de nickel et de cobalt est raffiné au Japon, à Niihama et Harima. Par ailleurs, produit du ferronickel, à Hyuga.
- [BHP-Billiton](#) a produit, en 2022-23, 80 000 t de nickel via sa filiale Nickel West, en Australie occidentale, à Kalgoorlie qui produit des mattes raffinées à Kwinana, dans la banlieue de Perth.
- [Anglo American](#) a produit, en 2023, du ferronickel au Brésil, dans l'État de Goiás, à Barro Alto, avec 31 800 t de nickel contenu et Niquelândia avec 8 200 t de nickel contenu.
- [Eramet](#) produit du ferronickel à Doniambo, en Nouvelle Calédonie et à Weda Bay, en Indonésie. En 2023, a produit 44 400 t de nickel contenues dans du ferronickel en Nouvelle Calédonie et 14 300 t dans du NPI pour sa participation en Indonésie.
- [South32](#) exploite les latérites à Cerro Matoso, en Colombie, avec, en 2022-23, le traitement de 2,807 millions de t de minerai sec renfermant 1,62 % de Ni. La production de nickel sous forme de ferronickel a été de 40 800 t.

## Situation française

En 2023.

**Production métallurgique**, en Ni contenu : 103 652 t en Nouvelle Calédonie.

- Ferronickel : en Nouvelle-Calédonie, avec 71 912 t de Ni contenues dans 244 829 t de ferronickel. La production est totalement exportée.
  - par Le Nickel-SLN à Doniambo avec 44 800 t
  - par La Société Minière du Sud Pacifique associée à Glencore à Koniambo avec 27 100 t.

- Hydroxyde mixte de nickel et cobalt : 31 741 t, par Prony Resources, à Goro, en Nouvelle Calédonie. La production est totalement exportée.

Par ailleurs, l'usine de Sandouville (76) de [Sibanye Stillwater](#) a produit, en 2023, du nickel et des sels de nickel avec :

- 5 714 t de cathodes de nickel,
- 1 411 t de Ni contenu dans des sels.

**Commerce extérieur** : en 2023, hors Nouvelle Calédonie.

- Ferronickel :
  - Exportations : 2 616 t à 13 % vers la Suède, 19 % l'Espagne, 15 % la Finlande, 5 % la Belgique.
  - Importations : 9 209 t à 38 % du Brésil, 30 % de Nouvelle Calédonie, 12 % de République Dominicaine, 10 % le Canada.
- Mattes de nickel :
  - Exportations : négligeables.
  - Importations : 13 936 t totalement de Finlande pour être traitées à l'usine de Sandouville (76).
- Nickel non allié brut :
  - Exportations : 6 221 t à 41 % vers les Pays Bas, 36 % l'Allemagne, 4 % l'Italie, 4 % vers l'Autriche.
  - Importations : 31 119 t à 21 % de Norvège, 14 % d'Australie, 11 % de Russie, 8 % d'Afrique du Sud.
- Sulfate de nickel :
  - Exportations : 450 t vers la Turquie à 38 %, la Tunisie à 7 %, l'Égypte à 7 %.
  - Importations : 655 t à 42 % d'Allemagne, 28 % de Belgique, 24 % d'Autriche, 3 % de Taïwan.

## Utilisations

### Consommations

De nickel primaire en 2023. Monde : 3 060 000 t à 59 % en Chine.

**Secteurs d'utilisation du nickel primaire** : en 2023, dans le monde.

Aciers inoxydables	65 %	Galvanoplastie	5 %
Batteries	18 %	Aciers alliés et fonderie	4 %
Alliages de nickel	7 %	Divers	1 %

*Source : Eramet*

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

En Chine, en 2016, la part des aciers inoxydables est de 84 %, celle de la galvanoplastie de 6 %, des alliages de 5 %, des batteries de 4 %.

### 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 micromètres 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 m<sup>2</sup> de pièces en acier destinées au traitement de [UF<sub>6</sub>](#) 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<sup>-1</sup>, 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, 180 méthaniers, en 2017 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  $\text{Ni}^{2+}$  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.
- [Superalliages](#) : voir ce chapitre.
- Dans les batteries :
  - Ni-Cd (voir le chapitre consacré au [cadmium](#)).
  - Nickel-hydrure métallique (NiMH) : elles sont constituées d'une électrode négative formée par un alliage  $\text{LaNi}_5$  ou  $\text{ZrNi}_2$ , l'électrode positive étant à base d'hydroxyde de nickel. L'électrolyte est de l'[hydroxyde de potassium](#).
  - Lithium-ions : ce sont actuellement celles qui ont la plus grande capacité d'accumulation d'énergie par unité de masse. Elles sont en conséquence les mieux adaptées pour la mobilité électrique (appareillages portables et véhicules électriques). Le nickel utilisé est principalement sous forme de sulfate ( $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) avec, en 2017, une production mondiale de 350 000 t renfermant 75 000 t de Ni dont 300 000 t utilisées pour la production de batteries (60 000 t de Ni). Parmi les batteries lithium-ions, celles contenant du nickel représentent une part de 39 %. Le nickel est employé comme cathode dans les batteries suivantes :
    - Nickel-Manganèse-Cobalt (NMC) : on distingue les batteries NMC111, NMC622, NMC811, les chiffres exprimant les rapports atomiques entre les éléments nickel, manganèse et cobalt. En remplaçant partiellement le cobalt par le nickel leur coût lié à celui du cobalt a diminué. Les cathodes NMC811 doivent équiper les futurs modèles de Tesla.
    - Nickel-Cobalt-Aluminium (NCA) : la cathode contient 80 % de Ni, 15 % de Co et 5 % de Al. Construites par [Panasonic](#) elles équipent le Model S de [Tesla](#).
- 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.