

cat n° 1781

1781
1781
1781

ENCYCLOPÉDIE SCIENTIFIQUE DES AIDE-MÉMOIRE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION

DE M. LÉAUTÉ, MEMBRE DE L'INSTITUT.

LE NICKEL

PAR

HENRI MOISSAN ET L. OUVRARD



PARIS

GAUTHIER-VILLARS ET FILS,
IMPRIMEURS-ÉDITEURS

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS,
LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Quai des Grands-Augustins, 55,

Boulevard Saint-Germain, 120

(Tous droits réservés)

CRZ 1845

GÉNÉRALITES

—

Le nickel est connu en Europe depuis 1751. A cette époque le chimiste suédois Cronstedt découvrit qu'un minéral décrit en 1694 par Hyerne, le *kupfernickel*, que l'on croyait être un minéral de cuivre, renfermait un élément particulier auquel il donna le nom de *nickel* (diablotin). Mais le procédé qu'il employait pour extraire ce métal, et qui consistait à griller le minéral à l'air, puis à mélanger l'oxyde obtenu avec du flux noir et du sel marin, et à soumettre le tout à un feu de forge assez vif pour fondre le mélange, ne lui permettait d'obtenir qu'un régule métallique impur. De plus, ayant reconnu la présence de ce métal dans le *speiss*, résidu de la fabrication du bleu d'azur par le cobalt, Cronstedt considéra le nickel comme un demi-métal, résultant de la décomposition du cobalt.

Aussi, quelques chimistes, parmi lesquels Sage et Monnet, nièrent-ils l'existence du nou-

veau corps simple, et prétendirent-ils que le produit isolé par Cronstedt n'était qu'un mélange de métaux connus.

Ce n'est guère qu'en 1775 que Bergmann et Arfvedson parvinrent à purifier le nickel et à l'isoler, de façon à le décrire à peu près tel que nous le connaissons aujourd'hui.

Ses propriétés principales furent établies successivement par Bergmann, Richter, Proust, Tupputi, Berthier, etc.

Le nickel, étudié si tard en Europe, était cependant sinon connu, du moins employé depuis fort longtemps par les Chinois, qui le faisaient entrer dans la composition d'un alliage que nous décrirons plus tard, le *pacfong*.

Les alliages de nickel connus sous les noms de *maillechoit*, *d'argentan*, etc., n'ont été fabriqués couramment, en Europe, que dans la seconde moitié de ce siècle ; on n'employait d'ailleurs, pour leur préparation, le métal qu'à l'état de minerai, et le nickel pur était resté jusqu'à ces derniers temps un produit de laboratoire.

D'ailleurs la rareté relative de ses minerais et la difficulté d'isoler le métal, avaient empêché jusqu'ici à peu près complètement ses applications industrielles.

La découverte et l'application en grand du nickelage nécessita la recherche de nouveaux gisements que ceux qui étaient alors connus. En 1867, M. Garnier découvrit les minerais de la Nouvelle-Calédonie; en 1890, on se mit à exploiter ceux du Canada, et les méthodes d'extraction se perfectionnant, on est arrivé à produire le nickel en quantités suffisantes pour créer une nouvelle industrie, dont l'essor ne tardera pas à s'accroître.

Nous allons passer successivement en revue :

Les propriétés physiques et chimiques du nickel.

Ses principaux composés.

Les minerais de nickel.

Leur métallurgie.

Les alliages : ferro-nickel, bronzes, maillechorts, etc.

Le nickelage.

Les principales applications du nickel.

PROPRIÉTÉS DU NICKEL MÉTALLIQUE

—

Propriétés physiques. -- Le nickel est un métal d'un blanc légèrement jaunâtre, moins blanc que l'argent, mais plus brillant que le platine.

Sa densité, un peu moindre que celle du cuivre, dépend toutefois de l'état sous lequel on l'a obtenu : les nombres donnés par les différents observateurs varient entre 8,3 et 9,2.

Densité du nickel obtenu par réduction de l'oxyde :

Par l'oxyde de carbone	8,38 (Richter).
" "	8,40 (Tourte).
" " et forgé	8,66 (Richter).
" " "	8,93 (Tourte).
Par le charbon	9,0 (Vauquelin et Haüy).
"	8,90 (Schröder).
" et forgé	8,82 (Tapputi).
" et fondu	8,38 (").
Par l'hydrogène	8,98 (Rammelsberg).
"	9,25 (").
" et fondu	8,57 (Thompson).
Nickel obtenu par réduction de l'oxalate	8,63 (Brünner).

La moyenne est 8,3 pour le nickel fondu, 8,8 pour le nickel forgé, ou en définitive 8,66.

Le nickel fondu est d'une dureté un peu supérieure à celle de l'acier doux ; il est d'ailleurs aussi malléable et plus ductile que le cuivre : on peut le laminier en feuilles de 0^{mm},028 d'épaisseur et l'étirer en fils de 0^{mm},014 de diamètre (Richter).

Sa ténacité est à celle du fer dans le rapport de 9 à 7. Un fil de 2 millimètres de diamètre peut supporter, sans se rompre, un poids de 320 kilogrammes (Deville).

Il se forge aisément, sans s'oxyder aussi vite, à beaucoup près, que le fer ; on peut le braser aussi facilement que ce dernier métal.

Il importe d'ailleurs, pour la manifestation de ces diverses propriétés, que le métal soit pur, la présence du carbone et du manganèse diminue sa ductilité, au point que le nickel brut préparé par réduction par le charbon est moins ductile que le zinc, cassant à froid, à peine malléable à chaud.

Le nickel obtenu par calcination de l'oxalate est plus malléable que le précédent.

Le nickel pur est plus fusible que le fer et le cobalt. Il fond vers 1500°. La présence du carbone abaisse beaucoup ce point de fusion, ainsi que cela a lieu également pour le fer et le man-

ganèse. La fonte de nickel peut devenir aussi fusible que la fonte de fer (Tupputi).

La chaleur spécifique du nickel carburé, obtenu par calcination de l'oxalate en vase clos, a été trouvée par Regnault égale à 0,1086 ; deux autres échantillons plus purs lui ont fourni les chiffres 0,1075 et 0,1108. Nous adopterons ce dernier nombre.

Le nickel pur est très poreux pour les gaz, et il peut en occlure de grandes quantités ; il en est de même du nickel du commerce en cubes. Employé comme anode, il peut absorber 165 fois son volume d'hydrogène. Le nickel fondu n'absorbe pas l'hydrogène, mais il se polarise et, d'après M. Raoult, il se maintient en cet état beaucoup plus longtemps que les autres métaux, le palladium excepté.

La résistance spécifique qu'offre au passage d'un courant électrique un barreau de nickel de 1 centimètre de longueur et de 1 centimètre carré de section, a été trouvée par Matthiessen égale à 12 600 unités électromagnétiques C.G.S. La résistance d'un fil de 1 mètre de longueur et de 1 millimètre carré de section, est de 0^{ohm},1604 (Matthiessen).

Le nickel, de même que le cobalt, s'aimante plus aisément que le fer pour des forces magné-

tiques faibles, et moins facilement pour des forces magnétiques plus grandes.

Son pouvoir magnétique, par rapport à celui du fer, est dans le rapport de 1 à 1,5. L'intensité magnétique devient nulle vers 400° (Becquerel). Les nickels carburés et forgés possèdent une force coercitive assez grande qui disparaît vers 850° .

Propriétés chimiques. — Le nickel est inaltérable à l'air sec, à la température ordinaire. A l'air humide, il subit une très faible altération superficielle qui le colore en jaune pâle. A température élevée, il prend diverses colorations, comme l'acier, et s'oxyde lentement, en se recouvrant d'oxyde de couleur verdâtre. En le maintenant longtemps au rouge, il se transforme en une masse brune cassante qui constitue, d'après Tupputi, soit un sous-oxyde, soit un mélange de sous-oxyde et de métal, attirable à l'aimant.

Il peut brûler dans l'oxygène, en dégageant de brillantes étincelles. Le nickel obtenu par réduction de l'oxyde, par l'hydrogène à 240° , est pyrophorique, et brûle dans l'air à la température ordinaire, mais avec fort peu d'éclat (H. Moissan).

Si l'on opère la réduction avec de l'oxyde de carbone à la température de 300° et qu'on laisse

refroidir dans le courant d'oxyde de carbone, on obtient alors une combinaison de nickel et d'oxyde de carbone, le nickel-carbonyle, $\text{Ni}(\text{CO})_4$ volatile à 43° (Mond, Langer et Quincke).

Le nickel ne décompose pas l'eau à froid, et ne décompose que très lentement la vapeur d'eau au rouge, avec formation de protoxyde vert cristallisé.

Il se dissout très lentement avec dégagement d'hydrogène, dans les acides chlorhydrique, sulfurique et phosphorique étendus.

L'acide sulfurique concentré et chaud l'attaque difficilement. L'acide azotique ordinaire attaque facilement à froid le nickel, avec dégagement de vapeurs nitreuses.

Le nickel comme le fer présente, avec l'acide azotique concentré, le phénomène de la passivité, c'est-à-dire que le dégagement de vapeurs nitreuses peut être empêché par l'immersion préalable du métal dans l'acide concentré, qui ne l'attaque pas. Le nickel est oxydé par l'azotate de potassium fondu au rouge. Il s'unit directement à l'arsenic, au phosphore, au chlore, au brome et à l'iode. Avec le bore il fournit un borure de nickel cristallisé de formule Bo Ni (H. Moissan).

Les alcalis en solution étendue l'attaquent à

peine, mais quand la teneur en potasse anhydre KOH, atteint 60 % l'attaque est rapide.

Nous reviendrons d'ailleurs sur ce fait à propos des applications du nickel. Le nickel se combine avec l'aluminium, l'antimoine, l'argent, le bismuth, le cobalt, le cuivre, l'étain, le fer, le mercure, l'or, le platine, le palladium, le plomb et le zinc.

Nous décrivons plus loin les plus importants de ces alliages.

Le poids atomique du nickel est 58,6.



COMPOSES DU NICKEL

Nous allons rappeler succinctement quelques-unes des propriétés les plus intéressantes, des composés du nickel dont nous aurons à nous occuper par la suite.

Protoxyde de nickel (NiO). — On le connaît à l'état anhydre ou à l'état d'hydrate.

Le protoxyde anhydre s'obtient par calcination modérée de l'hydrate, ou bien en calcinant fortement le carbonate ou l'azotate. Dans ce dernier cas, il contient souvent du peroxyde, dont on le débarrasse en le chauffant à 100° dans un courant d'hydrogène.

Le protoxyde de nickel anhydre est une poudre verte, ou gris verdâtre, quelquefois même, d'un gris noir, suivant la température à laquelle on l'a obtenu. Sa densité est 6,66. Il n'est pas magnétique.

Il est réduit facilement par l'hydrogène et l'oxyde de carbone.

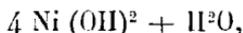


et au rouge vif par le charbon.

L'oxyde de nickel se dissout dans le borax, en lui communiquant une coloration rouge orange à chaud, jaune pâle à froid.

Le soufre le transforme en sulfure.

L'hydrate de protoxyde de nickel,



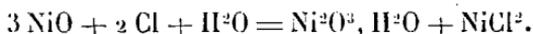
est un précipité vert pomme que l'on obtient en traitant une solution d'un sel de nickel par un alcali.

Il retient généralement un peu de l'alcali qui a servi à le préparer. Cet hydrate est soluble dans l'ammoniaque en donnant une liqueur bleue ou violette, suivant sa teneur en nickel.

Sesquioxyde de nickel, (Ni^2O^3). — La calcination modérée de l'azotate de nickel donne du sesquioxyde, qui tend à perdre de l'oxygène à une température plus élevée.

En faisant passer un courant de chlore dans de l'hydrate ou du carbonate de nickel en suspension dans l'eau, on obtient du sesquioxyde

hydraté, en même temps qu'il se fait du chlorure :



Les réducteurs ramènent ce sesquioxyde à l'état de protoxyde.

Il se dissout dans les acides en dégageant de l'oxygène et en donnant un sel de protoxyde.

Il se dissout dans l'ammoniaque avec dégagement d'azote.

Le sesquioxyde de nickel anhydre chauffé avec précaution dans un courant d'hydrogène pur, fournit à 190° de l'oxyde magnétique puis, par une légère augmentation de température, le protoxyde de nickel et enfin à 230° le nickel métallique (H. Moissan).

Sulfures de nickel. — On connaît plusieurs sulfures de nickel, parmi lesquels nous signalerons les suivants.

On obtient un sous-sulfure Ni^2S , en réduisant par l'hydrogène, le sulfate de nickel, à la température du rouge. En calcinant le sulfure de nickel, en présence du soufre, dans un courant d'hydrogène, on obtient ce même produit.

Il se présente sous forme d'une masse jaune pâle, à demi fondue, cassante, d'aspect métallique, brillant, magnétique.

Il est soluble dans l'acide nitrique en laissant un résidu de soufre. L'acide chlorhydrique le dissout difficilement en dégageant de l'hydrogène et de l'hydrogène sulfuré.

La réduction partielle du sulfate de nickel, dans un creuset brasqué, avait donné à Berthier un composé brillant, cassant et magnétique, probablement analogue à ce sous-sulfure.

Sénarmont a obtenu un sulfure correspondant à la formule Ni^3S^4 , en chauffant vers 160° , en tubes scellés, une solution de sulfure de nickel avec un persulfure de potassium.

Le sulfure de nickel anhydre (NiS), s'obtient en chauffant à l'abri de l'air, le sulfure hydraté; ou bien par l'action de l'hydrogène sulfuré, au rouge, sur le protoxyde de nickel.

Il se forme également quand on chauffe un mélange de nickel en poudre et de soufre en fleur, pris en proportions convenables.

Sa couleur varie du jaune bronze au gris noir. Il est relativement peu fusible, cassant, non magnétique.

L'hydrogène ne le décompose pas, même au rouge, la vapeur d'eau non plus. L'air l'oxyde au contraire rapidement, à température peu élevée. Le chlore l'attaque lentement sous l'influence de la chaleur.

Il est soluble dans l'acide nitrique et l'eau régale, insoluble dans les acides sulfurique et chlorhydrique.

Le sulfure de nickel hydraté (NiS , NiH^2O) est noir, et se prépare par l'action du sulfhydrate d'ammoniaque ou de l'hyposulfite de soude, à l'ébullition, sur les sels de nickel. Les sels neutres de nickel sont lentement précipités par l'hydrogène sulfuré, en donnant le sulfure noir.

Le sulfure de nickel hydraté et humide s'oxyde partiellement à l'air, en donnant du sulfate basique.

Il précipite le cuivre, le cadmium, l'argent et le fer au maximum de leurs solutions.

L'acide nitrique le dissout. Il est difficilement soluble dans l'acide chlorhydrique; il est un peu soluble dans l'ammoniaque et le sulfhydrate d'ammoniaque.

Le sulfure précipité par l'hyposulfite de soude semble plus stable, il est inaltérable à l'air et paraît insoluble dans l'acide chlorhydrique bouillant.

Fluorure de nickel (NiF^2). — Le fluorure de nickel anhydre cristallisé a été obtenu par M. Poulenc en faisant agir l'acide fluorhydrique gazeux sur le chlorure ou sur l'oxyde de nickel.

Il se présente en prismes jaune verdâtre, clinorhombiques, très transparents, insolubles dans l'eau, presque insolubles dans les acides, même à l'ébullition. L'hydrogène, l'hydrogène sulfuré, la vapeur d'eau le décomposent au rouge sombre,

Il existe aussi un fluorure hydraté ($\text{NiF}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), que l'on prépare en dissolvant l'hydrate de nickel dans l'acide fluorhydrique. Ce sont des cristaux grenus, solubles dans l'eau.

Chlorure de nickel (NiCl_2). — Le chlorure de nickel anhydre s'obtient en lamelles cristallines, jaune d'or, onctueuses au toucher, hygroscopiques, en chauffant le nickel métallique dans un courant de chlore sec, ou en séchant et sublimant le chlorure hydraté à l'abri de l'air.

L'hydrogène et l'ammoniaque le réduisent au rouge sombre, en donnant le métal. Chauffé en présence de l'air, il ne tarde pas à perdre du chlore, et se transforme totalement en oxyde. Il se dissout lentement dans l'eau, en donnant le chlorure hydraté, dont la solution verte abandonne, par cristallisation, des prismes hexagonaux répondant à la formule $\text{NiCl}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$.

On peut encore obtenir le chlorure hydraté par l'action de l'acide chlorhydrique sur le nickel, son oxyde ou son carbonate.

Ces cristaux sont très solubles dans l'eau et dans l'alcool. Ils sont efflorescents dans l'air sec, déliquescents dans l'air humide.

Bromure de nickel (NiBr^2). — Le bromure anhydre s'obtient par l'action du brome en vapeurs sur la limaille de nickel, au rouge sombre.

Ce sont des paillettes jaunes, brillantes, ayant le même aspect et les mêmes propriétés que le chlorure.

Le bromure hydraté, $\text{NiBr}^2 + 3\text{H}^2\text{O}$ se prépare par l'action du brome sur le nickel en présence de l'eau. Il se présente sous forme d'aiguilles vertes, très déliquescentes, devenant jaunes quand on les dessèche sur l'acide sulfurique.

Iodure de nickel (NiI^2). — L'iode en vapeurs attaque le nickel réduit par l'hydrogène, en donnant un iodure qui se sublime au rouge sans décomposition, pourvu que l'on opère à l'abri de l'air.

On peut encore l'obtenir en dissolvant l'oxyde de nickel dans l'acide iodhydrique concentré, desséchant et sublimant comme nous venons de le dire.

L'iodure de nickel anhydre est en petits cris-

taux brillants, noirs, d'aspect métallique, onctueux au toucher, solubles dans l'eau en donnant une solution verte, ou même brune si elle est assez concentrée.

Évaporée à consistance sirupeuse, elle abandonne des prismes déliquescents d'iodure hydraté, $\text{NiI}^2 + 6 \text{H}^2\text{O}$.

Arséniures de nickel. — Outre les arséniures naturels dont nous parlerons plus loin, on connaît un arséniure Ni^3As^2 , cristallisé en prismes orthorhombiques, très brillants, d'un rouge tombac, non magnétiques. C'est le *speiss* cristallisé.

On en trouve très souvent les cristaux mêlés à la masse vitrifiée du speiss. Il existe encore deux autres arséniures de nickel, répondant aux formules Ni^2As^2 et NiAs^3 .

Carbure de nickel. — Le nickel chauffé au four électrique avec du carbone, dissout à l'état liquide une certaine quantité de ce métalloïde et l'abandonne sous forme de graphite par refroidissement. Il ne produit pas de carbure défini et ne fournit que des fontes (H. Moissan).

Sulfate de nickel (SO^3Ni). — On obtient le sulfate anhydre, en déshydratant par la chaleur

le sulfate ordinaire. C'est une masse jaune clair devenant verte à l'air humide.

Le sulfate de nickel hydraté se prépare en dissolvant dans l'acide sulfurique étendu, le nickel métallique, son oxyde ou son carbonate.

Il est assez soluble dans l'eau, mais insoluble dans l'alcool, l'éther et l'acide acétique.

Quand le sulfate de nickel cristallise à la température ordinaire, dans une liqueur très acide, ou bien dans une liqueur neutre, mais entre 30 et 40°, il se présente sous forme de prismes quadratiques, bleus, retenant 6 H²O.

Si la cristallisation a lieu entre 50 et 70°, on obtient des prismes clinorhombiques, verts, qui retiennent la même quantité d'eau, et se transforment dans le sel précédent à la température ordinaire.

Enfin, quand on abandonne à la cristallisation, à la température ordinaire, une solution neutre de sulfate de nickel, on obtient le sulfate ordinaire, en prismes rhombiques, vert émeraude, isomorphes de sulfate de magnésie, et renfermant 7 H²O. Ce sel perd une molécule d'eau à l'air, puis deux autres molécules à 100°. Il devient anhydre vers 250°.

Il est soluble dans environ trois fois son poids d'eau à la température ordinaire.

Sulfate de nickel et d'ammonium $(\text{SO}^4)^2$
 $\text{Ni}(\text{AzII}^4)^2 + 6 \text{H}^2\text{O}$. — Ce sel, très employé dans le nickelage, s'obtient en ajoutant à une solution saturée de sulfate de nickel, un excès de solution de sulfate d'ammonium. Le sel double se présente en prismes clinorhombiques, vert foncé, de forme tabulaire, solubles dans l'eau, mais insolubles dans une solution saturée de sulfate d'ammonium.

100 parties d'eau dissolvent les poids suivants, du sel anhydre :

3°5	10°	20°	30°	40°	50°	80°
1,8	3,2	5,9	8,3	11,5	16,4	28,6

L'insolubilité du sulfate double dans le sulfate d'ammoniaque permet de séparer le sulfate de nickel des sulfates de fer, de zinc, de manganèse et de cuivre.

Azotate de nickel $(\text{AzO}^3)^2 \text{Ni} + 6 \text{H}^2\text{O}$. — Cristaux verts, solubles dans deux parties d'eau froide, efflorescents à l'air sec, déliquescents à l'air humide, obtenus par l'action de l'acide nitrique sur le métal, ou sur son oxyde ou son carbonate

Ce sont des prismes clinorhombiques, prenant la forme tabulaire, ou même de lamelles, quand

ils se déposent de leur solution à la température ordinaire.

Ils fondent à 57° dans leur eau de cristallisation, et perdent 3 H²O à 136°. A température plus élevée, le nitrate devient anhydre, puis se décompose, en abandonnant de l'oxyde de nickel. On connaît aussi plusieurs nitrates basiques de nickel, insolubles dans l'eau.

Arséniates de nickel. — On prépare l'arséniat neutre par l'action d'un arséniat alcalin sur la solution d'un sel de nickel.

C'est un précipité cristallin, vert pomme, insoluble dans l'eau, mais soluble dans les acides, et dans l'ammoniaque.

On connaît un certain nombre d'arséniates basiques de nickel que l'on rencontre à l'état cristallisé soit dans la nature, soit dans les produits d'oxydation du speiss.

Carbonate de nickel (CO³Ni). — Quand on traite la solution d'un sel de nickel par un carbonate alcalin, il se précipite des flocons vert pâle qui, après lavage à l'eau bouillante, laissent une masse d'un vert foncé, à cassure brillante. C'est un carbonate basique, dont la composition varie suivant la nature du précipitant, ainsi que

suivant les proportions et la température à laquelle s'est faite la précipitation. On obtient le carbonate neutre, anhydre, en chauffant en tubes scellés, à 150°, une solution de chlorure de nickel additionnée de carbonate de chaux, ou d'une solution de carbonate de soude sursaturée d'acide carbonique. Ce sont des rhomboédres, transparents, vert pâle, peu attaquables par les acides à froid.

Si on fait réagir les bicarbonates de soude ou d'ammoniaque en grand excès, sur un sel de nickel, on obtient le carbonate hydraté, en prismes clinorhombiques, de la formule



Cyanure de nickel (Ni CAz). — Quand on traite un sel de nickel soluble par un cyanure alcalin, on obtient un précipité vert pâle soluble dans un excès de réactif. Desséché à l'air, c'est une masse vert jaune, cassante, dure, contenant $1 \frac{1}{2} \text{H}^2\text{O}$, d'après Rammelsberg. Chauffé vers 200°, il devient anhydre en prenant une couleur brun clair. Les cyanures doubles qu'il forme avec les cyanures alcalins sont peu stables : traités par les acides, ils dégagent de l'acide cyanhydrique et laissent déposer du cyanure de nickel.

Nickel-carbonyle ($\text{Ni}(\text{CO})_4$) — On prépare le nickel-carbonyle de la façon suivante : On commence par réduire, vers 400° tout au plus, de l'oxyde de nickel par l'hydrogène. Si ensuite on remplace le courant d'hydrogène par un courant lent d'oxyde de carbone, en laissant le métal réduit revenir à la température de 30 à 40° , l'oxyde de carbone ne tarde pas à se charger de nickel-carbonyle, que l'on recueille soit au moyen d'un tube en U, entouré d'un mélange réfrigérant, soit en faisant passer le gaz dans un liquide approprié, tel que pétrole, essence de térébenthine, chloroforme, etc., qui dissout abondamment le nickel-carbonyle.

C'est un liquide incolore, réfringent, bouillant à 46° , solidifié à -25° , se conservant bien sous l'eau à l'abri de l'air. Sa vapeur fait explosion à 60° . Il est très toxique. A l'air il se décompose lentement en donnant un précipité verdâtre complexe.

Si l'on vient à chauffer sa solution dans les carbures d'hydrogène, il se décompose en laissant sur les parois du vase un dépôt brillant de nickel métallique.

On a essayé d'utiliser cette propriété pour le nickelage, et pour l'extraction du nickel ; nous y reviendrons plus loin.

Acétate de nickel $((C^2H^3O^2)^2Ni + 4H^2O)$.
— Cristaux clinorhombiques, solubles dans 6 parties d'eau, insolubles dans l'alcool.

Chauffé avec de l'eau en vase clos, à 175° , il se décompose partiellement en acide acétique et hydrate vert de nickel.

Oxalate de nickel $(C^2O^4Ni + 2H^2O)$. — Précipité vert clair, insoluble dans l'eau, soluble dans l'ammoniaque et les sels ammoniacaux.

Traité par la potasse, il donne un oxalate double cristallisé. La solution dans l'oxalate d'ammoniaque évaporée donne des prismes d'un oxalate double de nickel et d'ammoniaque.

Tartrate de nickel $(C^4H^4O^4Ni)$. — Poudre cristalline verte, presque insoluble dans l'eau, soluble à chaud dans la potasse ou la soude et les carbonates alcalins.

On connaît aussi plusieurs tartrates doubles formés avec les alcalis. Ce sont des sels très solubles dans l'eau.

Citrate de nickel $((C^6H^5O^7)^2Ni^3 + 14H^2O)$.
— L'oxyde et le carbonate de nickel se dissolvent facilement dans l'acide citrique, en don-

nant un sel extrêmement soluble dans l'eau et précipitable par l'alcool.

Il deviendrait anhydre vers 200°.

Caractères des sels de nickel. — La potasse, la soude et les carbonates alcalins précipitent en vert les sels de nickel ; le précipité est insoluble dans un excès de réactif, mais soluble dans les sels ammoniacaux.

L'ammoniaque donne un léger précipité, soluble dans un excès, en donnant une liqueur bleue ; le carbonate d'ammoniaque donnerait, dans les mêmes conditions, une liqueur verdâtre.

L'hydrogène sulfuré ne donne rien en liqueur acide.

Les sulfures alcalins et le sulfhydrate d'ammoniaque donnent, en liqueur neutre, un précipité de sulfure noir, insoluble dans l'acide chlorhydrique étendu.

Le cyanure de potassium donne un précipité blanc verdâtre, soluble dans un excès de réactif.

Avec la perle de borax, dans la flamme oxydante, on a une coloration violette à chaud, rouge brun à froid.

Avec le sel de phosphore, la perle est rouge à chaud et jaune à froid.

La flamme réductrice ne donne rien dans les deux cas.

EFFETS PHYSIOLOGIQUES DES SELS DE NICKEL

Orfila est le premier qui ait admis que le nickel ne pouvait être ingéré sans danger. Après lui, quelques observateurs tels que Hassel et Simpson, se prononcèrent pour l'innocuité relative des sels de nickel, à l'égal des sels de zinc et de cuivre.

En 1879, Azary conclut de ses recherches que le nickel était toxique à la dose de 0^{gr},1 ; Anderson Stuart, en 1882, le considéra également comme vénéneux, tandis que Schulz d'abord, puis van Hamel Roos et Geerkens firent absorber jusqu'à 17 grammes d'acétate de nickel, à la dose de 0^{gr},5 par jour, à des chiens qui ne présentèrent aucun symptôme de maladie.

Il n'était resté dans le foie et les reins que des traces des 5^{gr},6 de nickel métallique que les animaux avaient absorbé.

En 1888, MM. Riche et Laborde ont repris ces expériences, et ont fait absorber, pendant 160 jours, à un chien du poids de 9^{kg},35, des doses de sulfate de nickel allant de 0,25 à 2 grammes

par jour. Avec des doses inférieures à 1 gramme, on n'observait aucun symptôme, l'animal conservait sa gaieté; on maintint la dose de 1 gramme par jour, pendant 14 jours, puis on passa à 1^{sr}.5 pendant 12 jours, enfin à 2 grammes pendant 2 jours seulement.

A cette dernière dose, on put constater de la diarrhée et des vomissements. Mais après quelques jours de repos, on put reprendre le traitement à 0^{sr}.5 par jour, sans aucun accident, de telle sorte que l'animal avait absorbé, dans le temps indiqué, 100^{sr}.75 de sulfate, représentant 21^{sr}.35 de métal.

A l'autopsie, on a trouvé de faibles quantités de nickel dans le cœur, le foie, le sang, etc., ce qui indiquait que le métal était éliminé facilement par l'intestin et le rein.

La dose de 0^{sr}.1 par kilogramme semble donc normale, et on peut admettre qu'un homme pourrait ingérer une dose de 3^{sr}.33 de sel par jour sans accident.

Les mêmes auteurs ont étudié les effets des injections hypodermiques et intra-veineuses des sels de nickel. Ils ont trouvé que les effets physiologiques étaient dans ce cas beaucoup plus intenses.

La dose mortelle pour un cobaye était de

0^{gr},062, pour un lapin de 0^{gr},75 et pour un chien de taille moyenne de 1^{gr},50 de sulfate.

En résumé, les sels de nickel en solution ne produisent de véritables effets toxiques, qu'à la condition d'être introduits dans l'organisme au moyen d'injections hypodermiques ou intra-veineuses, à la dose relativement élevée et moyenne de 0,5 à 1 gramme de principe actif par kilogramme d'animal.

Les phénomènes caractéristiques sont les suivants : convulsions et raideur tétaniforme, vomissements et diarrhée, affaiblissement et collapsus paralytiques consécutifs ; enfin, période asphyxique terminale, avec les lésions viscérales et les altérations du sang qui caractérisent le processus asphyxique.

Il en résulte que l'intoxication mortelle par le sel de nickel est irréalisable dans la pratique.

En définitive, conclut M. Riche, le nickel dans les applications nouvelles, notamment dans l'outillage pharmaceutique et alimentaire, peut et doit être considéré comme dépourvu de tout danger pour la santé.

Enfin, M. Riche a comparé la solubilité du nickel métallique dans quelques liquides alimentaires, avec d'autres métaux comme le cuivre, l'étain et le zinc.

Les chiffres suivants expriment, en milligrammes, les quantités de métal dissoutes dans $1\ 000\text{cm}^3$ de liquide :

Liquides	Nickel	Cuivre	Étain	Maillechort		
				Cuivre	Nickel	Zinc
(A) Solution de chlorure de sodium à 10 0/0, durée 8 jours. . .	24	112	//	23	10	9
(B) Solution de chlorure de sodium à 15 0/0, durée 15 jours . .	10	137	37	//	//	//
(C) Vinaigre à 10 0/0. .	115	470	//	91	16	53
(D) // 3 0/0. .	71	436	11	//	//	//

Liquides	Laiton		Alliage			Monnaie de nickel		Monnaie de bronze
	Cuivre	Zinc	Cuivre	Zinc	Étain	Cuivre	Nickel	
(A)	33	12	174	16	6	//	//	//
(B)	42	14	95	10	//	54	4,5	68
(C)	236	30	356	13	traces	216	138	327
(D)	410	370	//	//	//	225	150	580

D'où l'on peut conclure avec l'auteur que le nickel se dissout très lentement et très faiblement dans les substances alimentaires.

MINÉRAIS DE NICKEL

Les minéraux contenant du nickel sont assez répandus à la surface du globe, mais ceux qui permettent une extraction du métal et peuvent être considérés comme des *minerais* de nickel sont assez peu nombreux.

Le *nickel natif* est assez rare. On l'a trouvé surtout dans les météorites nickélifères, où il accompagne presque toujours le fer, avec lequel il forme peut-être des alliages définis, tels que la *tenite*, la *kamacite* et la *pléssite*, de Reichenbach.

Quoi qu'il en soit, le nickel, qui existe généralement en faible quantité dans les météorites, est prépondérant dans la météorite d'Ocibbeha County, qui en contiendrait 59,70 % d'après Taylor.

La météorite de Carion Diablo en renferme de 2 à 7 % (H. Moissan).

Le fer météorique de Sainte-Catherine en contient 34 %, d'après M. Damour.

Le nickel se rencontre en combinaison, dans la nature, sous les états suivants : oxydes, sulfures, sulfates, tellures, sulfo-arséniures, arsé-

niures, arséniates, antimoniures, carbonates, silicates.

Il se trouve également dans certains composés naturels, comme, par exemple, les pyrites de fer d'Australie et de la Caroline, qui en contiennent 1 à 2 $\frac{0}{100}$, le fer sulfuré magnétique du Tyrol, du Transvaal, et surtout du Canada, les schistes cuivreux du Mansfeld, les oxydes de manganèse du Chili et d'Australie, qui contiennent aussi du cobalt, le minerai de platine de Nischne-Tajilsk, qui en contient 0,70 $\frac{0}{100}$, etc.

On trouve encore de petites quantités de nickel dans la chrysolithe, l'olivine, la chrysoprase, la serpentine.

On en trouve naturellement dans les résidus de la métallurgie de minerais nickélifères, comme le speiss de cobalt et les mattes obtenues par la fonte de certains minerais d'argent, de plomb et de cuivre.

Enfin, on a signalé la présence du nickel dans l'eau minérale de Nayrac (Henry), dans un schiste bitumineux et même dans le benjoin (?) (Buchner et Kaiser).

Nous donnons, d'après M. Capelle (*Bull. de la Soc. Ind. de Rouen*, 1888) le tableau des principaux minerais exploités avec leur composition approximative et leur provenance.

Désignation	Composition fondamentale	Couleur	Teneur en nickel $\frac{0}{10}$	Provenance
Nickeline, kupfernichel	Ni As	rouge cuivreux	44,0	Saxe
Cloanthito, rammeisbergite	Ni As ²	blanc métallique	28,0	//
Annabergite, nickeloere	Ni ³ As ² O ⁸ .8H ² O	verdâtre	29,6	//
Gersdorffite, nickelglanz, nickelgris	NiSAs	gris d'acier	31,8	Styrie
Millérite	NiS	jaune laiton	61,8	Etats-Unis
Siégénite, linnéite	(Ni,Co) ³ S ¹	gris d'acier	23,0	Prusse
Pentlandite, nicopyrite	2FeS, NiS	bronze	18,3	Norvège
Grumanite, nickel bismuthé	Sulf. de nickel et de bismuth	gris d'acier	40,0	//
Breithauptite, nickel antimoine	Ni Sb	rouge cuivre	32,6	Hartz
Ulmánite, nickelspeiss	NiS Sb	gris d'acier	26,1	//
Genthite, rewdanskite	RO(SiO ²) ₂ II ² O	vert pomme	13,6	Oural
Bunsénite	NiO	//	//	//
Nicomélane	Ni ² O ³	//	//	//
Texasite	CO ² .3NiO.5H ² O	vert émeraude	51,0	Texas
Morénosite, pyromélane	SO ⁴ Ni + 7II ² O	vert clair	21,0	Hesse
Piméliste, comarite	Silicat. alumineux variables	vert	15 à 20	Saxe
Pyrite blanche nickelifère	//	blanc gris	//	Stiermark
Pyrite rouge	//	//	//	//
Garniérite	(MgO,NiO)SiO ² +nII ² O	vert	14 à 25	Nouvelle-Calédonie

Nous allons passer rapidement en revue les principaux minéraux contenant du nickel.

Oxydes. *Bunsénite* (Dana). — Protoxyde de nickel en petits octaèdres vert pistache, translucides, d'un éclat vitreux, présentant souvent des tronçatures sur les angles. Découvert par Bergmann à Johanngeorgenstadt en Saxe, où il est accompagné d'autres minerais de nickel, d'urane, de bismuth, etc.

Dureté, 5,5 ; densité, 6,4. Poussière brune, contient 78,3 % de nickel.

Nicomélane. — La nicomélane, ou *nickel noir*, est généralement considérée comme du sesquioxyde de nickel impur. Très rare.

Sulfures. *Millérite*. — Ce minéral, appelé aussi *trichopyrite* et *haarkies*, est le sulfure NiS. Il se présente en cristaux capillaires opaques, d'un beau jaune d'or tournant au bronze, souvent avec des irisations superficielles d'un éclat métallique.

Dureté 3 à 3,5. Poussière brillante. Densité 5,4.

Rhomboédres de $114^{\circ}8'$. Il contient généralement un peu de fer, de cuivre et de cobalt, et 64,8 % de nickel.

On en connaît une variété, la *beyrichite*, plus riche en soufre.

Linnéite. — Appelée aussi *sidgénite*, est un sulfure de nickel et de cobalt, avec fer et cuivre, de la formule R^3S^4 . Cristaux cubiques ou octaédriques d'un gris d'acier, souvent rougeâtres ou jaunâtres à la surface, d'un vif éclat métallique.

Densité 4,8 à 5. Dureté 5,5.

Aux sulfures nickélifères se rattachent les trois minéraux suivants, découverts en 1892, par M. Emmens dans les mines de Sudbury (Canada).

Folgérite. — Sulfure de fer et de nickel, correspondant à la formule NiS, FeS , doué d'un éclat métallique, avec des nervures d'un blanc grisâtre; en masse compacte, sa couleur est d'un beau jaune bronzé; poussière d'un blanc d'étain, dureté 3,5, cassure irrégulière, assez friable. La structure est toujours fibreuse. La folgérite en masse ne serait pas magnétique, tandis qu'au contraire elle le serait quand elle se présente en grains isolés.

Analyse de la folgérite :

Nickel	31,45
Fer	31,91
Soufre	35,54
Total	<hr/> 100,00

Bluëite. — Sulfure double correspondant à la formule $\text{NiS}^2, 12\text{FeS}^2$, d'un aspect soyeux et d'un éclat métallique, couleur gris olive pâle tirant sur le bronze, densité 4,2, dureté comprise entre 3 et 3,5. En masses compactes, non cristallines, fragiles, à cassure conchoïdale. La bluëite n'est pas magnétique. Elle a donné à l'analyse les chiffres suivants :

Nickel	3,70
Fer	41,01
Soufre	55,29
Total	<u>100,00</u>

Whartonite. — Sulfure double exprimé par la formule $\text{NiS}^2, 7\text{FeS}^2$. La whartonite est d'un éclat métallique, d'une couleur jaune bronzé ; elle présente une structure cellulaire, les parois des cellules étant constituées par un conglomérat de grains extrêmement fins, tandis que la cellule elle-même est garnie de cristaux microscopiques. Densité 3,73, dureté 4, cassante, cassure irrégulière.

Après pulvérisation, une partie seulement de la poudre est attirable à l'aimant, et cette partie ne contient pas trace de nickel. Il est donc à peu près certain que ce minéral n'est pas homogène, et qu'il contient de la magnétite et de la pyrrhotine.

Il est possible que la formule donnée représente la partie non magnétique de la whartonite.

L'analyse a donné les résultats suivants :

Nickel	5,79
Fer	45,98
Soufre	48,23
Total.	<u>100,00</u>

Granaïte ou *saynite*. — Sulfure de nickel et de bismuth contenant en outre du cobalt, du fer, du cuivre, du plomb. Octaèdres ou cuboctaèdres à éclat métallique gris d'acier ou blanc d'argent, souvent jaunâtres ou grisâtres à la surface, dureté 4,5. Poussière gris foncé. Densité 5,2.

Syépoorite ou *carollite*. — Sulfure de cobalt contenant du nickel, en massif ou en grains, à Syépoor dans l'Inde, où il se trouve dans les schistes anciens.

Couleur gris d'acier, légère teinte jaune. Densité 5,4.

Pentlandite ou *nicopyrite*. — Sulfure de fer et de nickel 2FeS , NiS , se présentant en masses soit à clivages octaédriques, soit granulaires, d'un jaune de bronze. On le trouve, généralement avec la chalcopyrite, à Lillehammer en Norvège.

Dureté 3,5 : Poussière brun clair, densité 4,6.

Analyse de nicopyrite.

Nickel	22,0
Fer	44,1
Soufre	30,0
Sulfate de magnésie	3,2
Total.	<u>99,3</u>

Mais les minéraux que nous venons de décrire sont généralement peu abondants, quelques-uns fort rares.

Aussi a-t-on recours dans l'industrie, comme minerais sulfurés de nickel, à d'autres composés ne contenant, il est vrai, que peu de nickel, mais beaucoup plus abondants que les précédents, et parmi lesquels nous citerons les sulfures de fer nickélifères suivants :

Pyrrhotine. — Sulfure de fer dont la composition, assez variable, se rapproche de Fe^7S^8 , contenant jusqu'à 5 % de nickel.

La pyrrhotine porte aussi les noms de *pyrite hépatiche*, *leberkies*, *magnétopyrite*. Dans les météorites, elle prend le nom de *troilite*.

Généralement en masses compactes, d'un faible éclat métallique, d'un jaune tombac, à cassure conchoïde, à Varallo dans le Piémont, à Dillenburg dans le duché de Nassau, en Suède, en Écosse et à Gap-Mine (Pensylvanie).

Voici quelques analyses de ces pyrrhotines nickelifères.

	Cevia (Piémont)	Sella bassa (Piémont)	Sügmyra (Suède)
Nickel	1,20	1,44	0,80
Cobalt	1,00	0,36	traces
Cuivre	0,50	0,72	1,00
Fer	20,00	20,00	7,00
Soufre	38,00	38,00	11,00
Gangue	50,00	50,00	80,00
Totaux	100,70	100,52	99,80

Il sera encore question de ces sulfures nické-
lifères un peu plus loin, quand nous parlerons
des gisements du Canada (p. 54).

A côté des sulfures et en dérivant directement,
nous trouvons un sulfate.

Sulfate. *Morénosite* ou *pyromélane*. —
Sulfate de nickel naturel, dont la formule cor-
respond au sulfate normal $\text{NiSO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$.

Cristaux vert émeraude, devenant jaunes en
se déshydratant quand on les chauffe.

La morénosite provient généralement de l'oxy-
dation de sulfures de nickel, au cap Orlegal

(Espagne) et forme des enduits sur la magnétite avec la millérite; on la trouve aussi à Reichelsdorf (Hesse).

Quelquefois en cristaux aciculaires et en efflorescences cristallines.

Densité 2,0.

Tellurure. Mélonite. — Tellurure de nickel avec traces d'argent, de plomb, de cobalt; trouvé à Calaverasco (Californie) en cristaux de forme hexagonale, ou en grains indistincts et foliacés, d'un blanc rougeâtre métallique.

Arséniures. — Le type des minerais arséniés du nickel est le composé suivant.

Nickeline rouge ou *kupfernickel*. — Appelé aussi *nicolite*, c'est le corps dans lequel Cronstedt a isolé le nickel.

Il contient des traces de cobalt, de fer, d'antimoine et de soufre, et répond sensiblement à la formule NiAs.

En petits cristaux du système hexagonal, ou plus souvent en masses compactes caractérisées par leur couleur d'un rouge cuivré, presque constamment associées à l'annabergite.

Densité 7,5, dureté 5.

On la rencontre dans certains filons métalli-

fières à Freiberg, Annaberg et Schneeberg en Saxe, Reichelsdorf, Andréasberg.

En France, à Challanches dans l'Isère.

Voici quelques analyses de ce minéral, qui, jusqu'à la découverte des mines de la Nouvelle-Calédonie, servait presque exclusivement à préparer le nickel pur :

Composition	Reichelsdorf	Ayer	Schlading	Valais
Nickel . . .	44,3	43,5	30,6	20,3
Cobalt . . .	//	0,3	2,2	4,0
Fer	0,3	0,5	8,9	12,2
Arsenic . . .	54,7	54,0	51,0	55,7
Soufre . . .	0,1	2,2	4,2	1,8
Gangue . . .	//	0,2	//	6,2
Totaux . . .	99,6	100,7	96,9	100,2

Chloantite. — La chloantite, appelée aussi *rammelsbergite*, ou *nickeline blanche*, répond à la formule $NiAs^2$.

En cuboctaèdres ou en masses d'un gris clair, ayant l'aspect de l'étain dans les cassures fraîches, noircissant à la surface et souvent recouverte d'un enduit vert d'arséniate de nickel.

Densité 6,4, dureté 5,7. Elle renferme de petites quantités de cuivre, de bismuth et de soufre.

Sa composition est donnée par les analyses suivantes :

Composition	Schneeberg	Reichelsdorf	Schladming
Nickel	28,14	20,74	13,4
Cobalt	"	3,37	5,0
Cuivre	0,50	"	"
Arsenic	71,30	72,64	60,5
Fer	"	3,25	13,3
Soufre	0,14	"	5,4
Bismuth	2,19	"	"
Totaux.	102,27	100,00	97,6

Sulfoarséniures. *Nickelglanz, disomose, gersdorffite.* — Ce minéral, appelé encore *nickel gris*, est un arséniosulfure correspondant à la formule $NiS^2 + NiAs^2$. Cristaux gris d'acier clair, tirant sur le blanc d'argent.

Voici quelques analyses de gersdorffite.

Composition	Loos (Suède)	Harzgerode (Hartz)	Kamsdorf (Thuringe)	Schladming (Styrie)
Nickel	29,94	30,30	27,00	38,42
Cobalt	0,92	"	"	"
Fer	4,11	6,00	11,00	2,09
Arsenic	45,37	44,87	48,00	42,52
Antimoine	"	traces	"	"
Soufre	19,34	18,83	14,00	14,22
Quartz	0,34	"	"	1,87

Densité 6,1. Dureté 5. Poussière gris noir, très friable.

On l'exploite au Hartz et en Styrie. Ses principales variétés sont la *wadankiess*, la *dobchaniite*, l'*amoïbite*, la *plessite* (1), la *corynite*.

Antimoniures. *Breithauptite*, NiSb. — En petites tables hexagonales, ou en masses engagées dans du calcaire, d'un aspect métallique et d'un rouge de cuivre violacé. Isomorphe de la nicolite; cassure conchoïdale, densité 7,5 et dureté 5. Friable, poussière brun rouge.

Sulfo-antimoniure. *Ullmannite*. — Ce minéral, appelé encore *nickelstibine*, est isomorphe de la gersdorffite. Cubes ou octaèdres gris d'acier, fragiles, densité 6,3, dureté 5. En masses compactes ou lamellaires, au Hartz. Sa composition peut être représentée par NiSb + NiS².

Analyses de l'ullmannite :

Composition	Freusberg	Siegen
Nickel	25,25	26,10
Soufre	13,25	16,40
Arsenic	11,75	9,94
Antimoine	45,75	47,56
Totaux.	100,00	100,00

(1) Qu'il ne faut pas confondre avec le fer météorique nickelé du même nom (p. 33).

Dans plusieurs variétés et en particulier dans la *corynite* de Zepharowitch, une partie de l'antimoine est remplacée par de l'arsenic.

Voici la composition moyenne d'un arsénio-antimoniure qui se trouve à Balen, dans les Pyrénées :

Nickel	33,0
Fer	1,4
Arsenic	33,0
Antimoine	27,8
Soufre	2,8
Quartz	2,0
Total	<u>100,0</u>

Arséniates. *Annabergite* ou *ocre de nickel*. — C'est un arséniate de nickel hydraté, en cristaux aciculaires très courts, ou en cristaux filiformes et en masses fibreuses, d'un vert pomme ou d'un blanc verdâtre ; ordinairement en enduit sur la nickéline, ou sur divers arséniures contenant du nickel, et provenant de leur décomposition. Les cristaux semblent appartenir au système clinorhombique.

La composition de cet arséniate peut être représentée par la formule $\text{Ni}^3\text{As}^2\text{O}^8 + 8\text{H}^2\text{O}$, et il contient 29,2 % de nickel, avec un peu d'oxyde de fer et d'acide sulfurique.

On le trouve à Annaberg dans le Hartz.

A Johanngeorgenstadt on rencontre une variété jaune (*xanthéosite*), qui contient 38 % de nickel et une variété verte (*arugite*), qui en contient 48 %.

Voici une analyse d'annabergite :

Oxyde de nickel.	36,20
Acide arsénique.	38,36
Chaux	1,55
Eau	23,91
Total	<u>99,94</u>

La *cabrérîte* est un arséniate de nickel, de cobalt et de magnésic qui peut être représenté par la formule $(NiO, CoO, MgO)^3As^2O^5 + 8H^2O$, et qui contient 20 % de nickel, densité 2,96 ; dureté 2.

Analyse de la cabrérîte :

Acide arsénique.	42,37
Oxyde de nickel.	26,01
Oxyde de cobalt.	3,06
Magnésic	3,06
Eau	25,80
Total	<u>100,53</u>

Carbonates. *Texasite*. — Ce minéral, qui porte encore les noms de *nickel-émeraude* ou *nickel-smaragd* et de *zaratite*, est un hydrocarbonate de nickel, d'un vert émeraude, for-

mant des enduits ayant l'apparence de petits stalactites compacts.

Sa formule correspond à



Dureté 3, densité 2,6. Poussière vert pâle.

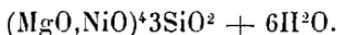
Voici deux analyses de texasite :

Composition	Texas	Pensylvanie
Oxyde de nickel . . .	58,81	56,82
Magnésie	"	1,62
Acide carbonique . . .	11,69	11,62
Eau	29,69	29,87
Totaux.	100,19	99,94

Silicates. — Nous abordons maintenant un des groupes les plus importants des minerais de nickel de l'heure actuelle, la garniérîte qui fournit une grande partie du nickel du commerce étant un silicate.

Genthite ou *gummitte nickélifère.* — Ce silicate de nickel hydraté renferme de la magnésie, avec des traces de fer et de chaux. Il se présente en masses compactes, vert pomme ou jaunâtres, d'un éclat résineux, parfois assez tendres pour être rayées par l'ongle, et se déli-

tant dans l'eau. Densité 2,4. On lui attribue la formule



On en a découvert des gisements importants à Pétrow dans les Monts Oural, dans le district de Rewdin, d'où le nom de *Rewdanskite* qu'on lui a donné.

Jusqu'en 1874, ces gisements ne furent pas exploités ; à cette époque, une exploitation régulière commença, mais fut interrompue bientôt par la découverte des mines de la Nouvelle-Calédonie, qui arrêta la production des mines d'Europe, en même temps que celles de Rewdin.

Ce minéral contient 5 % de nickel au minimum.

Voici l'analyse d'un échantillon, faite à Saint-Petersbourg :

Composition	Minéral tendre	Minéral dur
Sable	20,08	29,30
Silice	26,18	24,93
Alumine	1,11	2,23
Oxyde de fer.	3,52	7,69
Oxyde de nickel	22,55	11,03
Chaux	1,25	1,02
Magnésie	3,36	8,83
Perte à la calcination.	14,80	13,25

L'*alipite* est une variété de genthite contenant une moindre proportion d'eau.

Pimélite. — Silicate de nickel et de magnésie contenant de l'oxyde de fer, de l'alumine et de l'eau. Couleur verte, éclat gras, cassure écailleuse. Sa composition est très variable.

Densité 2,5, dureté 2,5.

Garniérite. — Un des principaux minerais de nickel est la garniérite, qui forme de riches gisements dans la Nouvelle-Calédonie. La garniérite est un hydrosilicate de magnésie et de nickel, contenant des proportions variables de fer, qui ne semble pas faire partie de la combinaison, mais constitue plutôt des nodules isolés.

Ce minerai est disséminé dans les roches serpentineuses qui forment l'ossature de l'île, où on l'y trouve associé aux amphibolites, diorites, etc., tantôt en filons de faible importance, tantôt en ciment reliant les roches voisines, le plus souvent sous forme d'un enduit verdâtre, ou de concrétions d'un beau vert, dans les fissures de la serpentine et dont on attribuait la coloration au chrome, jusqu'aux belles recherches de M. Garnier en 1867 (1). Ces dépôts semblent ré-

(1) Voici dans quels termes M. Garnier, qui a été un promoteur convaincu de l'industrie du Nickel, rapporte cette découverte :

sulter de l'action de sources nickélifères, ayant décomposé la roche au voisinage d'argiles rouges, résultant d'une action antérieure.

« De 1863 à 1867, j'eus à parcourir la Nouvelle-Calé-
« donie comme géologue, et je rencontrai souvent dans
« mes excursions, surtout dans le sud-est et l'est de
« l'île, des amas de roches vertes qui attirèrent beau-
« coup mon attention. En chimie, le nickel est carac-
« térisé par des précipités vert pomme. Aussi, la
« couleur de ces roches m'y fit soupçonner la présence
« du nickel, d'autant plus que je m'étais assuré que
« cette coloration n'était pas due au cuivre. Je rap-
« portai en France un certain nombre de spécimens
« de cette roche verte, et les savants auxquels je les
« présentai : M. Jannettaz, qui m'aidait dans le classe-
« ment de mes collections, et M. Terreil, chimiste au
« Muséum, ne tardèrent pas à m'assurer que j'avais
« découvert un véritable minéral de nickel, absolu-
« ment nouveau par sa nature et son abondance. Alors
« que j'étais encore à la Nouvelle-Calédonie, j'avais
« fait parvenir également au professeur américain
« Dana quelques échantillons de ce curieux minéral ;
« il voulut bien les étudier de très près. Ces études
« l'amènèrent à constater que c'étaient là des hydro-
« silicates de nickel et de magnésie, à composition
« définie, mais plus ou moins mélangés d'une gangue
« ferrugineuse et siliceuse. Le minéral était nouveau,
« Dana en publia la description dans sa cinquième
« édition de Minéralogie en 1874 et voulut bien
« donner mon nom à ce minéral ; il l'appela la
« *Garniérite* ». (*L'aluminium et le nickel. Conférence*
de M. Garnier. « Revue scientifique » du 23 mars
1895 ».)

Nous donnons, d'après divers auteurs, les quatre analyses suivantes de ce minerai :

Composition	Liwersidge	Garnier	Typte	Villon
Silice et gangue . . .	47,28	38,0	55,09	41,00
Magnésie	21,59	15,0	0,18	12,69
Oxyde de nickel . . .	23,96	18,0	35,56	19,16
Alumine et oxydes de fer.	1,55	7,0	0,83	6,58
Eau	5,21	32,0	7,51	20,57
Chaux	traces	0,0	traces	0,00

Nous empruntons à l'ouvrage de M. Villon les lignes suivantes, relatives à l'exploitation du minerai de nickel à la Nouvelle-Calédonie.

« Actuellement (1891) les régions riches en nickel se rapportent à trois bassins : 1° Kanala-Meri-Kuana ; 2° Thio-Port-Bouquet ; 3° Bourindi.

Le premier a été abandonné. Thio est seul en exploitation, il est plus riche et plus important que le premier ; il est aussi situé à 80 kilomètres plus près de Nouméa que Kanala.

Le troisième, le plus riche de tous, est le plus rapproché de Nouméa, sa distance à la mer est de 160 kilomètres. On n'y a pas encore touché : C'est la réserve ».

C'est la disposition en filons qui prédomine

dans le bassin de Thio, le seul que l'on exploite. Les filons sont généralement très irréguliers, et se terminent presque toujours en chapelets, à une profondeur moyenne de 80 à 100 mètres.

La richesse du minerai est aussi beaucoup plus variable que ne tendent à le faire supposer les analyses. La quantité de nickel qui s'y trouve contenu est en relation avec la couleur et la dureté du minerai.

Aussi a-t-on été amené à considérer trois qualités principales :

La variété la plus riche en nickel, en contient environ 20 $\%$, est d'un beau vert et assez dure. Celle qui en contient le moins, environ 5 $\%$, est friable et d'un blanc verdâtre. La qualité intermédiaire, qui contient 12 $\%$ de nickel, est un peu friable et d'une nuance nettement verte.

L'exploitation de la mine se fait d'une façon assez rudimentaire, quelquefois à ciel ouvert, le plus souvent en galeries, mais sans boisage, ni puits d'aération.

Une des grosses difficultés de l'entreprise est le transport du minerai à la côte. Ce transport s'effectue généralement en sacs de 25 kilogrammes, que l'on est obligé de transborder une douzaine de fois, avant d'arriver au port d'embarquement pour l'Europe.

Le prix du minerai s'en trouve par suite accru dans une très notable proportion.

Il existe en Espagne et en Sardaigne, un minerai de nickel analogue à la garniérîte, contenant de plus une certaine quantité de chaux et renfermant environ 9 % de nickel.

Il faut ajouter aux minéraux que nous venons d'indiquer, la pyrite magnétique et la chalcoppyrite nickélifères, qui sont maintenant les minerais les plus importants de nickel, depuis la découverte des gisements du Canada.

On en rencontre aussi en Espagne, en Écosse, et au Piémont (voir p. 41).

Voici quelques teneurs en nickel de ces minerais :

Composition	Piémont	Suède	Ecosse	Canada
Nickel . . .	1,2	0,5	7,1	3,1
Cuivre . . .	0,5	0,6	//	12,6
Fer	20,0	23,0	50,0	29,2
Soufre . . .	28,0	31,0	37,1	26,7
Gangue . . .	50,0	45,0	4,5	29,3

Les gisements du Canada, dont le centre est

Sudbury, près du lac Huron, n'ont commencé à être exploités que vers 1887, et en une période de deux années, la quantité de minerai extraite s'est élevée à 160 000 tonnes.

Le minerai, dont la teneur en nickel et en cuivre ne dépasse guère 3 ou 4 % pour chacun des deux métaux, se présente en énormes masses lenticulaires, en relation avec des épanchements de diorites, au milieu des gneiss du terrain Laurentien.

Les mines à proximité du chemin de fer, sont seules exploitées, mais il y a un grand nombre de gites analogues, inconnus ou inexploités par suite des difficultés du terrain, mais qui constituent, pour l'avenir, des ressources en quelque sorte illimitées.

Enfin, pour être complets, signalons que l'on emploie encore comme minerai de nickel, le résidu de l'extraction du cobalt, ou *speiss* de cobalt, dont la composition, nécessairement variable, se rapproche de la suivante :

Nickel	48,20
Cobalt	1,63
Bismuth	2,44
Fer.	0,65
Cuivre	1,93
Arsenic	42,08
Soufre	3,07

METALLURGIE DU NICKEL

—

Nous venons de voir la complexité des minerais de nickel : il doit en résulter naturellement des différences assez grandes dans les procédés d'extraction du métal.

Cependant, on peut ramener les minerais de nickel à trois groupes principaux, selon que le métal est combiné soit à l'arsenic, soit au soufre, soit à l'oxygène.

Nous aurons donc trois grandes divisions dans les modes d'extraction, suivant que l'on aura affaire :

- 1° aux minerais arséniés,
- 2° aux minerais sulfurés,
- 3° aux minerais oxydés.

Étudions successivement ces trois procédés, en examinant d'abord sur quels principes ils reposent.

Si l'on part, par exemple, d'un minerai contenant 5 % de nickel, souvent même beaucoup

moins, et 95 % de cuivre, de fer, de soufre, d'arsenic, de silice, etc., non seulement on ne saurait enlever tous ces corps étrangers d'une seule opération, mais même on ne connaît pas de procédé qui permette de transformer, d'un seul coup, ce minerai complexe en un autre plus simple, pouvant être traité par une seule réduction.

Ainsi, supposons que par un grillage poussé suffisamment loin, nous arrivions à éliminer complètement le soufre et l'arsenic, dans cette opération nous aurions oxydé en totalité le fer, le nickel et le cuivre, et nous ne pourrions réduire l'oxyde de nickel sans obtenir un métal contenant du fer et du cuivre.

Si, maintenant, on cherche à modérer l'action réductrice, une grande partie du nickel reste dans la scorie.

Le principe à suivre sera donc, par une série d'opérations successives, de grillages partiels suivis de fusions semi-réductrices, d'enrichir en nickel la matière première, en la débarrassant, le plus complètement possible, de certaines impuretés particulièrement gênantes et à transformer : les minerais arséniés de nickel en *speiss*, ne contenant plus que du nickel et du cobalt avec de l'arsenic, et de minimes quantités des

autres corps ; les minerais sulfurés en *mattes* qui, elles, ne contiendront plus que du nickel, du cuivre et du soufre.

Ces opérations préliminaires, assez compliquées en pratique, ainsi que nous le verrons plus loin, et qui consistent à transformer les minerais arséniés et sulfurés de nickel, en speiss et en mattes, portent le nom de *concentration*.

Un dernier grillage permet alors de transformer les speiss et mattes en oxydes, que l'on traite par la méthode des minerais oxydés.

Nous serons donc amenés à décrire cette méthode en dernier lieu.

I. TRAITEMENT DES MINERAIS ARSÉNIÉS

Avant de procéder à un traitement quelconque d'un minerai, il faut d'abord le trier avec soin, de manière à éliminer le plus possible la gangue, et à séparer les morceaux trop volumineux qui devront être soumis au concassage.

Il est même souvent utile de soumettre les trop gros blocs à un grillage de quelques heures, pour faciliter leur écrasement que l'on effectue ensuite, après refroidissement, dans un broyeur quelconque, de manière à amener les morceaux

à la grosseur convenable pour le traitement ultérieur, c'est-à-dire de 2 ou 3 centimètres de diamètre environ.

Concentration du minerai. — Nous avons dit que la concentration des minerais arséniés consistait essentiellement en une suite de grillages et de fusions successives, ayant pour but d'éliminer une partie de l'arsenic et des impuretés, et de transformer la masse en un arséniure riche en nickel, contenant encore un peu de cuivre, de fer et de soufre, et qu'on appelle *speiss*.

Cette concentration peut être effectuée de deux façons différentes, que nous allons examiner successivement :

- 1° par grillages,
- 2° par le convertisseur.

Concentration par grillages. — Il importe dans ce traitement des minerais arséniés d'éviter de transformer les composés de nickel en silicates, ce qui pourrait arriver si, par un grillage excessif, on transformait une quantité notable d'arséniure de nickel en oxyde, que la fusion suivante en présence de silice transformait en silicate.

M. Badoureau a indiqué dans les *Annales*

des Mines la façon dont le traitement des minerais arséniés s'effectue à l'usine de Schladming. Nous suivrons sa description.

Le minerai, mêlé à une certaine quantité de charbon de bois destiné à entretenir la combustion, est d'abord grillé dans des stalles en maçonnerie, où on l'a placé sur une couche de bois assez épaisse. La combustion, pour 20 tonnes de minerai, dure huit jours.

Ce grillage dégage de grandes quantités d'acide arsénieux, d'acide sulfureux, et même on trouve du sulfure d'arsenic qui a distillé à la partie supérieure, et que l'on recueille par des appareils de condensation appropriés.

Le minerai, ayant perdu par le grillage 10 à 12 % de son poids, est soumis à une première fusion en présence de 20 % de silice.

Une partie notable du fer qui s'était oxydée, sera transformée par la fusion en silicate, se séparant du reste à l'état de scorie. Il faut éviter dans le grillage de pousser trop loin l'oxydation, parce que la fusion suivante transformerait le nickel en silicate, qui n'abandonne pas son nickel par fusion en présence d'arsenic, tandis qu'au contraire l'arséniure de nickel peut être fondu impunément en présence de silice.

La fusion s'effectue dans un four à cuve,

alimenté constamment d'un mélange de minerai grillé additionné de 20 % de charbon de bois. Une tuyère, placée à la partie inférieure, détermine une température suffisante pour la fusion du minerai et pour permettre la séparation de la scorie, qui s'échappe d'une façon continue à la partie supérieure du creuset, pendant que le speiss se rassemble au fond, d'où on le fait sortir par un trou de coulée, et se rendre dans des bassins où il prend la forme de disques.

Le minerai grillé donne ainsi 28 à 30 % de *speiss premier*. En partant d'un minerai contenant 11 % de nickel, on obtient un *speiss premier* dont la composition moyenne est la suivante :

Nickel.	46
Cobalt	4
Fer.	8
Cuivre.	1
Arsenic	33
Soufre	1
Scories	1

Deuxième grillage et deuxième fusion.—

Le *speiss premier* va être soumis aux mêmes opérations que le minerai primitif, c'est-à-dire concassé, puis grillé, mais cette fois dans un four à réverbère. A Schladming, le chauffage se fait au bois.

Il se dégage surtout dans cette opération, dans laquelle l'oxydation doit être ménagée, de l'acide arsénieux.

Le speiss premier grillé, est soumis à une deuxième fusion, effectuée exactement dans les mêmes conditions et dans le même appareil que la première, en perdant 20 % de son poids.

On obtient ainsi un *speiss deuxième*, dont la composition se rapproche de la suivante :

Nickel	54
Cobalt	5
Cuivre	1,5
Fer	4
Arsenic	34,5
Soufre	1

Troisième grillage et affinage. — Enfin, le speiss troisième est grillé comme le speiss deuxième, puis soumis à une deuxième fusion qui est en même temps un affinage.

Cette fusion est effectuée dans un four à réverbère, dit four hongrois, muni de deux tuyères qui débouchent sur la sole.

Quand le speiss est fondu, on l'affine par un courant d'air énergique, en même temps que l'on scorifie le fer par addition d'un mélange de silice et de carbonate de soude.

Cette opération, qui demande en général

vingt-quatre heures, permet d'obtenir un speiss concentré, ou speiss riche, renfermant :

Nickel	63
Cobalt.	7
Cuivre	2
Arsenic	27
Fer	2

Avec un minerai pauvre contenant 4 à 5 % de nickel, on obtiendrait de même un speiss concentré à 50 % de nickel.

Concentration au convertisseur. — Le procédé que nous venons d'indiquer est long et coûteux, à cause de la main-d'œuvre et du combustible. Il n'est guère employé que dans les pays où ce dernier se trouve sur place à bas prix et où les transports sont difficiles.

Aussi a-t-on cherché à appliquer aux minerais de nickel le traitement qui avait si bien réussi à M. Manhès pour les minerais de cuivre.

Ce procédé a d'abord été appliqué, ainsi que nous le verrons plus tard, aux minerais sulfurés, mais on l'emploie également pour les minerais arséniés et en suivant le même mode opératoire que pour les premiers. Pour ne pas nous répéter, nous ne décrirons pas ce procédé pour l'instant, mais nous le développerons un peu plus loin

avec détails, quand nous parlerons du traitement des minerais sulfurés.

Traitement du speiss. — Le speiss riche, ayant été obtenu par l'une ou l'autre des méthodes que nous venons d'indiquer, est ensuite traité pour en extraire le nickel, de la façon suivante :

Après l'avoir finement concassé, on le grille à fond, sur la sole d'un four à réverbère, puis on ajoute un peu de poussier de charbon de bois, et on continue le grillage pendant quelques heures en ajoutant, en trois fois, 10 % d'un mélange à parties égales de nitre et de carbonate de soude.

On fait ainsi passer tous les métaux à l'état d'oxydes, en transformant l'arsenic en arséniate alcalins.

La masse refroidie, est concassée et soumise à des lessivages, destinés à enlever les arséniate de soude et de potasse.

Il reste un résidu noir, composé surtout d'oxyde de nickel, avec un peu d'oxydes de cobalt, de fer, de cuivre.

Ce résidu, bien lavé, est dissous à l'ébullition dans l'acide chlorhydrique étendu d'eau : il reste une petite quantité de matière noire inso-

luble. On fait alors passer dans la liqueur claire un courant d'hydrogène sulfuré, pour précipiter le cuivre, et l'arsenic s'il en reste un peu ayant échappé à l'oxydation.

Dans le liquide décanté, on dose le fer, et l'on ajoute une quantité calculée de chlorure de chaux de façon à peroxyder tout le fer, que l'on précipite par addition de carbonate de chaux. Après s'être débarrassé ainsi du fer, on peroxyde de même le cobalt et on le précipite de la même façon. Enfin, dans la liqueur qui ne contient plus en fait de métaux lourds que du nickel, on précipite ce dernier par un lait de chaux.

Nous reviendrons d'ailleurs sur ce traitement final, à propos des minerais sulfurés.

II. TRAITEMENT DES MINERAIS SULFURÉS

Les difficultés que nous avons signalées à propos du traitement des minerais arséniés, se rencontrent également pour les minerais sulfurés. On se trouve en présence d'une matière première contenant peu de nickel, ou de cobalt, mais beaucoup de fer, avec du cuivre et du soufre.

Il faut, par une série de grillages ménagés,

suivis de fusions en présence de matières siliceuses, faire passer tout le fer dans la scorie à l'état de silicate, tandis que le nickel reste avec le cobalt et le cuivre à l'état de sulfures, plus ou moins mêlés d'oxydes.

On obtient ainsi des *mattes*, analogues aux speiss résultant du traitement des minerais arséniés, et qui servent de point de départ pour le traitement définitif.

Le traitement des minerais sulfurés de nickel étant beaucoup plus important que celui des minerais arséniés, nous nous y étendrons davantage.

Concentration par grillages. — Le minerai que l'on emploie le plus fréquemment est une pyrite contenant de 1 à 3 % de nickel.

Le premier grillage s'effectue en tas, ou en stalles. Le grillage en tas, qui tend à être de moins en moins employé, est réalisé d'une façon très simple. On place le minerai sur un lit de fagots, disposés sur une aire plane ; on forme ainsi une pyramide, contenant jusqu'à 300 tonnes de minerai, dans laquelle la combustion est activée par des événements.

Dans ce procédé très primitif, l'oxydation, qui dure de six semaines à deux mois, est très iné-

gale. De plus, on perd presque tout le soufre, et l'on cause de grands dommages aux environs.

Au Canada, où l'on opère dans une région inculte, et peu peuplée, le grillage se fait exclusivement en tas, au moyen du bois fourni en abondance par les forêts voisines.

On fait des tas de 5 à 600 tonnes, dont le grillage dure deux mois, en répandant des quantités d'acide sulfureux. Généralement, on dispose deux tas à 2 mètres l'un de l'autre, puis, lorsque la combustion est à moitié terminée, on garnit l'intervalle qui les sépare d'une couche de fagots, et l'on charge un nouveau tas entre les deux premiers. Ce tas supplémentaire, d'un volume moindre que les premiers, se grille en même temps qu'eux, et permet de diminuer d'un tiers la surface de grillage pour un poids donné, en même temps qu'elle achève la combustion du minerai sur les faces en contact.

Cette méthode est désignée sous le nom de *grillage en V*.

En Europe, on a toujours recours au grillage en cases ou en stalles.

Ce sont généralement des chambres en maçonneries, où l'on dispose le minerai et le combustible par couches successives, à peu près comme dans le grillage en tas.

Mais ici, on a la ressource de régler le tirage et l'on peut recueillir les produits de la combustion, ou tout au moins s'en débarrasser sans incommoder le voisinage. La combustion est aussi beaucoup plus régulière.

Le premier grillage est suivi d'une première fusion, effectuée dans un four à cuve, formé de deux troncs de cône assemblés par leur base. Pour cela, le produit du premier grillage est concassé, additionné de 10 % de scories, et de 20 à 25 % de substances siliceuses, telles que quartz, argile. Puis, le four étant porté au rouge, on y charge, d'une façon continue, le mélange précédent mêlé à 15 ou 20 % de coke.

La matte, surmontée de scorie, se rassemble au fond du creuset, on l'évacue de temps en temps, par un trou de coulée, dans un bassin, pendant qu'on enlève la scorie qui surnage.

A Sudbury, la fusion du minerai s'effectue dans un four à circulation extérieure d'eau froide, du système dit water-jacket, en tôle d'acier, avec briques réfractaires dans le fond. Un dôme en tôle, garni de briques, conduit les fumées à une chambre à poussières, avant de passer à la cheminée.

Une rangée de tuyères permet d'obtenir la température nécessaire à la fusion de la matte et

de la scorie, qui sont reçues dans un avant-creuset en relation avec le four.

On obtient de cette façon des mattes contenant de 18 à 20 % de cuivre et 24 à 26 % de nickel.

Affinage. — On a préparé ainsi une *matte première*, que l'on va soumettre aux mêmes opérations que le minerai primitif, c'est-à-dire au broyage, suivi d'un grillage et d'une fusion.

Le grillage de la matte première s'effectue soit dans des stalles, comme pour le minerai, soit plutôt dans des fours à réverbère, à marche intermittente ou continue.

La matte doit être en morceaux de 2 à 3 centimètres de diamètre au plus, on l'étend en couche peu épaisse sur la sole du four, et des ouvriers renouvellent de temps en temps les surfaces, en brassant la matière avec des ringards, par les portes de travail. Ce grillage dure vingt-quatre heures.

La fusion pour matte seconde s'effectue exactement dans les mêmes conditions que la fusion pour matte première, et donne un produit, dans lequel le nickel, le cuivre, le fer et le soufre se trouvent en parties à peu près égales.

Le troisième grillage est fait au four à réverbère, ou dans des stalles, comme le deuxième.

Enfin, la dernière fusion, ou fusion pour matte blanche, est faite comme les deux précédentes, soit au four à cuve, soit mieux au four à réverbère, avec addition de quartz ou de verre.

La matte blanche contient en général :

Nickel	35 à 40
Fer	0,5
Cuivre	40
Soufre	20 à 25

Cette matte blanche ainsi obtenue, est raffinée de la façon suivante : On l'introduit, en morceaux assez gros, sur la sole d'un four à réverbère, qui peut en contenir environ 3 000 kilogrammes, et on cherche, par une oxydation bien conduite, à en éliminer tout le soufre.

Pour cela, on rôtit d'abord au rouge sombre, pour oxyder le métal, et brûler une partie du soufre ; puis en élevant la température, on amène toute la masse en fusion, pour faire réagir les oxydes métalliques sur le soufre qui s'y trouve encore.

Le rôtissage dure six heures, en évitant avec soin la fusion ; puis on fait arriver un excès d'air qui provoque d'abord une élévation de température, et le ramollissement de la charge ; la masse pâteuse se boursoufle, par le dégagé-

ment de gaz sulfureux provenant de la réaction des oxydes sur les sulfures. Il en résulte un véritable brassage favorisant l'oxydation ; on ferme alors les portes du four, la température continue à s'élever et on donne un dernier coup de feu pour fondre et couler la masse.

La matte raffinée contient 50 à 55 % de nickel, avec du cuivre, et fort peu de fer et de soufre.

La plupart des oxydes étrangers ont été scoriifiés au contact de la sole du four.

La matte raffinée représente en poids, tout au plus 2 % du minerai qui l'a fournie.

Concentration au convertisseur. — Nous pouvons répéter, au sujet du mode de concentration qui précède, ce que nous avons déjà dit à propos des minerais arséniés, à savoir que la concentration par grillage est longue et coûteuse.

Dès que le procédé Bessemer eut fait son apparition pour l'affinage de la fonte, on fut tenté de l'appliquer au traitement des minerais de cuivre et de nickel.

Nous savons, en effet, que le minerai de fer, traité par le haut fourneau, est séparé de sa gangue, et transformé en fonte, c'est-à-dire en carbures et siliciures de fer et de manganèse. De

même, quand on soumet le minerai sulfuré de nickel à une première fusion, on obtient un composé sulfuré brut formé de sulfures de nickel, de cuivre et de fer.

Or, par l'emploi du Bessemer, on peut se débarrasser du silicium, du manganèse et du carbone ; ne peut-on pas aussi se débarrasser du soufre et du fer, qui sont plus oxydables que le nickel et que le cuivre ?

Mais il faut remarquer qu'il y a cependant des différences notables entre les deux cas. Les éléments à oxyder ne représentent, en effet, que 10 % au plus du poids de la fonte, tandis que dans le cas du nickel comme dans celui du cuivre, on a 70 à 80 % de substances étrangères à éliminer. De plus, le silicium et le carbone de la fonte dégagent, en s'oxydant, beaucoup plus de chaleur que le soufre et le fer des mattes ; mais aussi l'affinage de la matte demande moins de chaleur que celui de la fonte, les chaleurs spécifiques du cuivre et du nickel, qui forment le reste, étant moindres.

Les essais préliminaires ont été tentés d'abord sur le cuivre, auquel s'applique tout ce que nous venons de dire et dont la métallurgie a une *importance bien plus grande que celle du nickel.*

Nous sommes donc amenés à dire quelques mots des essais tentés avec le cuivre.

Ce n'est guère qu'en 1880 que les premiers résultats pratiques furent obtenus par M. Manhès à Védènes (Vaucluse).

On opérait sur une matte à 25 ou 30 % de cuivre, préalablement fondue dans un creuset, et que l'on introduisait dans une petite cornue Bessemer ordinaire, à insuflation par le fond.

Au début de l'opération, le bain conservait sa fluidité, grâce au dégagement de chaleur produit par l'oxydation du fer et du soufre. Mais quand une quantité notable de cuivre était épurée, ce métal plus dense, se rassemblait au fond, et ne tardait pas à se figer en obstruant les tuyères, pendant qu'à la surface la réaction devenait tumultueuse, en amenant des projections de scories. On était, par suite, obligé de couler avant l'épuration complète, sous peine de voir le bain se prendre en masse.

Cet inconvénient fut évité en faisant déboucher les tuyères sur les parois latérales. De cette façon, le cuivre affiné n'était plus traversé par un courant d'air froid, et pouvait se maintenir liquide jusqu'à la fin de l'opération.

M. Manhès a aussitôt cherché à appliquer son procédé au traitement des minerais sulfurés et

arséniés de nickel, et réussit à obtenir de bons résultats, au moyen de quelques modifications que nous allons indiquer.

On part de la matte première, c'est-à-dire du minerai grillé une première fois et fondu, débarrassé par conséquent de sa gangue et ne contenant plus que du nickel, du cuivre, du fer et du soufre.

Cette matte en fusion est coulée dans une cornue de fer, garnie intérieurement d'un revêtement très siliceux. On fait alors passer, à l'intérieur de la masse fondue, un courant d'air qui oxyde le fer et brûle le soufre. Ce dernier se dégage à l'état de gaz sulfureux, pendant que l'oxyde de fer donne avec la silice du revêtement un silicate très fusible, formant scorie.

On obtient donc ici, à la fois, les deux effets que l'on recherchait dans les opérations précédentes, c'est-à-dire le grillage et la fusion de la matte, mais avec une énergie telle qu'en un quart d'heure l'opération est terminée.

M. Manhès se servait primitivement d'un convertisseur Bessemer, pouvant recevoir une charge de 1 000 kilogrammes de matte fondue.

Cette cornue était garnie intérieurement de briques très siliceuses, et les tuyères formaient une couronne circulaire à 0,40 du fond.

L'appareil était d'abord porté à la température du rouge, puis on y introduisait la matte en fusion et l'on faisait marcher la soufflerie, sous une pression suffisante pour traverser toute la masse.

Au début la réaction est très violente, et il se dégage d'épaisses fumées blanches métalliques, avec beaucoup de gaz sulfureux, et une flamme verdâtre assez longue sort du col de la cornue.

La scorification du fer marche parallèlement à l'oxydation du soufre, et met souvent dans la nécessité de faire des décautions, quand la matte est pauvre. Néanmoins, la garniture siliceuse de la cornue supporte dix opérations.

Voici quelques-uns des résultats publiés par M. Manhès.

En partant d'une pyrite de fer contenant 2,5 % de nickel, que l'on a soumise à un grillage en stalles à deux feux, suivi d'une fusion, avec 20 % de coke, au four à cuve, on a obtenu une matte première contenant :

Cuivre.	5,86
Nickel.	16,30
Fer et soufre	77,84

Cette matte a été introduite dans la cornue Bessemer modifiée, et soumise à l'action d'un courant d'air oxydant. On a prélevé des échan-

tillons au fur et à mesure de la marche de l'oxydation, et on a obtenu les chiffres suivants.

Après cinq minutes, la matte et la scorie contenaient :

Produits	Matte	Scorie
Cuivre.	11,00	0,06
Nickel.	50,73	1,51
Fer et soufre	58,27	//

Après dix minutes, le fer et le soufre avaient encore diminué et la composition était la suivante :

Produits	Matte	Scorie
Cuivre.	14,13	0,5
Nickel.	51,80	3,0
Fer et soufre	35,67	//

Enfin, après seize minutes :

Produits	Matte	Scorie
Cuivre.	11,30	0,30
Nickel.	50,66	10,05
Fer.	1,20	//
Soufre.	17,44	//

Ce résultat indique que déjà le nickel passe abondamment dans la scorie.

Il convient donc de ne pas chauffer trop longtemps et de laisser dans la matte 0,5 de fer au moins, et ceci pour plusieurs raisons :

1° Lorsqu'il y a dans la matte moins de 1 à 0,5 % de fer, le nickel commence à s'oxyder énergiquement, aussi vite que le soufre, ainsi que le montre l'exemple qui précède.

2° La matte concentrée renfermant encore du soufre est plus friable et s'attaque mieux par les acides.

3° Enfin, quand il n'y a plus de fer, la température s'abaisse, et le bain tend à se prendre en masse d'autant plus vite que le nickel est plus pur.

D'ailleurs, la scorie qui renferme encore 5 % de nickel est employée comme fondant siliceux pour préparer la matte première.

Dans l'exemple qui précède, on voit que l'on peut, en une seule opération, passer d'une matte première à 16 % de nickel, à une matte riche contenant 70 %, et cela en quelques heures, en évitant toute la série des grillages suivis de fusions, si longue et si dispendieuse.

Fourneau convertisseur. — Maintenant, M. Mauhès a remplacé la cornue Bessemer par

un fourneau convertisseur qui se prête mieux aux différentes phases de l'opération.

Cet appareil, qui a une certaine ressemblance avec les fourneaux tournants à soude, se compose d'un cylindre en tôle, garni intérieurement de briques siliceuses, et monté sur un chariot à quatre roues, qui permet de le déplacer sur des rails.

De plus, le fourneau peut, sur son bâti, pivoter autour de son axe, de manière à prendre les inclinaisons convenables, suivant les instants de la fabrication. On règle le mouvement au moyen d'une manivelle et d'un demi-cercle denté, fixé sur le cylindre.

Sur un des côtés du cylindre se trouve une rangée de tuyères, mais qui sont dirigées obliquement par rapport à la surface de ce dernier.

La boîte à vent, qui alimente les tuyères, est en relation avec un tuyau flexible amenant l'air d'une soufflerie et pouvant suivre les déplacements du cylindre autour de son axe.

De même que dans les fours tournants à soude, les deux faces opposées du cylindre de tôle sont ouvertes d'un côté pour l'arrivée de la flamme d'un gazogène, de l'autre pour la sortie des produits de la combustion.

La manœuvre de cet appareil est relativement

simple : on commence par porter l'intérieur du cylindre au rouge, en y faisant passer les gaz chauds d'un gazogène ; puis on incline le four sur son axe pour le charger, après quoi on le relève, en maintenant la rangée de tuyères à la partie inférieure, de façon à obliger l'air de la soufflerie à traverser la totalité de la masse en fusion.

Au fur et à mesure des progrès de l'affinage, on incline de plus en plus le four, de sorte qu'à la fin de l'opération le vent des tuyères ne fait plus qu'effleurer la surface du bain. En même temps, on profite de la position inclinée du convertisseur pour faire couler les scories.

Pour ménager les parois du fourneau et pour hâter la scorification du fer, on injecte de temps en temps dans l'appareil du sable fin, en ouvrant la valve d'une boîte fixée sur le conduit principal, venant de la soufflerie.

Quand l'opération est terminée, on arrête le vent et on renverse complètement le fourneau. La masse liquide est coulée dans les poches destinées à la recevoir et l'appareil est prêt pour une nouvelle opération.

M. Villon a introduit à la méthode que nous venons de décrire un perfectionnement, qui consiste à faire agir la vapeur d'eau surchauffée.

Voici ce que dit cet auteur, dans son ouvrage sur la Métallurgie du Nickel et du Cobalt.

« Nous avons reconnu que, dans la concentration de la matte au convertisseur, si l'on injectait de temps à autre de très fins filets de vapeur surchauffée, on pouvait éliminer complètement le fer, sans perdre sensiblement de nickel. Nous en avons déduit le mode de traitement suivant, qui semble donner les meilleurs résultats économiques.

Grillage. — Nos essais ont été effectués sur une pyrite ayant pour composition :

Nickel	3 0/0
Cuivre	1 //
Fer	20 //
Soufre	30 //

Nous opérons le grillage dans un courant d'air comprimé et nous condensons l'acide sulfureux produit, dans une tour à coke. Le minerai, trié et concassé en morceaux de la grosseur d'un œuf, est chargé dans des cornues en terre réfractaire à section ovale, analogues à celles que l'on emploie dans les usines à gaz et disposées au nombre de cinq, dans un four chauffé en gazogène, comme cela se pratique dans ces mêmes usines. Chaque cornue reçoit une tonne de minerai. L'air comprimé arrive par la face

antérieure, et sort chargé d'acide sulfureux, par un tuyau adapté à la tête de la cornue, laquelle est en fonte et enduite de terre réfractaire. Le minerai est chargé à la température de 280-300°. Le grillage dure quatre heures.

Ce mode de grillage enlève 10 % de soufre à l'état d'acide sulfureux. On recueille en moyenne, par tonne de minerai, 1 500 litres d'une dissolution d'acide sulfureux à 10 %. Nous nous servons de cet acide pour isoler le nickel par voie humide, comme il sera dit plus loin.

Fusion. — La fusion s'opère dans un four à manche, avec 20 % de scories provenant du convertisseur, et 20 % de quartz. On a une matte renfermant :

Nickel.	15,40
Fer.	38,80
Cuivre	3,86
Soufre	38,00

Concentration. — La concentration de la matte se fait dans un convertisseur Manhès et en trois temps :

1° Soufflage de cinq minutes, sans aucune addition de vapeur ni de quartz ;

2° Soufflage de deux minutes à la vapeur surchauffée à 200° et renversement du convertisseur pour lâcher les scories ;

3^o Soufflage de sept minutes avec introduction de quartz en poudre.

En opérant de cette façon, nous avons obtenu une matte ayant pour composition :

Nickel	68	⁰ / ₁₀₀
Cuivre	30	//
Soufre	2	//
Fer		traces //

Extraction du nickel des mattes. — Nous venons de voir les procédés au moyen desquels on a transformé le minerai sulfuré de nickel en une matte, c'est-à-dire en un culot contenant du nickel et du cuivre, avec des proportions variables de fer et de soufre.

Pour en extraire le nickel, on leur fait subir un traitement par voie humide ou par voie sèche.

Voie humide. — Le traitement par voie humide est analogue à celui que nous avons indiqué pour les speiss et consiste essentiellement à dissoudre les mattes dans l'acide chlorhydrique après un grillage préalable ; on évapore à sec la dissolution et on calcine le résidu pour se débarrasser de la plus grande partie du fer, puis on reprend par l'eau et dans cette nouvelle solution, après avoir peroxydé le fer par addition convenable de chlorure de chaux, on le précipite

par le carbonate de chaux, on passe au filtre-
presse, et dans la liqueur filtrée, on précipite
le nickel par un lait de chaux.

Voici comment on opère : La matte provenant
soit du traitement ordinaire, soit du procédé
Bessemer, est concassée en morceaux ne dépassant pas 250 grammes, puis grillée à fond dans
un four à réverbère, ce que l'on appelle un
grillage à mort, pendant douze heures.

La masse refroidie est pulvérisée et placée
dans des vases en grès, chauffés au bain-marie par
de l'eau maintenue à température convenable
par un barbotage de vapeur. On met dans les
vases de grès, de l'acide chlorhydrique ordinaire
à 22° B., dans la proportion de 250 litres pour
100 kilogrammes de matte pulvérisée.

L'acide ne doit être ajouté que peu à peu, à
cause de l'attaque violente de la matte, et du vif
dégagement d'acide sulfhydrique pouvant faire
déborder le liquide.

Généralement, on emploie deux batteries com-
posées chacune de trois vases de dissolution et
d'un récipient de dépôt, d'une capacité voisine
d'un mètre cube.

Les gaz qui se dégagent sont, soit éliminés par
une haute cheminée, soit transformés en acide
sulfureux et bisulfites alcalins.

L'attaque terminée, on décante dans le vase de dépôt, on recharge de nouvelle matte, et une nouvelle attaque recommence. La dissolution est évaporée à sec dans un four Porion, dont les palettes en fonte sont garnies de terre réfractaire. Le mélange de chlorures de fer, nickel, cobalt et cuivre ainsi obtenu, est calciné pendant plusieurs heures sur la sole d'un four à réverbère, en même temps qu'on le brasse continuellement. Le chlorure de fer, sous l'influence de l'air humide, se transforme partiellement en sesquioxyde de fer, pendant qu'une autre partie est volatilisée à l'état de chlorure.

On reprend la masse calcinée par dix fois son poids d'eau bouillante, on dose le fer dans la solution et l'on ajoute la quantité calculée de chlorure de chaux pour transformer le protochlorure de fer en perchlorure. On emploie une bouillie de chlorure de chaux délayée dans cinq fois son poids d'eau, on fait bouillir un quart d'heure après l'addition du réactif. On ajoute alors une quantité également calculée de craie en poudre pour précipiter tout le fer, et on maintient une heure à l'ébullition.

Dans le cas de mattes riches en nickel, comme les mattes Bessemer, on fait l'oxydation par addition d'eau de chlore, en opérant à 80° seule-

ment. On traite ensuite par la craie comme ci-dessus.

On passe au filtre-pressé, et dans la liqueur filtrée on dose le cobalt. Les eaux de lavage du résidu servent à dissoudre la matière calcinée au four à réverbère.

On procède pour l'élimination du cobalt exactement comme pour celle du fer, en peroxydant le cobalt soit au moyen du chlorure de chaux, soit par l'eau de chlore, et l'on traite ensuite par la craie. On filtre comme précédemment, et dans la liqueur filtrée, on précipite enfin le nickel par un lait de chaux, en quantité calculée d'après la proportion de nickel déterminée par l'analyse.

Quelquefois on précipite la plus grande partie du nickel par la chaux et on termine par la soude.

Le précipité d'oxyde de nickel recueilli sur le filtre-pressé et bien lavé, est étalé sur une épaisseur de 25 centimètres sur la sole d'un four à réverbère et calciné douze heures. On constate que son volume diminue considérablement.

On peut remplacer la chaux par la magnésie, et le carbonate de chaux par le carbonate de magnésie. On peut alors en retirer l'acide chlorhydrique qui entre de nouveau en réaction.

Voici les proportions de réactif à employer

que donne M. Villon pour une matte à 30 % de nickel.

Matte	100
Acide chlorhydrique	250
Chlorure de chaux	70 (22 de chlore)
Carbonate de chaux	100
Chaux	25

On obtient ainsi :

Oxyde de nickel	45
// cobalt	10

Avec une matte plus riche contenant :

Cuivre	20
Nickel	65
Fer	2
Soufre	13

Il faut employer les quantités suivantes :

Acide chlorhydrique	200
Chlore	1
Carbonate de chaux	3
Chaux	70

Ce qui fournit 120 d'oxyde de nickel.

Voie sèche. — La voie humide présente de notables inconvénients : en effet, l'oxyde de nickel précipité contient une partie des impuretés amenées par la chaux ; si, par exemple, on opère en présence de sulfates, il reste une quantité importante de sulfate de chaux dissous dans le li-

quide qui imprègne le volumineux précipité d'oxyde hydraté. Quand on réduira l'oxyde par le charbon, ce sulfate sera réduit et introduira ainsi du soufre dans le métal. On peut, il est vrai, enlever ce sulfate de chaux en dissolvant le précipité dans l'acide chlorhydrique, traitant par le chlorure de baryum qui élimine l'acide sulfurique, puis reprécipitant l'oxyde par la chaux, ou simplement traitant l'oxyde desséché par le carbonate de soude en fusion.

Mais ces procédés sont coûteux, ils ne sont pas pratiques pour des traitements en grand. Ils exigent beaucoup de place et de main-d'œuvre, pour donner un oxyde qui, après passage à la presse, retient encore 60 % d'eau.

Le traitement par voie sèche est plus simple et plus économique, mais il ne permet pas de débarrasser le nickel du cuivre.

On ne peut donc l'employer que pour les mattes de la Nouvelle-Calédonie dépourvues de cuivre, ou pour les mattes cuivreuses que l'on veut affiner pour métal blanc.

La matte ayant, par exemple, la composition suivante :

Nickel et cuivre	75
Soufre	24
Fer	0,5
Impuretés	0,5

est broyée et tamisée, puis grillée pendant huit heures par 600 kilogrammes à la fois, en chauffant au rouge vif à la fin de l'opération.

La matière, qui ne doit plus contenir que 1 % de soufre, est soumise à un nouveau broyage et passée au tamis 120, puis grillée au rouge vif pendant six heures.

Après ce dernier grillage, on n'obtient que de l'oxyde, gris vert si l'on opère sur du nickel pur, noir s'il est mélangé de cuivre.

Nous verrons plus loin le traitement que doit subir cet oxyde pour être transformé en métal.

Procédé par fusion en présence des chlorures. — M. Manhès a proposé de débarrasser le nickel brut du soufre, par fusion en présence de fondants tels que la chaux, avec addition de chlorure de calcium.

Une partie du soufre est éliminée à l'état d'acide sulfureux, et une partie se combine aux réactifs ajoutés pour former un sulfure basique ou alcalin.

La fusion s'effectue sur sole, ou au creuset, dans un appareil quelconque, sauf la condition de pouvoir supporter l'action du chlorure à température élevée. On prend de préférence un four à sole, chauffé par un gazogène, avec garniture intérieure basique.

Le four ayant atteint la température convenable, on le garnit du mélange de chaux et de chlorure, sur lequel on place le nickel grenailé, ou concassé. On ferme la porte du four, et on chauffe lentement et graduellement, jusqu'à fusion du métal, qui perd une partie de son soufre à l'état d'acide sulfureux. Le nickel coule et en raison de sa plus grande densité il traverse le mélange et se désulfure complètement.

La scorie de sulfure de calcium surnage, et on coule le métal qui est assez pur commercialement.

La scorie retient un peu de nickel que l'on récupère en la faisant repasser au four.

Procédé Herrenschildt. — Ce procédé, qui semble devoir se substituer à tous ceux qui précèdent, ne met pas en jeu des masses énormes de précipité, toujours très difficiles à laver et à traiter.

Bien qu'il soit employé depuis plusieurs années, notamment au Canada et à l'usine du Petit-Quevilly, près de Rouen, le détail des opérations n'est pas encore bien connu.

Le minerai sulfuré est traité par grillage et fusion, de manière à obtenir une matle contenant par exemple, 30 $\frac{0}{100}$ de cuivre, 10 à 20 $\frac{0}{100}$ de nickel et le reste en fer et soufre.

La matte broyée est dissoute dans l'acide chlorhydrique, ou bien elle est oxydée par un grillage méthodique, de manière à former des sulfates, que l'on lessive, et traite ensuite par le chlorure de calcium.

Dans ce cas, il se forme un précipité de sulfate de chaux et la liqueur contient le fer, le cuivre et le nickel, à l'état de chlorures.

On ajoute alors au mélange de sulfate de chaux et de chlorures, une quantité calculée d'hydrate ou de carbonate de cuivre, ou plutôt de chaux ou de carbonate de chaux, de façon à précipiter presque tout le fer et un peu de cuivre.

En portant à l'ébullition, au moyen d'un courant de vapeur qui traverse la masse, on arrive à précipiter tout le fer, tandis qu'une quantité de cuivre correspondante se redissout.

Cette réaction est tout à fait analogue à celle que l'on emploie depuis longtemps pour débarasser le sulfate de cuivre brut du fer qu'il contient.

On filtre et on se trouve donc en présence d'une liqueur qui ne contient plus que du cuivre et du nickel.

On en précipite une partie par la chaux ou le carbonate de soude. A froid, en présence de

l'oxyde ou du carbonate de nickel précipités, il se fait une cémentation, le nickel se dissout et le cuivre se précipite.

On peut arriver ainsi, en calculant convenablement les proportions, à débarrasser la liqueur de tout le cuivre qu'elle contient.

Cette liqueur, traitée par la chaux, donne de l'oxyde de nickel et du chlorure de calcium. On peut aussi l'évaporer et transformer le sel de nickel en oxyde par grillage.

Une variante de ce procédé consiste à enlever le cuivre avant le fer.

Pour cela, la matte ayant été grillée, puis mise en solution comme nous l'avons vu, on met en digestion dans la liqueur une partie de la matte que l'on a réservée.

Le cuivre de la liqueur se précipite, pendant que des quantités équivalentes de fer et de nickel se dissolvent. Il ne faut pas oublier que nous nous trouvons ici en présence des sulfures et non des oxydes.

Si on a employé une quantité suffisante de sulfures de nickel et de fer, tout le cuivre sera déplacé.

On enlève ensuite facilement le fer de la liqueur décuivrée, par addition d'oxyde de nickel, ou mieux de chaux qui précipite une partie du

nickel à l'état d'oxyde, lequel se redissout en déplaçant le fer.

M. de Coppet a fait breveter une modification du procédé précédent, qui consiste à attaquer la matte, préalablement déferrée, par l'acide sulfurique ou l'acide chlorhydrique, employés en quantité insuffisante : le sulfure de cuivre se dissout plus aisément que ceux de nickel et de cobalt, et l'on s'arrange pour avoir 63^{kg},5 de cuivre pour 59 kilogrammes de nickel et de cobalt non dissous.

La liqueur cuprique est la liqueur d'attaque. Les résidus non dissous, lavés et séchés, sont soumis à l'action de gaz réducteurs, à une température ne dépassant pas le rouge sombre ; la masse pulvérulente obtenue est mise en contact à froid avec la liqueur cuprique : le cobalt passe à l'état de sulfate et le cuivre est précipité.

Quand il n'y a plus de cobalt dans la masse, on change de liqueur cuprique et on opère à chaud.

Le nickel précipite alors le cuivre, et passe en dissolution. On a donc deux solutions, l'une pour le cobalt, l'autre pour le nickel.

III. TRAITEMENT DES MINÉRAIS ARSÉNIO-SULFURÉS

Le traitement d'un minerai arsénié et sulfuré se déduirait de ce qui précède.

Aussi, comme ce genre de minerai est assez rarement employé maintenant, nous n'allons indiquer que brièvement la marche à suivre pour le cas d'un minerai renfermant nickel, cobalt, cuivre, plomb, argent, antimoine, soufre, arsenic.

Voici, d'après M. Villon, la série des opérations à effectuer.

1. Grillage en stalles à deux ou trois feux.
2. Fusion dans un four à cuve; on obtient, d'une part, un plomb argentifère, de l'autre, un speiss riche en nickel, cobalt, arsenic, soufre, une matte de cuivre et des scories. Lorsque le minerai ne renferme pas assez d'arsenic pour entraîner tout le nickel et le cobalt dans le speiss, on en ajoute à la fusion.
3. Le speiss est grillé au réverbère.

4. Fusion du speiss grillé avec du sulfate de baryte ou de chaux. On a une matte de cuivre et un speiss enrichi.

5. Concentration du speiss au Bessemer ou au four hongrois.

6. Grillage au réverbère avec addition d'abord de poussier de charbon, puis du mélange de nitre et de sel de soude.

7. Lessivage.

8. Dissolution dans l'acide sulfurique étendu et filtration.

9. Précipitation de l'argent par le sel marin et filtration.

10. Précipitation de l'arsenic, de l'antimoine et du cuivre par un courant d'hydrogène sulfuré.

11. Peroxydation du fer et précipitation.

12. Précipitation du cobalt.

13. Précipitation du nickel par la chaux.

14. Lavage, essorage, calcination du précipité.

15. Les mattes de cuivre, obtenues en 2 et 3 renfermant un peu de nickel, sont traitées par les méthodes indiquées pour les minerais sulfurés.

Exemple de la composition d'un minéral complexe de nickel :

Nickel.	5,15
Cobalt	3,07
Oxyde de fer (magnétique)	59,53
Plomb.	12,46
Silice	3,51
Cuivre	3,22
Soufre	6,84
Arsenic	3,29
Antimoine	2,51
Total	<hr/> 99,57

IV. — TRAITEMENT DES MINÉRAIS OXYDÉS

Le traitement des minerais oxydés de nickel est plus simple que celui des minerais arséniés ou sulfurés ; cependant, les procédés qui ont été proposés sont assez nombreux, et peuvent être rapportés à trois groupes principaux : les procédés employant exclusivement la voie sèche ; ceux qui n'emploient que la voie humide, et enfin les procédés mixtes.

Nous commencerons d'abord par exposer rapidement le traitement par la voie sèche qui n'est presque plus employé aujourd'hui.

Traitement par la voie sèche. — On peut, dans le traitement par voie sèche, ou bien réduire complètement le mélange des oxydes qui se trouvent dans le minerai, mais alors on est obligé de procéder à un affinage pour obtenir le métal ; ou bien, on peut s'arranger de façon à ne réduire que l'oxyde de nickel seul, de manière à n'avoir plus dans la masse que ce dernier à l'état métallique : on l'en sépare en mettant à profit la propriété qu'il possède d'être attirable à l'aimant.

Le premier mode opératoire a été réalisé en 1877, par M. Garnier à Nouméa, et nous allons exposer les résultats qu'il a obtenus ainsi.

Réduction totale. — Le minerai, trié et concassé, est mêlé à un léger excès de charbon, puis passé dans un haut fourneau qui diffère à peine de ceux employés dans la métallurgie du fer.

Les phases de l'opération sont, d'ailleurs, les mêmes, et on prépare une fonte de fer contenant une forte proportion de nickel.

M. Garnier a donné les analyses de deux de ces fontes :

Fer	58,0	23,30
Nickel	35,1	71,50
Chrome, manganèse et cobalt	1,5	„
Carbone	3,0	1,72
Silicium	2,4	2,40
Soufre	„	0,55

Il faut ensuite affiner la fonte au four à réverbère, ou au Bessemer, en poussant l'opération beaucoup plus loin que dans l'affinage ordinaire.

On profite, en effet, de ce que le fer s'oxyde plus rapidement que le nickel, il disparaît même avant le soufre.

De sorte qu'en faisant réagir l'air, on constate que le carbone et le silicium partent d'abord, puis le chrome, le manganèse et le fer qui passent dans la scorie, et enfin le soufre. Le nickel reste le dernier, et la température est assez élevée pour permettre de le couler.

Ce procédé n'est plus guère employé maintenant que pour préparer des alliages de fer et de nickel.

On a apporté à ce procédé quelques modifications, en produisant l'affinage par des oxydes de manganèse (Selve et Lotter), ou par de l'oxyde de cuivre (Mason et Parkes); mais ces variantes, qui ne se sont pas généralisées, ont eu surtout pour but de produire économiquement des alliages de nickel.

Étudions maintenant le procédé de réduction partielle du minerai.

Réduction partielle. — Nous avons dit que dans cette méthode, on profite de l'affinité

moindre du nickel pour l'oxygène, pour réduire l'oxyde seul de ce métal, en employant une quantité calculée de charbon. Pour cela, le minerai trié et pulvérisé est mêlé avec environ 5 % de carbonate de chaux, 5 % de scorie et une quantité de charbon qui varie suivant la richesse du minerai, et qui doit être juste suffisante pour réduire le nickel, sans réduire le fer. La masse agglomérée au goudron et séchée au four, est concassée en morceaux de la grosseur d'une noix. On l'introduit ensuite dans un four capable de produire une haute température, comme les fours à récupérateurs que l'on emploie dans la métallurgie du fer.

En six heures, on peut réduire 2 500 kilogrammes de minerai ; la masse calcinée, est jetée encore brûlante dans de grands bassins pleins d'eau où elle *s'effritte*. On la sèche et on la passe dans des broyeurs à chocs, ayant pour but d'isoler les grains de nickel de la scorie qui les entoure.

La matière, convenablement préparée, passe ensuite dans un trieur magnétique, tel que celui de Vavin, formé de deux cylindres superposés, tournant dans le même sens, et sur lesquels la matière s'éparpille. Leur surface est formée de bandes de fer doux, en contact avec une série

d'aimants, et séparées par des bandes de cuivre. La scorie tombe directement, tandis que la limaille métallique, adhérant au cylindre, est entraînée par lui jusqu'à la rencontre d'une brosse, qui fait tomber cette limaille dans un vase destiné à la recevoir.

Le deuxième cylindre complète le travail du premier, en recevant la scorie qui a passé sur ce dernier.

Une machine trie 300 kilogrammes à l'heure à la vitesse de trente tours par minute, en dépensant une force de un cinquième de cheval.

Le nickel ainsi obtenu est carburé, on le fond au creuset et on l'affine, soit par oxydation sur sole ou au Bessemer, soit par addition de magnésium ou d'aluminium.

Procédé Mond. — M. Mond a fait breveter un procédé d'extraction du nickel métallique des minerais qui le renferment, en les traitant par un courant d'oxyde de carbone dans des conditions convenables, de façon à obtenir du nickel-carbonyle que l'on détruit par la chaleur.

Si le minerai à traiter contient du soufre ou de l'arsenic, on le calcine préalablement; il est avantageux d'ajouter de la chaux ou du calcaire au minerai, avant la calcination. Après cette opération, le composé nickélique est chauffé

entre 350 et 400° avec de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène, ou des hydrocarbures.

Le nickel est ainsi entraîné à l'état de nickel carbonyle $\text{Ni}(\text{CO})_4$, qui commence à se former dès que la température descend au-dessous de 150°.

La température la plus favorable est aux environs de 50°, un peu au-dessus du point d'ébullition du nickel-carbonyle (43°).

Dans ce traitement, les impuretés du nickel, notamment le cobalt, ne sont pas entraînées.

L'appareil dont se sert l'inventeur est un cylindre vertical à plateaux, surmontés d'agitateurs qu'un arbre situé dans l'axe du cylindre fait mouvoir.

Le minerai est chargé à la partie supérieure du cylindre et descend de plateau en plateau, pendant que les agitateurs en renouvellent constamment la surface.

Tout le système étant à la température convenable, on fait circuler l'oxyde de carbone de bas en haut, en sens contraire du minerai.

Cet oxyde de carbone, chargé de nickel, passe dans un cylindre horizontal, chauffé à 180-200° où il dépose le métal, puis un aspirateur l'entraîne de nouveau à la partie inférieure du cylindre vertical :

Le minéral arrivé à la partie inférieure, contient encore du nickel susceptible d'être enlevé par l'oxyde de carbone. Aussi, le fait-on reprendre par une vis, qui le ramène à la partie supérieure, où la même série d'opérations recommence jusqu'à épuisement complet.

Le même oxyde de carbone sert indéfiniment, on se contente de le faire passer dans de l'eau de chaux, pour lui enlever le peu d'acide carbonique qui tend à se former au cours de l'opération.

Il y a intérêt à employer de l'oxyde de carbone pur.

Le nickel ainsi préparé est pur, on peut l'obtenir sous n'importe quelle forme ; en plaques, par exemple, en le recevant sur des feuilles minces de nickel chauffées.

On peut obtenir de cette façon, paraît-il, des reproductions de nickel massif et compact, des moulages compliqués, et un nickelage très rapide, à condition que les moules puissent supporter la température de 200°. Ce procédé qui a donné de bons résultats de laboratoire n'est pas encore devenu industriel. Il semble présenter de notables difficultés.

Voie humide. — Un grand nombre de procédés ont été essayés, mais un bien petit nombre

d'entre eux sont employés actuellement. Nous ne décrivons que les principaux.

Procédé à l'acide chlorhydrique. — On dissout le minerai pulvérisé dans l'acide chlorhydrique de la façon que nous venons d'indiquer précédemment.

Dans la dissolution, on précipite le fer après peroxydation et le nickel comme nous l'avons vu plusieurs fois.

On peut aussi précipiter le nickel par le carbonate de soude à l'ébullition.

Ou bien précipiter le fer par le carbonate de magnésie, le nickel et la magnésie par la chaux à l'ébullition, puis faire digérer le précipité avec de l'ammoniaque, qui abandonne l'oxyde de nickel après évaporation.

On a proposé aussi de précipiter le nickel de la solution débarrassée du fer, par le sulfure de calcium. On a un précipité de sulfure noir de nickel qui, par dissolution dans l'acide sulfurique, donne le sulfate de nickel pour le nickelage.

Procédé à l'acide sulfureux. — On sature d'acide sulfureux à la température de l'ébullition le minerai pulvérisé, mis en suspension dans l'eau en bouillie claire. Le nickel se dissout en se transformant en sullite, l'oxyde de fer reste insoluble.

L'opération s'exécute dans une cuve cylindrique en tôle doublée de plomb, munie d'un agitateur. La solution saturée est décantée et traitée par les sulfures de sodium ou de calcium, ou par un lait de chaux qui précipite l'oxyde de nickel, en donnant du sulfite de chaux soluble.

Ce procédé est analogue à celui de Dickson et Ratte pour la métallurgie du cobalt.

Procédé au protochlorure de fer. — On fait bouillir le minerai en poudre fine avec du protochlorure de fer, il se forme du chlorure de nickel, le fer se précipitant en quantité correspondante. En réalité, voici comment on opère :

On dissout le minerai dans l'acide chlorhydrique, et on laisse la dissolution en contact avec du fer métallique, pour ramener à l'état de protochlorure le fer qui aurait pu se peroxyder. On fait alors bouillir la liqueur avec une quantité calculée de minerai en poudre, pour que le chlorure de fer dissous fasse passer en solution tout le nickel du minerai, en passant lui-même à l'état insoluble. Le liquide clair est traité par le chlorure de chaux et le carbonate de chaux, pour éliminer la petite quantité de fer qu'il peut encore contenir. Le nickel est ensuite précipité par la chaux, lavé et séché.

Procédé Malber. — Le minerai broyé est dissous dans l'acide chlorhydrique, la gangue restant insoluble, on décante la dissolution et on y peroxyde le fer, en la faisant tomber en pluie sur des rangées de fascines.

Elle est ensuite additionnée de carbonate de magnésie, et agitée par un courant d'air, on filtre ; le fer et le cobalt restent sur le filtre et, dans la liqueur claire, on précipite le nickel à l'ébullition par la magnésie ou son carbonate.

On peut encore précipiter tous les métaux par le carbonate de magnésie à l'ébullition, on les lave et on traite le précipité par l'ammoniaque qui dissout les oxydes de cuivre et de nickel. On ajoute à la solution ammoniacale de la potasse qui précipite l'oxyde de nickel, on filtre, et en faisant bouillir la liqueur, l'ammoniaque se dégage, on peut la recueillir pour une nouvelle opération ; l'oxyde de cuivre se dépose, tandis que le liquide surnageant contient la potasse.

Si l'on ne veut pas précipiter la solution ammoniacale par la potasse, on peut simplement évaporer l'ammoniaque qui laisse les deux oxydes de nickel et de cuivre, que l'on dissout alors dans l'acide chlorhydrique et que l'on sépare par les méthodes indiquées.

Le chlorure de magnésium est traité pour régénérer la magnésie et l'acide chlorhydrique.

Procédé Clarke. — Ce procédé a certaines ressemblances avec le précédent.

On fait bouillir le minéral pulvérisé avec une solution de protochlorure de fer, jusqu'à siccité, et la masse est calcinée vers 360° au four à réverbère.

Le fer passe à l'état d'oxyde, tandis que le nickel, le cobalt et le manganèse passent à l'état de chlorures, qui ne sont pas altérés dans ces conditions. On cesse aussitôt de chauffer, dès qu'il ne se dégage plus d'acide chlorhydrique.

La masse concassée est lessivée à l'eau bouillante. La dissolution qui contient les chlorures de nickel, de cobalt et de manganèse, est traitée par le sulfure de calcium en quantité suffisante pour précipiter le nickel, sans toucher au manganèse.

Procédé à l'acide sulfurique. — On peut rapprocher des procédés qui précèdent, le traitement suivant :

Le minéral pulvérisé est chauffé avec 70 % d'acide sulfurique, sur la sole de fonte d'un four à réverbère, de façon à transformer les oxydes en sulfates. On cesse de chauffer quand un essai

se dissout totalement dans l'eau ; on laisse refroidir, on concasse, et on lave méthodiquement pour dissoudre presque tous les sulfates de magnésie et de nickel, en laissant le sulfate de fer, moins soluble.

La dissolution, traitée par la chaux, abandonne un précipité d'oxydes de nickel, de fer, de magnésie et de sulfate de chaux. Ce précipité lavé est traité en vase clos par l'ammoniaque qui dissout l'oxyde de nickel. La solution ammoniacale distillée est recueillie pour une nouvelle opération ; elle abandonne l'oxyde de nickel qui est lavé et séché.

Voie mixte. Procédé par sulfuration. —

Le traitement des minerais oxydés qui tend le plus à prévaloir dans la pratique, est un procédé mixte qui consiste à les transformer d'abord en minerais sulfurés, auxquels on fait subir les opérations que nous avons indiquées pour ces derniers.

On opère la sulfuration au moyen des sulfures alcalins, de la charrée de soude, du sulfate de chaux, de la pyrite, etc.

Le minerai finement pulvérisé, est mêlé à 10 % de plâtre, par exemple, avec un peu d'eau, de manière à former une pâte que l'on sèche sur

des plaques de tôle, puis que l'on porte à 150° pendant 4 heures. La masse concassée, est chargée dans des fours à cuve, avec 15 % de coke, et transformée en une matle que l'on coule en pains.

La scorie, qui retient du nickel, est broyée, agglomérée avec du plâtre, et repassée au four à cuve.

La matle ainsi obtenue, est traitée comme nous l'avons indiqué plus haut, à propos des minerais sulfurés, soit par voie humide, soit plus économiquement par voie sèche, ou par le procédé Herrenschnidt.

V. — NICKEL MÉTALLIQUE

On trouve fréquemment dans le commerce, le nickel sous forme de petits cubes d'un centimètre de côté environ, obtenus par la réduction de l'oxyde de nickel, préparé comme nous l'avons indiqué dans les pages qui précèdent. Cette réduction peut se faire par le carbone, l'oxyde de carbone, ou l'hydrogène.

Pour opérer la réduction par le carbone, on fait, dans un malaxeur, une pâte d'oxyde de nickel, de farine et de mélasse.

On peut employer aussi du charbon en poudre fine. Voici deux exemples de mélanges :

Oxyde de nickel en pâte	91
Fécule	4
Mélasse	2

Ou bien :

Oxyde de nickel en pâte	95
Charbon de bois	3
Mélasse	2

Quelquefois on n'emploie que de la mélasse, environ 5 à 6 $\%$. Le malaxeur contient généralement 200 kilogrammes de pâte.

La pâte étant bien homogène, est reçue dans des moules en fer blanc, et découpée soit en cubes, soit en disques, ou agglomérée en dragées. On sèche à l'étuve, puis on opère la réduction dans des creusets, ou plutôt dans des caisses en fer, placées dans des fours à moufle; mais comme dans ce dernier cas, la température est insuffisante pour agglomérer le nickel et lui donner l'aspect métallique, on est obligé de le réchauffer au rouge vif dans des creusets.

On emploie plutôt maintenant des cornues cylindriques en terre réfractaire, chauffées par un gazogène, qui permet d'obtenir une tempé-

rature suffisamment élevée pour terminer l'opération.

Le nickel ainsi obtenu, n'est pas, à proprement parler, un métal. c'est plutôt une éponge métallique, formée de parcelles réduites, sans cohésion, qu'il faut ensuite refondre au creuset. Nous nous étendrons plus loin sur cette opération.

Le nickel en disques, ou en cubes, contient généralement 1,5 % d'impuretés, quelquefois davantage, ainsi que le montre le tableau ci-dessous :

Composition	Nickel d'Allemagne	Nickel des pyrites cuivreuses	Nickel de la Nouvelle Calédonie (voie humide)	Nickel de la Nouvelle Calédonie (voie sèche)	Nickel de la Nouvelle Calédonie (au Bessemer)
Nickel . . .	97,29	94,40	97,75	98,00	98,23
Cobalt . . .	1,25	3,22	0,36	//	//
Cuivre . . .	0,32	1,25	//	0,50	//
Fer	0,89	0,20	//	1,60	0,98
Soufre . . .	//	0,53	//	//	//
Silicium . .	//	0,40	0,51	0,13	0,30
Carbone . .	//	//	1,25	//	0,50

Nous donnons quelques autres exemples d'ana

lyses de nickel du commerce, d'après M. Jagnaux :

Composition	Premier exemple	Deuxième exemple	Troisième exemple	Nickel en cubes		
				Quatrième exemple	Cinquième exemple	Sixième exemple
Nickel	96,10	94,60	94,40	94,00	87,30	93,06
Silice	2,70	2,60	3,06	3,00	2,45	0,50
Fer	0,70	1,20	1,00	1,94	2,00	1,85
Cuivre	0,32	//	//	//	0,60	0,64
Plomb	0,08	//	//	//	0,60	1,85
Arsenic.	0,02	1,40	1,40	1,00	//	0,04
Antimoine.	0,03					
	99,95	99,80	99,86	99,94	99,95	99,94

Nickel par la réduction par l'hydrogène. — M. Sébillot a mis à profit la facile réduction de l'oxyde de nickel par l'hydrogène, pour préparer industriellement du nickel presque pur.

L'appareil qui donne les meilleurs résultats est un cubilot ordinaire, mais dont les tuyères sont remplacées par des chalumeaux à hydrogène et air. La chaleur produite est tellement intense, que le métal réduit coule limpide dans la poche du cubilot. Au-dessus des chalumeaux,

se trouvent des tuyères qui envoient de l'hydrogène pur dans la masse d'oxyde, que l'on charge par le haut.

Le nickel ainsi obtenu a, d'après M. Villon, la composition suivante :

Nickel	98,5
Fer	1,0
Cobalt	0,5
Silicium.	traces

Il n'est pas cassant et est assez malléable. Une addition de $\frac{1}{1000}$ d'aluminium a suffi pour le rendre tout à fait ductile. Malheureusement, la méthode de réduction par l'hydrogène est trop coûteuse pour qu'on puisse l'employer à préparer le nickel ordinaire. Elle est à recommander seulement lorsqu'on veut obtenir du nickel pur à bas prix.

En remplaçant l'hydrogène par le gaz à l'eau, le nickel n'est plus malléable, il faut alors mélanger, au préalable, l'oxyde de nickel avec $\frac{1}{2}$ % de magnésie.

Nickel obtenu par voie électrolytique. — Cette méthode n'est appliquée qu'aux minerais de la Nouvelle-Calédonie, que l'on transforme en matte sulfureuse pauvre en fer, après fusion avec 10 % de plâtre, etc., comme on l'a vu dans

la méthode mixte pour le traitement des minerais oxydés (p. 106).

La matle est coulée en plaques de 75 centimètres de côté et 8 centimètres d'épaisseur, dans lesquels on plonge une bandelette de cuivre pour les relier aux conducteurs du courant. Ces plaques constituent les anodes ; les cathodes étant formées de plaques de nickel de $\frac{1}{4}$ de millimètre d'épaisseur, encadrées dans des montants en bois, que l'on enlève quand l'épaisseur de ces plaques devient suffisante pour assurer leur rigidité.

Les bacs en bois, de 1^m.50 sur 0^m.90 et 0^m.85 de haut, contiennent dix plaques anodes et onze cathodes. Le bain est une solution de sulfate ammoniacal de nickel, maintenue en mouvement par une hélice. Quatre bacs précipitent 20 kilogrammes de nickel par jour, avec une dépense de trois chevaux de force.

Les plaques de nickel sont enlevées quand elles ont une épaisseur de 1 centimètre. Quand les anodes sont épuisées on les remplace ; les résidus sont concassés et grillés au four à réverbère et le produit est mêlé au minerai pour subir un nouveau traitement.

Lorsque l'électrolyte est saturée de sulfate de fer, on la décante et y fait passer un courant

de chlore pour peroxyder le fer, que l'on précipite par le carbonate de soude. Le liquide filtré sert de nouveau.

Nickel fondu. — Le nickel, tel qu'il a été obtenu par les procédés que nous venons d'indiquer, sauf l'électrolyse, est cassant ; il se déchire aisément quand on essaye de le laminier ou de le forger, on ne peut pas davantage l'étirer à la filière.

En effet, par la fusion il s'oxyde partiellement, et cette petite quantité d'oxyde lui fait perdre toutes ses qualités de malléabilité et de ductibilité.

En 1879, M. Fleitmann essaya d'atténuer ces défauts par la fusion du nickel avec une faible proportion de magnésium ou de zinc. Maintenant, on emploie principalement l'aluminium. Le métal ajouté semble avoir pour effet de s'emparer des traces de matières étrangères, oxyde de carbone et silicium, empruntées par le nickel à l'atmosphère qui l'entoure, ou aux parois du creuset qui le renferme.

Voici comment on opère : le nickel étant fondu dans des creusets réfractaires, enduits intérieurement de chaux, on débarrasse sa surface des scories, et quand la fusion est complète, on

ajoute $\frac{1}{1000}$ environ, de magnésium ou d'aluminium. On brasse avec un ringard en terre réfractaire et on coule.

Le magnésium se combine avec explosion, il faut, par suite, l'ajouter avec quelque précaution.

Le nickel, ainsi préparé, est malléable et ductile à un haut degré : on a pu obtenir des feuilles de nickel de 1^m,80 sur 0^m,30 et aussi minces que du papier.

D'autres industriels obtiennent la malléabilité par l'addition de 2 % de manganèse métallique, ou par la réduction d'un mélange d'oxydes de manganèse et de nickel, en proportions convenables.

M. Garnier a proposé l'emploi de $\frac{1}{1000}$ de phosphore, que l'on ajoute à l'état de phosphure de nickel préparé directement.

La Société dite *Fonderie de nickel et métaux blancs*, emploie le mélange suivant :

Nickel	100
Bioxyde de manganèse.	12
Ferrocyanure de potassium	16
Aluminium	0,1

L'aluminium étant ajouté après la fusion du reste.

M. Villon a constaté que $\frac{1}{1000}$ d'amalgame de sodium produisait le même résultat.

Nickel pur. — Étant donné le nickel commercial en cubes, voyons quelques-uns des procédés qui ont été proposés pour le purifier.

Procédé de Sainte-Claire Deville. — H. Sainte-Claire Deville dissolvait le nickel en excès dans l'acide nitrique et évaporait la solution à sec au bain-marie, afin que le fer se déposât en présence d'un excès de nickel. Le résidu, repris par l'eau, était traité par un courant d'hydrogène sulfuré qui précipitait un certain nombre de métaux étrangers. La liqueur filtrée et concentrée, était traitée à l'ébullition par un excès d'acide oxalique, de façon à précipiter l'oxalate de nickel, insoluble dans l'acide oxalique. L'oxalate de nickel pur, enfermé dans un double creuset de chaux, était soumis à un violent feu de forge, de manière à obtenir un culot de nickel homogène, ne contenant que des traces de cuivre et de silicium.

Procédé de Schneider. — Le nickel du commerce est dissous dans l'acide chlorhydrique, avec un peu d'acide nitrique. La dissolution, étendue d'eau est traitée par un courant d'hydrogène sulfuré qui précipite le cuivre et l'arsenic.

La liqueur filtrée, étant privée de l'hydrogène sulfuré par l'ébullition, est débarrassée du fer par l'ammoniaque. Le nickel et le cobalt sont alors précipités à l'état de sulfures par le sulfure d'ammonium, redissous une première fois dans l'eau régale, une seconde fois dans l'acide chlorhydrique. Le cobalt est amené à l'état de peroxyde dans la liqueur, par un courant de chlore, et précipité par le carbonate de baryte. On filtre et on se débarrasse de la baryte par l'acide sulfurique. On fait cristalliser et la dissolution de ces cristaux est précipitée par l'acide oxalique. L'oxalate de nickel, lavé à l'eau froide, est séché et réduit par l'hydrogène à une température suffisante pour produire l'agglomération superficielle du métal. On peut le fondre dans un creuset de terre, sous une couche de borax.

Procédé de Winkler. — On dissout le carbonate de nickel du commerce dans l'acide chlorhydrique, et on le traite plusieurs fois à chaud par l'hypochlorite de soude, pour séparer le cobalt et le fer ; on précipite le cuivre et l'arsenic par l'hydrogène sulfuré, puis, après avoir chassé ce dernier, on précipite le nickel par le carbonate de soude. Le carbonate de nickel pur est transformé en chlorure par l'acide chlorhy-

drique, ce sel est purifié par sublimation dans un courant de chlore sec et réduit par l'hydrogène pur.

Procédé de Terreil. — M. Terreil dissout le nickel brut dans sept ou huit fois son poids d'eau régale et ajoute à la dissolution chaude des pointes de fer pour séparer le cuivre. Dans la liqueur séparée du cuivre, on peroxyde le fer au moyen d'un courant de chlore, ou par l'acide azotique. On fait ensuite passer le fer et le nickel à l'état de sulfates, en ajoutant de l'acide sulfurique à 66° B. dans le rapport de deux parties d'acide pour une de nickel employé, puis on évapore à sec pour chasser les acides chlorhydrique et azotique, et l'on reprend le résidu par l'eau, qui laisse souvent une partie du fer à l'état de sous-sulfate insoluble. On précipite enfin le fer par le carbonate de baryte obtenu lui-même par précipitation, en l'ajoutant peu à peu et en léger excès à la liqueur chauffée vers 50 ou 60°. La précipitation est complète quand le carbonate de baryte ne détermine plus d'effervescence et ne se recouvre plus de peroxyde de fer. Du sulfate de nickel pur reste dans la liqueur : on le fait cristalliser par évaporation.

ALLIAGES DE NICKEL

Le nickel forme, avec les métaux, de nombreux alliages, dont quelques-uns ont acquis une grande importance, avant même que l'on ne fut arrivé à tirer parti industriellement du nickel lui-même.

Nous allons passer en revue les principaux de ces alliages.

Nickel et aluminium. — On obtient cet alliage par la fusion de huit parties d'aluminium avec trois parties de chlorure de nickel sublimé et vingt parties d'un mélange de chlorures de potassium et de sodium. On se débarrasse de la gangue, en lavant le culot à l'acide chlorhydrique étendu. Cet alliage a pour formule Al^6Ni et se présente en grandes lames cristallisées, d'un blanc d'étain, solubles dans l'acide chlorhydrique concentré. Chauffé dans un

courant d'acide chlorhydrique sec, il donne du chlorure d'aluminium qui se volatilise, et un résidu de nickel métallique.

On prépare par fusion directe un autre alliage, contenant :

Aluminium	8
Nickel	20

et qui est employé à fabriquer des fils pour la passementerie.

Nickel et antimoine. — Une combinaison de nickel et d'antimoine existe dans la nature, sous le nom de *breithauptite*, en petites masses hexagonales, d'un rouge cuivre violacé, répondant à la formule Ni Sb.

On peut la reproduire facilement par fusion directe des deux métaux.

Nickel et mercure. — On peut obtenir l'amalgame de nickel, soit en traitant du chlorure de nickel par l'amalgame de zinc (Damour), ou l'amalgame de sodium, soit en décomposant par la pile, le chlorure de nickel en présence d'une électrode négative de mercure (H. Moissan).

Ces amalgames ont une consistance pâteuse,

et laissent une masse d'un gris noir de nickel métallique, plus ou moins agglutiné, quand on les distille dans l'hydrogène. Ils sont peu stables et s'oxydent rapidement au contact de l'air et de l'eau.

Ils sont formés avec absorption de chaleur.

Nickel et or. — L'or donne, avec le nickel, un alliage très malléable, susceptible d'un beau poli, et magnétique comme le nickel lui-même.

Nickel et plomb. — Le nickel s'allie difficilement au plomb, en donnant un alliage lamelleux et cassant.

Nickel et palladium. — Par combinaison de parties égales des deux métaux, on obtient un alliage blanc, brillant, dur, très ductile, très malléable, dont la densité est 11,20.

Nickel et platine. — Le nickel donne, avec le platine, un alliage blanc jaunâtre, ductile, d'une fusibilité beaucoup plus grande que celle des deux métaux et voisine de celle du cuivre; il est magnétique.

Nickel et zinc. — L'alliage de 90 de zinc et 10 de nickel est employé à l'état de poudre dans la peinture et les impressions argentées.

Nickel et fer. — Il existe dans la nature des alliages de nickel et de fer, tels que la *tanite*, la *kamacite* et la *pléssite* qui se trouvent dans les fers météoriques. La proportion de nickel dans ces substances est très variable ; ainsi, les météorites de Lenarto et de Charcas ne renferment que 5 à 7 % de nickel ; celle de Santa-Catarina en renferme 36 %, sa composition peut, par suite, être représentée par la formule Fe^2Ni ; sa densité est 7,75. On reproduit facilement, par fusion directe, des alliages en toutes proportions jouissant des propriétés des substances précédentes, propriétés variables suivant leur teneur en nickel.

Ainsi, les alliages peu riches en nickel s'oxydent assez vite sous la double influence de l'air et de l'eau ; ceux qui contiennent une forte proportion de nickel, comme dans la météorite de Santa-Catarina, résistent absolument à l'oxydation.

Les alliages de nickel et de fer ont pris, maintenant, une grande importance industrielle, aussi allons-nous les étudier de plus près.

Nicko-fonte. — On prépare un alliage de nickel et de fer carburé, que l'inventeur, M. Sinson Saint-Albin, a appelé nicko-fonte en réduisant, par le charbon, un minerai oxydé de nickel, qui contient une forte proportion de fer, puis en coulant la fonte nickélique ainsi obtenue, dans de la fonte de fer en fusion, de manière à réduire la proportion de nickel à 10 %.

Voici comment on opère :

On charge un cubilot avec un mélange de coke et de 15 % de charbon de bois, par couches de 50 centimètres, alternées avec un lit de fusion composé de :

Minerai oxydé de nickel	100
Charbon de bois	10
Plâtre.	20

On entretient les charges à la façon ordinaire et l'on coule le métal qui contient 50 % de nickel.

Cette fonte nickélique étant refondue au creuset, avec du poussier de charbon pour enlever les petites quantités de soufre qui s'y trouvent encore, est coulée dans de la fonte liquide, dans la proportion de quatre parties de fonte ordinaire pour une partie de fonte au nickel. On brasse énergiquement et on verse dans les moules,

Cet alliage est dur et susceptible d'un beau poli. On l'emploie pour les cylindres de laminoirs, broyeurs, etc.

Fontes au nickel. — On peut obtenir des fontes contenant des proportions variables de nickel par le traitement direct au haut fourneau du minerai de nickel, ainsi que nous l'avons vu à propos de la métallurgie.

M. Garnier utilise, pour cela, les minerais de la Nouvelle-Calédonie, pauvres en nickel, en les réduisant avec des minerais de fer riches, pour avoir une fonte nickélifère. D'après lui, le fer entraîne le nickel, comme le plomb entraîne l'argent.

Les produits que l'on prépare ainsi sont très variables, suivant que l'on pousse plus ou moins loin l'affinage. On peut même retomber sur l'alliage de fer et de nickel, si l'affinage a été assez complet.

L'alliage de fer et de nickel ainsi préparé, est plus dur et plus tenace que le fer, et en même temps moins oxydable, d'après certains auteurs.

La résistance à l'oxydation du fer allié au nickel est en contradiction avec les expériences de Boussingault, qui a reconnu que le fer associé à 5 et 10 % de nickel est plus attaquant que le fer pur. Néanmoins, en forçant la dose

de nickel jusqu'à 35 $\frac{0}{0}$, on obtient un alliage inaltérable.

Fers au nickel. — Parmi les alliages de fer et de nickel, les plus importants sont le *ferro-nickel*.

Fer	50
Nickel	50

et le *crude nickel*

Fer	30
Nickel	70

que l'on prépare directement.

Un autre alliage curieux est celui qui renferme

Fer	75
Nickel	25

et dont les propriétés magnétiques sont très faibles. En France, cet alliage est fabriqué par la *Société du ferro-nickel* qui a été une des premières à préparer des alliages de nickel de bonne qualité.

Aciers au nickel. — On emploie depuis quelque temps des aciers au nickel, contenant depuis 1 jusqu'à 50 $\frac{0}{0}$ de nickel. On les prépare sans difficulté, soit par addition de fonte au nickel, au convertisseur Bessemer, peu de temps avant la coulée, soit par affinage sur sole, ou

au convertisseur, de fonte au nickel, obtenue par réduction directe au haut-fourneau des minerais de nickel.

Au coulage, l'acier au nickel est plus fluide ou moins compact dans le moule ; il se solidifie plus rapidement et est plus homogène.

L'acier au nickel présente l'aspect de l'acier ordinaire, net et uni, quand il renferme peu de nickel ; il est piqué quand il en renferme beaucoup.

L'acier au nickel est très résistant ; il se laisse laminier et marteler sans se fendre ; mais au-dessous de 5 % de nickel, il se travaille difficilement ; au-dessus de 5 % le travail est plus facile.

Au-dessus de 3 % de nickel, il se soude mal.

L'acier au nickel est plus dur que l'acier ordinaire, à teneur égale en carbone, et durcit davantage par la trempe.

Il est moins oxydable à l'air que l'acier ordinaire, et résiste mieux à l'action de l'eau de mer.

La maison Schneider, du Creusot, a fabriqué de nombreux échantillons d'acier contenant 5 % de nickel, et des teneurs variables en carbone, silicium et manganèse. Elle les emploie à des pièces de grande résistance, fusils, armes blanches, cartouches, enfin à des blindages pour navires cuirassés.

La marine américaine a adopté les plaques de blindage en acier au nickel, à la suite des essais d'Annapolis en 1890.

Voici la composition de quelques aciers au nickel :

Nickel	Carbone	Manganèse	Fer
1,00	0,42	0,58	98,0
2,00	0,40	0,50	96,6
3,00	0,35	0,57	96,08
4,7	0,22	0,33	94,85
5,00	0,50	0,34	94,16
10,00	0,50	0,50	89
25,00	0,82	0,52	73,66
49,4	0,35	0,57	49,68

Les essais de M. Riley ont montré que l'addition de 4,70 % de nickel à un acier, augmentait la limite d'élasticité de 72 %, et la charge de rupture de 35 %, sans influencer sensiblement sur l'allongement et la contraction de section.

L'addition de nickel à l'acier semble accroître sa dureté jusqu'à la proportion de 20 %. Au-delà de cette limite, le nickel paraît augmenter la ductilité. C'est ainsi que dans l'alliage à 25 %, la ductilité atteint 47 % d'allongement.

Cette addition du nickel à l'acier, conseillé de-

puis longtemps par M. Garnier a été certainement l'application la plus importante qui ait été faite de ce métal.

Nickel et cuivre. — Le nickel et le cuivre s'allient en toutes proportions, en donnant des alliages dont l'importance n'a cessé de s'accroître, depuis la découverte du nickel.

L'addition de 6 à 7 % de nickel au cuivre change déjà notablement la couleur de ce dernier métal, elle blanchit ; avec 15 %, on a un alliage blanc, tout à fait différent d'aspect du cuivre dont on est parti. Enfin, avec 25 % de nickel, on a le maximum de blancheur.

On a constaté que cette teinte blanche peut être obtenue avec une moindre proportion de nickel, en ajoutant un peu de cobalt au mélange.

Le nickel et le cuivre entrant, à la fois, avec d'autres métaux dans la composition d'un grand nombre d'alliages, nous étudierons d'abord les bronzes de nickel, puis le maillechort, enfin les alliages plus complexes.

Bronzes de nickel. — On appelle ainsi les alliages ne contenant que du nickel et du cuivre.

On peut les obtenir directement, en partant d'un minerais convenablement choisi, et auquel

Constantan Cu 50
Ni 50
alliage à résistance électrique
constante avec la température

on fera subir un des traitements par voie sèche que nous avons indiqués. On arrive ainsi à des alliages contenant, généralement, un peu de cobalt qui ne nuit pas, mais pouvant contenir d'autres impuretés difficiles à éliminer. De plus, le dosage des deux métaux principaux est loin d'être rigoureux.

Aussi maintenant, prépare-t-on, presque toujours, les bronzes de nickel par fusion directe des deux métaux.

Mais la coulée de ces alliages est une opération délicate, demandant des ouvriers habiles pour obtenir des lingots sans soufflures.

Presque toujours, on commence par préparer un alliage à parties égales, auquel on ajoute ensuite le cuivre nécessaire pour obtenir le titre voulu. Le mélange étant en fusion tranquille, on le brasse, on l'écume et on le coule.

Les bronzes de nickel, et tous les alliages que l'on désigne sous le nom de métaux blancs, se laminent à froid, à l'inverse du cuivre et du nickel.

Ils sont très employés pour la fabrication de couverts communs, et autres objets argentés, ou même simplement polis, comme l'Amérique en produit de grandes quantités, citons par exemple, les montres et boîtiers fabriqués à Waterbury.

Mais le principal emploi du bronze de nickel est comme alliage monétaire, soit seul, soit additionné de petites quantités de métaux étrangers.

PRINCIPAUX ALLIAGES MONÉTAIRES

Pays	Cuivre	Nickel	Zinc	Argent
Suisse (1850)	50	10	25	15
Allemagne (1874)	75	25	"	"
Belgique (1860)				
Honduras (1870)	50	20	30	"
Etats-Unis (1857)	88	12	"	"
Chili (1872)	70	20	10	"

Alliage binaire. — Un des bronzes de nickel les plus importants, est celui auquel on a donné le nom d'alliage binaire et qui correspond à la formule suivante :

Nickel.	20
Cuivre.	80

Cet alliage, que l'on emploie pour recouvrir les balles de plomb des armes modernes de petit calibre, a été fort étudié.

Il présente une résistance à la rupture qui dépasse celle des meilleurs laitons, tout en conservant un coefficient d'allongement élevé.

Il s'emboutit avec facilité, et son inoxydabilité

relative permet de l'employer au lieu et place du cuivre rouge dans un certain nombre de cas.

C'est ainsi qu'on a proposé de l'employer pour les foyers des locomotives, et notamment pour les plaques tubulaires des chaudières, qui doivent être écroûies au marteau dans la région qui reçoit les tubes.

Autres bronzes de nickel. — On a étendu le nom de bronzes de nickel à quelques alliages contenant de petites proportions de métaux étrangers, parmi lesquels nous citerons :

Bronze de nickel de MM. Nourry et C^{ie}.

Nickel	30
Cuivre	77
Zinc.	2,5
Argent.	0,5

Bronze de M. Sébillot :

Nickel.	40
Cuivre.	48
Étain	6
Tungstène	6

Bronzes de nickel et d'aluminium. — En ajoutant du nickel au bronze d'aluminium, on obtient un alliage blanc, dur, prenant un beau poli, et qui jouit d'une résistance particulière à l'air humide et même aux liquides de l'éco-

nomie. Aussi l'emploie-t-on fréquemment dans les instruments de chirurgie.

Les principaux alliages de nickel et de bronze d'aluminium sont les suivantes :

Un premier alliage contient :

Bronze à 5 % d'aluminium	33
Nickel	67

un autre se prépare avec :

Bronze à 4 % d'aluminium	80
Nickel	20

Leurs résistances respectives à la rupture sont de 55 kilogrammes et 82 kilogrammes par millimètre carré de section.

On emploie encore, dans l'armurerie, un alliage dur, blanc, brillant, et aussi résistant que l'alliage précédent. On le désigne sous le nom de *silveroid*. C'est un alliage de nickel et de cuivre, additionné, suivant les emplois, de petites quantités d'étain, de zinc ou de plomb.

Nous ajouterons encore le *bronze des miroirs de Sollit*, dont la composition est la suivante :

Cuivre	64,60
Étain	31,30
Nickel	4,10

Noms des alliages	Cuivre	Zinc	Nickel	Autres métaux
Maillechort type.	8	5	3	
Maillecharts de France	8	3	4	
"	8	3,5	3	
"	8	4	4	
Maillecharts pour laminage I	60	20	20	
" II	57	24	19	
" III	60	20	25	plomb 0,3
Maillecharts de Paris I	65	13	16,8	fer 3,4
" II.	60	15	20	fer 5
Maillechort élastique anglais	57,4	25	13	fer 3
Maillechort chinois.	2	1	1	
Maillechort pour couverts	5	3	2	
Electrum	8	3,5	4	
Cuivre blanc chinois	40,4	25,4	31,6	fer 2,60

Alfénide	59,1	36,2	9,7	fer 1
Oréide	79,7	15,5	6,1	fer 0,8, étain 0,1
Argentan jaunâtre	8	3	2	
" blanc I	8	3,5	3	
" " II	4	1	1	
Nouvel argent	11	5	4	
Nouvel argent de Chine	26,3	36,8	36,8	
" de Vienne	5	2	2	
" allemand	27	14	9	
" anglais	57	25	15	fer 3
Toutenague	8	5,5	3	
Pactong chinois I	55	17	23	fer 3, étain 2
" II	43,8	49,6	15,6	
" III	10,4	2,6	31,6	
Pactong parisien I	62	23	15	
" II	66	13,6	19,3	
" III	65	13	16,8	fer 3,6, étain 0,2
Pactong pour sellerie	57	20	20	

Maillechorts. — Étudions maintenant le plus important des alliages de nickel, celui que l'on rencontre le plus souvent et qui est aussi un des plus anciennement connus.

On donne le nom de *maillechorts*, aux alliages renfermant essentiellement du nickel, du cuivre et du zinc. Ils peuvent contenir, en outre, du fer, de l'aluminium, du manganèse, etc.

Le maillechort, découvert par deux ouvriers qui lui ont donné leur nom, avait, au début, la composition suivante :

Cuivre.	50,00
Zinc.	31,25
Nickel.	18,75

En faisant varier la proportion de ces trois métaux, on a obtenu un grand nombre de variétés de maillechorts, ayant presque tous le même aspect blanc et brillant, mais jouissant de propriétés spéciales qui les font employer à des usages différents.

Nous n'avons pas la prétention d'indiquer toutes les formules de maillechorts qui ont été proposées. Nous signalerons seulement les plus connues (voir p. 132 et 133).

La préparation de ces alliages est simple, les métaux étant seulement fondus au creuset, en

commençant par les moins fusibles ; on brasse fortement et on donne ensuite un coup de feu pour avoir un mélange intime et une fusion complète, puis on coule rapidement pour éviter la liquation.

Nous pouvons joindre aux alliages qui précèdent quelques autres contenant des métaux différents du zinc ou du cuivre, mais dont les propriétés s'en rapprochent.

Tels sont, par exemple :

Alliage blanc :

Cuivre, 69,8 ; zinc, 5,5 ; nickel, 19,8 ; cadmium, 4,7.

Tiers argent :

Cuivre, 62,5 ; zinc, 5 ; nickel, 5 ; argent, 27,5.

Alliage de ruolz :

Cuivre, 35 à 50 ; argent, 20 à 30 ; nickel, 25 à 30 ;

Cuivre blanc de Suhl :

Cuivre, 88 ; nickel, 8,75 ; antimoine, 1,75.

Maillechorts à l'aluminium. — Depuis quelques années, on emploie un alliage de cuivre, nickel et aluminium, que l'on désigne sous le nom de *maillechort spécial* et contenant :

Cuivre	90 à 60
Nickel	10 à 40
Aluminium	0,175 à 0,05

Voici comment on prépare cet alliage :

On place le nickel dans un creuset que l'on porte à une température suffisamment élevée pour produire la fusion, puis on introduit progressivement le cuivre, en tenant le creuset couvert. On brasse le mélange et on ajoute l'aluminium, en élevant la température le plus rapidement possible à un point voisin de l'ébullition. On coule très chaud sans interruption.

On additionne ce maillechort spécial à du maillechort ordinaire, pour lui communiquer ses propriétés particulières. On prépare, généralement, les mélanges suivants :

Métaux	I	II	III
Maillechort spécial. . .	10	20	30
Nickel	14	12	10
Cuivre	40	32	24
Zinc	16	16	16

On peut préparer aussi un maillechort spécial en remplaçant l'aluminium par le magnésium :

On commence par fondre le nickel dans un creuset couvert ; dès que le métal est fondu, on le recouvre d'une épaisse couche de charbon de bois, on ajoute le cuivre chauffé préalablement

au rouge, et on pousse le feu jusqu'à liquéfaction complète des deux métaux. On plonge alors au fond du creuset, à l'aide d'une pince en fer, recouverte d'un enduit en terre réfractaire, un fragment de magnésium, enveloppé d'une feuille de cuivre. On brasse rapidement pour assurer la combinaison des trois métaux et la réduction des traces d'oxydes qui ont pu se former dans l'opération, puis on coule.

Sa composition varie généralement entre les limites suivantes :

Cuivre	90 à 75
Nickel	10 à 25
Magnésium	1 à 2

C'est un métal malléable et facile à travailler.

Ferro-maillechorts. — A côté des ferromagnésiums, on a cherché à préparer des ferro-maillechorts, que l'on obtient, soit au moyen des premiers, soit par addition directe de fer doux au maillechort.

On fait, généralement, entrer dans les ferromaillechorts de petites quantités de manganèse et d'aluminium, et le fer peut, dans leur constitution, remplacer partiellement ou totalement le zinc.

Ainsi, on peut obtenir un ferro-mallechort, en fondant ensemble :

Nickel	0,203	} 1 ^{kg}
Fer	0,377	
Cuivre	0,550	
Oxyde de manganèse	0,00925	
Ferrocyanure de potassium	0,00450	
Aluminium	0,00040	

Ou, si on veut un ferro-mallechort contenant du zinc :

Nickel	186,75	} 1 ^{kg}
Fer	238,25	
Cuivre	530,00	
Zinc	55,00	
Oxyde de manganèse	0,00925	
Ferrocyanure de potassium	0,00450	
Aluminium	0,00040	

Dans la préparation desquels on peut remplacer le nickel et le fer par des quantités convenables de ferro-nickel (fer 50, nickel 50) ou de crude-nickel (fer 30, nickel 70).

Mallechort au tungstène. — On a fait breveter plusieurs alliages obtenus en ajoutant au mallechort des quantités variables de tungstène, avec ou sans addition d'étain.

On aurait ainsi, d'après M. Sébillot, des alliages blancs, ductiles et malléables.

On conçoit facilement que la série des mallechorts que l'on puisse obtenir soit illimitée.

Autres alliages de nickel.

Nickel, plomb et antimoine. — Cet alliage, proposé pour les caractères d'imprimerie, est plus dur que le métal ordinaire et résiste mieux.

Il est formé de :

Métal d'imprimerie.	100
Nickel	5

Platinide. — On a proposé un alliage complexe pour remplacer le platine dans quelques appareils de chimie.

Nickel.	35
Platine	60
Or	2
Fer.	3

Roséine. — Alliage du même genre :

Nickel.	40
Argent	10
Aluminium	30
Étain	20

La *silvénine* présente la composition suivante :

Cuivre	79,5
Nickel	16,0
Cobalt	1,0
Zinc.	1,0
Étain	1,0
Aluminium	0,5
Fer	1,0

Le *néogène*, métal argenté, sonore, malléable, tenace et ductile. Il peut être poli, limé, frappé et remplace le maillechort dans beaucoup de cas.

Il contient :

Cuivre	58,0
Zinc	27,0
Nickel	13,0
Aluminium	6,5
Étain	3,0
Bismuth	0,5

Le *métal argent*, dont l'éclat est tout à fait comparable à celui de l'argent, a la composition suivante :

Cuivre.	50
Nickel.	40
Zinc	10
Fer.	10
Antimoine	10
Étain	10

La *nickeline*, brevetée par M. Guillemin, est du maillechort contenant de l'étain et du sodium. C'est un alliage blanc et malléable. Le sodium y est introduit en combinaison avec l'étain et le zinc, sous le nom de *chimic-métal*.

On fond huit parties de zinc et trois parties

d'étain, et on ajoute peu à peu le sodium au mélange fondu.

La nickeline présente des proportions variables .

Composition	I	II	III	IV
Nickel	25	25,0	25,0	25,0
Cuivre	53,5	58,0	61,0	63,3
Zinc	19,5	14,8	11,6	8,3
Étain	1,7	1,8	3,0	3,0
Sodium	0,3	0,4	0,4	0,4

L'alliage se prépare par fusion directe, au creuset, du cuivre, du zinc, du nickel et de l'étain, auxquels on ajoute le chimie-métal en proportion convenable.

Enfin, le nickel entre dans la composition d'un certain nombre d'alliages pour résistances électriques.

Il possède, en effet, la propriété d'augmenter considérablement la résistance spécifique des alliages dans lesquels on le fait entrer.

Ainsi les résistances spécifiques du cuivre et du nickel étant respectivement 1,6 et 12,6, celle de l'alliage à 75 % Cu, et 25 % Ni sera 34,2.

Voici, d'après Feussner et Suideck, la com-

position et la résistance de quelques-uns d'entre eux :

Noms des alliages	Cuivre	Zinc	Nickel
Argent allemand.	60, 10	25, 37	14, 03
Rhéotan.	53, 38	16, 89	25, 31
Nickeline d'Obermaier I . . .	61, 63	19, 67	18, 46
" " II . . .	54, 57	20, 44	24, 48
Alliage de nickel breveté I . . .	74, 41	0, 23	25, 10
" " II . . .	74, 71	0, 53	25, 14
All ^{se} nickel, manganèse, cuivre.	72	"	3

Noms des alliages	Fer	Manganèse	Résistance spécifique
Argent allemand.	0, 30	"	30, 00
Rhéotan.	4, 46	"	52, 50
Nickeline d'Obermaier I . . .	0, 24	0, 18	33, 20
" " II . . .	0, 64	0, 27	44, 80
Alliage de nickel breveté I . . .	0, 42	0, 13	34, 20
" " II . . .	0, 70	0, 17	32, 80
All ^{se} nickel, manganèse, cuivre.	"	28, 80	47, 70

NICKELAGE

Le dépôt galvanique du nickel fut essayé peu de temps après la découverte de la galvanoplastie, mais ce n'est guère que depuis 1870 que l'on est arrivé dans cette voie à des résultats satisfaisants. Le dépôt était terne ou peu cohérent, et ce n'est qu'après les nombreuses recherches de Becquerel, d'Adams et surtout de MM. Christoffe et Bouilhet, que le nickelage a pu entrer dans la pratique industrielle.

Le nickelage offre l'avantage de substituer une surface d'un bel éclat, d'une assez grande inoxydabilité, à des métaux plus attaquables comme le fer, ou dont l'éclat s'altère rapidement à l'air, comme le cuivre et le laiton.

Cependant le nickelage est à déconseiller pour les ustensiles qui doivent se trouver en contact avec la bière, la moutarde, le thé et les liqueurs acides.

Les deux qualités principales d'un dépôt obtenu dans de bonnes conditions sont le bel aspect et la bonne adhérence, et elles dépendent de circonstances variées, parmi lesquelles il faut surtout faire entrer en ligne de compte la composition des bains.

Préparation des pièces. — Avant toute opération, il faut préparer convenablement les pièces que l'on veut nickeler.

Cette préparation comprend le polissage, le dégraissage et le dérochage.

Dans le cas particulier qui nous occupe, le polissage a une importance très grande, et doit être très soigné si l'on veut obtenir ce que l'on appelle le *nickel poli*.

L'aspect final de la pièce dépend de son degré de poli avant la mise au bain, d'abord parce que le nickel déposé est très dur et très difficile à bruir, et qu'ensuite on ne peut se servir de ce dépôt, qui épouse exactement les rayures du métal sous-jacent, pour masquer les défauts de la surface.

On polit successivement à la meule d'émeri, puis sur des disques en bois ou en cuir, saupoudrés d'émeri, enfin on termine par des rondelles de drap, ou de calicot, serrées par des vis.

On emploie quelquefois, au lieu de disques, des courroies sans fins, enduites d'émeri.

Le polissage ne s'emploie naturellement pas quand on veut obtenir du *nickel vif*.

On dégraisse les pièces, soit en les immergeant pendant un temps suffisant dans de la benzine ou du pétrole, dans une bassine en tôle fermée par un couvercle, soit le plus souvent au moyen d'une lessive chaude de potasse ou de soude caustiques.

Généralement, on plonge les pièces, pendant un quart d'heure, dans une solution bouillante de soude ou de carbonate de soude au dixième. Il n'y a de précautions particulières à prendre qu'avec les objets en étain, ou ayant des soudures à l'étain. Dans ce cas, on ne doit les laisser que le moins de temps possible dans le bain alcalin, pour éviter l'attaque du métal.

Après avoir subi le dégraissage, les pièces sont ensuite décapées ou dérochées.

Les procédés suivis varient avec chaque opérateur, mais peuvent se résumer de la façon suivante :

Les objets sont plongés dans un bain acide, destiné à mettre à nu le métal, en enlevant la couche superficielle d'oxyde qui peut y exister. Ce bain est surtout chargé en acide nitrique.

Puis on passe les pièces dans un deuxième bain, dit bain de blanchiment, pour leur rendre le brillant que le décapage leur a enlevé.

Voyons quels sont les principales variantes de ces procédés.

Au sortir du bain alcalin, les pièces sont rincées à l'eau, brossées dans un lait de chaux, ou avec de la ponce en poudre, puis rincées de nouveau.

On les plonge quelquefois dans un bain de cyanure de potassium, avant de les décaper aux acides, pour enlever les traces d'oxydes qui ont pu se former après le nettoyage.

Les pièces de fer, de fonte ou d'acier sont, le plus souvent, décapées à l'acide sulfurique étendu jusqu'à ce qu'elles aient pris un ton gris uniforme. Le brossage à la ponce est alors nécessaire pour enlever la poudre noirâtre qui recouvre les objets. Aussitôt après ce brossage, on les plonge dans un bain de sulfate de cuivre à $\frac{1}{100}$, destiné à les recouvrir d'une couche de cuivre très mince, qui les met à l'abri de l'air. On rince et on sèche en passant à la sciure chaude.

Le décapage, ou mieux dérochage, s'exécute pour les objets en cuivre, dans un bain d'acide nitrique à 36° B., avec 1 $\frac{0}{0}$ de sel marin et 1 $\frac{0}{0}$ de suie.

On fait presque toujours un passage à l'eau forte usée avant de passer à l'eau forte neuve ; on est ainsi plus maître de régler l'opération, qui ne doit durer que quelques instants.

Les pièces sont lavées, puis passées au bain de blanchiment, qui leur rend le brillant que le passage à l'eau forte leur avait enlevé.

Ce bain est composé généralement d'un mélange à parties égales d'acide sulfurique à 65° B. et d'acide nitrique à 36° B. On y a ajouté 1 à 2 % de sel marin.

On rince immédiatement à grande eau, et on sèche à la sciure chaude.

Il importe, dans toutes ces opérations, et jusqu'au moment où les pièces sortiront terminées du bain de nickel, de ne pas les toucher avec les mains qui y laisseraient des traces de matière grasse. On les suspend à de petits crochets en cuivre, ou on les place dans des sortes de paniers en grès, ou en fil de laiton.

Les objets en zinc sont soumis à une préparation spéciale.

On les dégraisse à la potasse, puis on les passe rapidement dans un bain à 2 % d'acide sulfurique, on les rince, frotte à la ponce et on les sèche.

Le nickelage ne peut se faire sur le zinc

qu'après cuivrage, ou amalgamation, de la surface.

L'amalgamation, qui donne un nickelé plus adhérent, se fait par immersion dans une solution de nitrate de mercure à 1 %₀, contenant assez d'acide nitrique pour rétablir la limpidité.

Le cuivrage se fait par immersion dans des solutions contenant parties égales d'acétate de cuivre et de cyanure de potassium, dans cinquante parties d'eau.

Enfin, d'après M. Tommasi, le décapage de l'aluminium comporterait des immersions successives dans la soude caustique, l'acide nitrique concentré, l'acide fluorhydrique très étendu, et l'acide phosphorique liquide.

Composition des bains. — Nous avons dit que la réussite du nickelage dépendait surtout de la préparation du bain et de la conduite de l'opération.

Voyons d'abord quels sont les bains les plus employés.

Bains d'Adams

1. Chlorure double de nickel et d'ammonium.	135
Eau	10 ^l

Ou bien dissoudre 135 grammes de nickel pur dans l'acide chlorhydrique, en évitant tout excès d'acide, et

chauffer doucement. Ajouter à la dissolution 21,25 d'eau froide et de l'ammoniaque jusqu'à neutralité. Dissoudre, d'autre part, 70 grammes de sel ammoniac dans l'eau, mêler les deux solutions, compléter à 10 litres, filtrer ou décantier.

2. Sulfate double de nickel et d'am-	
monium	1 kg
Eau	10 ^l

Opérer comme ci-dessus, en remplaçant l'acide chlorhydrique par l'acide sulfurique et le sel ammoniac par le carbonate.

Bain de Roseleur

Eau	10 ^l
Sulfate double de nickel et d'am-	
moniaque	100 gr
Carbonate d'ammoniaque	300 gr

Bains de Pfunhauser

1. Eau	20 ^l
Sulfate, azotate ou chlorure de nickel	1 kg
Bisulfite de soude	1 kg
2. Eau	20 ^l
Sulfate, azotate ou chlorure de nickel	1 kg
Sel ammoniac	1 kg

Bain de Boden

Bisulfite de soude liquide à 25°	20 ^l
Azotate de nickel	1 kg
Ammoniaque	1 kg

Bain de Weiss

Eau	100 ^l
Sulfate de nickel	7 ^{kg}
Sel ammoniac	2 ^{kg}
Acide citrique	200 ^{gr}

On chauffe à l'ébullition, puis on essaye au papier de tournesol. S'il rougit, on neutralise par l'ammoniaque, et on étend ensuite à 100 litres.

Bain de Wagner

Eau	3 ^l
Sulfate de soude	1 ^{kg}
Azotate de nickel	80 ^{gr}
Ammoniaque	80 ^{gr}

Bains de Weston

1. Eau	100 ^l
Chlorure de nickel	5 ^{kg}
Acide borique	2 ^{kg}
2. Eau	60 ^l
Sulfate de nickel	8 ^{kg}
Acide borique	1 ^{kg}

Bain de Plazanet

Sulfate de nickel	87,5 ^{gr}
Sulfate d'ammoniaque	200
Acide citrique	17,5
Eau	20 ^l

Bains de Powell

1. Eau	10 ^l
Sulfate de nickel	27,0 ^{gr}
Citrate de nickel	200
Acide benzoïque	70

On chauffe à l'ébullition et on ajoute l'acide benzoïque.

2. Eau	10 ^l
Chlorure de nickel	140gr
Citrate //	140
Acétate //	140
Phosphate //	140
Acide benzoïque	70
3. Eau	10 ^l
Acétate de nickel	200gr
Phosphate //	70
Citrate //	200
Pyrophosphate de soude	140
Bisulfite de soude	70
Ammoniaque	350
4. Eau	10 ^l
Sulfate de nickel.	200gr
Citrate //	200
Benzoate //	70
Acide benzoïque	15

Bain belge

Eau	4 ^l
Sulfate de nickel.	200gr
Tartrate d'ammoniaque	125
Tannin	1

Bain Villon

Eau	20 ^l
Fluosilicate de nickel	1kg
Fluosilicate d'ammoniaque	1kg
Citrate	100gr

Bain Martin et Delamotte

On sature de carbonate ou d'oxyde de nickel la solution chaude suivante :

Acide citrique	1 ^{kg} ,250
Chlorhydrate d'ammoniaque	0, 500
Azotate //	0, 500
Eau	15 ^l

On ajoute 262,500 d'ammoniaque, puis on étend à 25 litres. On ajoute après refroidissement 500 grammes de carbonate d'ammoniaque. Ce bain contient 50 grammes environ de nickel par litre.

Bain de Keith

Keith ajoute 1 litre d'une solution saturée de tartrate d'ammoniaque, à 20 litres d'une solution de sulfate double de nickel et d'ammoniaque marquant 7° B.

Il est bien entendu que l'on doit toujours employer pour la préparation de ces bains les sels de nickel les plus purs possible, et de l'eau distillée ou tout au moins de l'eau de pluie.

La présence de cuivre, d'arsenic, etc., modifie rapidement l'aspect du dépôt, lui donne souvent une teinte jaunâtre par places. On peut partir au besoin du nickel pur, mais il est actuellement aussi facile de se procurer des sels purs de nickel.

Parmi les formules de bains que nous avons énumérées, la plus employée est le bain de sulfate de nickel et d'ammoniaque, que l'on prépare

directement en dissolvant 1^{kg},5 de nickel pur dans 2^{kg},5 d'acide sulfurique à 66° B., étendu de 5 litres d'eau, ajoutant à la liqueur 1 kilogramme de sulfate d'ammoniaque en solution concentrée, puis on étend à 50 litres.

Il importe avant tout d'opérer en liqueur très faiblement acide. Si la liqueur est alcaline, le dépôt est jaunâtre, marbré de taches, quelquefois complètement gris ; il est toujours terne et l'on ne retrouve plus l'effet que l'on recherche dans le nickelage, l'éclat argenté.

D'un autre côté, si la liqueur est acide, le dépôt est toujours blanc et brillant, mais sans cohérence.

La découverte de ces faits a permis de procéder avec sécurité à l'opération du nickelage, qui, pendant longtemps, était incertaine. « Le dépôt de nickel n'est beau et résistant que s'il est déposé dans un bain neutre ou presque neutre. Dès que l'ammoniaque est à l'état libre dans un bain ammoniacal, le dépôt devient grisâtre et cassant. Si l'on évite son dégagement, le dépôt reste homogène et brillant. La présence de la soude ou de la potasse produit le même effet mais, à l'état de sels neutres, ils sont sans influence sur le dépôt (1) ».

(1) BOULLHET. — *Conférence faite au congrès international des électriciens*, 1881.

La réaction du bain varie au fur et à mesure que l'opération avance. Il faut donc l'essayer de temps en temps, en neutralisant l'acide par l'ammoniaque, puis rendant de nouveau la liqueur très légèrement acide par quelques gouttes d'acide citrique en solution concentrée.

La température la plus favorable pour un bon dépôt, est aux environs de 30°.

La concentration du bain est réglée par la température. Quand la liqueur marque moins de 6 à 8° B., le dépôt est trop lent; mais il faut éviter aussi qu'elle ne soit trop concentrée, parce que les sels de nickel, peu solubles en général, se déposent sur les électrodes. Il ne faut pas dépasser 16 à 18° B. Si la température du bain vient à baisser, on la relève en prélevant une petite quantité de liquide que l'on chauffe à part.

On emploie généralement pour recevoir les bains des cuves en grès ou en bois, recouvertes de feuilles de plomb soudées à la soudure autogène. On les garnit aussi d'un enduit de résine, de gutta-percha et d'huile de lin oxydée, avec addition d'une certaine quantité de pierre ponce en poudre.

Il faut que les cuves soient assez profondes pour que les objets n'arrivent qu'à la moitié tout au plus, pour éviter l'irrégularité des dépôts, à

cause de la différence des conductibilités à la surface et au fond.

Aussi est-il bon de mélanger le liquide des cuves par une agitation constante, soit par une hélice qui tourne dans le liquide, soit par le déplacement continu de ce liquide d'une cuve à une autre, soit enfin en faisant osciller le cadre auquel les objets sont suspendus.

Un bain neuf ne marche jamais bien ; on l'*affranchit* en y laissant pendant vingt-quatre heures une lame de cuivre, pendant que l'on fait passer le courant.

Quand le bain devient brun ou incolore, il n'est plus propre au nickelage, on achève alors de l'épuiser en ne laissant plus que des anodes insolubles, et en saturant l'acide libre par la craie. Enfin, quand le métal devient trop impur, on le fait déposer sur des cathodes en charbon.

On peut aussi précipiter le nickel à l'état de sulfate double de nickel et d'ammoniaque, en saturant la liqueur par du sulfate d'ammoniaque, dans lequel le sel double est insoluble.

Quand on veut nickeler du zinc, il est impossible de placer les objets directement dans le bain, parce qu'ils s'y dissoudraient tout au moins en partie et que dans un bain contenant du zinc les objets noircissent.

On recouvre alors le zinc d'un enduit de cuivre par les procédés du cuivrage, ou on les amalgame.

On peut alors les nickeler sans difficulté.

Conduite du nickelage. — On peut employer des anodes insolubles, en charbon ou mieux en platine, ou des anodes solubles, en nickel pur, laminé ou fondu.

Le platine est plus coûteux ; le charbon a l'inconvénient de se désagréger.

Les barres de nickel laminées ont une constitution physique plus uniforme que celle des plaques fondues, et le métal se dissout plus régulièrement, mais trop lentement pour le dépôt qui se fait à la cathode, on peut tomber dans les inconvénients des anodes insolubles.

Avec les anodes insolubles, la liqueur devenant de plus en plus acide, il faut ajouter de temps en temps du carbonate de nickel. Tandis qu'avec des anodes solubles, le bain devient alcalin, parce qu'il y a mise en liberté d'oxyde de nickel.

On remédie à ces inconvénients en utilisant à la fois les deux systèmes d'anodes, dont on règle la proportion par tâtonnements.

Les objets sont suspendus par des fils de cuivre

et les anodes par des fils de platine, reliés à des barres de cuivre.

On emploie une surface d'anodes un peu supérieure à celle des cathodes. Elles sont généralement dans le rapport de 5 à 4. Leur écart est en moyenne de 0^m,10.

Les divers auteurs font varier entre 40 et 85 décimètres carrés les surfaces d'anodes, pour 100 litres de solution.

On peut employer comme source d'électricité les piles ou les dynamos.

Dans le premier cas, la surface des zincs doit être sensiblement égale à celle des objets.

Les dynamos doivent pouvoir donner 6 volts au moins.

On commence par plonger l'objet dans le bain, après l'avoir relié au pôle négatif, de façon à éviter son attaque par le liquide du bain.

On emploie au début un courant de 5 volts pour avoir une forte adhérence, que l'on réduit à 1 volt, dès que la pièce est uniformément blanche.

Si elle présente des points ternes, on la retire, on la nettoie à la poudre et on la replonge dans le bain.

Il faut observer qu'un courant trop faible

donne un dépôt terne et gris, un courant trop fort donne un dépôt écailleux et noir.

On doit déposer 2 grammes de métal par heure et par décimètre carré, ce qui fait un dépôt de $\frac{1}{70}$ de millimètre. C'est ce qu'on appelle la *couche normale*. Elle est obtenue au bout de cinq heures avec les piles, et de deux heures seulement avec une dynamo, dans les conditions indiquées. Quand on veut dépasser l'épaisseur normale, il faut faire le dépôt en plusieurs fois, avec des lavages et polissages entre chaque opération ; sans cette précaution, la couche est exposée à s'exfolier au moindre frottement.

Mais on emploie aussi des épaisseurs bien plus faibles que celle de la couche normale. Généralement, quand on fait usage du courant d'une dynamo, on laisse dans le bain pendant un quart d'heure les pièces qui ne seront pas exposées à des frottements, pendant une demi-heure les objets de quincaillerie, une heure pour les pièces fines.

Enfin, il faut observer qu'il peut se développer dans le bain de nickel un courant inverse, surtout quand les cathodes sont facilement attaquables, par exemple quand on soumet au nickelage des pièces en fer.

Ce courant secondaire peut, dans certains cas,

être assez fort pour renverser le sens de la polarisation.

Il convient alors d'opérer avec un voltage suffisant, en s'assurant au besoin avec un galvanomètre du sens de la marche du courant.

Quelquefois aussi, on renverse volontairement le sens du courant pendant quelques instants, à la fin de l'opération. Les pièces subissent alors une légère attaque superficielle qui leur donne un très bel aspect.

Finissage des pièces. — Aussitôt que les pièces sont retirées du bain, on les rince à l'eau froide, puis elles sont lavées à l'eau chaude, passées dans la sciure chaude, polies au rouge d'Angleterre, lavées de nouveau et séchées à l'étuve.

Le polissage, qui est long et difficile, n'est employé que pour les articles de choix.

On les nettoie d'abord avec une bouillie de craie, puis on les gratte-bosse sur des disques de feutre, enduits de rouge ou de chaux ; après un dernier lavage, on les sèche. Les petits objets sont polis dans un tambour tournant.

Les pièces de fer sont le plus souvent mises à bouillir dans l'huile pour les protéger contre l'oxydation ultérieure.

Malgré toutes les précautions, il arrive souvent

que la couche de nickel s'écaille ou présente des soufflures. Il faut alors l'enlever pour procéder à un nouveau nickelage.

Pour dénicker les objets, on les plonge une demi-minute dans un bain contenant :

Acide sulfurique	4 litres
Acide nitrique.	500 grammes
Eau	500 //
Nitrate de potasse	500 //

On continue les immersions en suivant les progrès de l'attaque qui est très rapide. Cette opération est délicate, car on s'expose à altérer le poli de l'objet.

On peut aussi dénicker en plaçant les objets dans le bain électrolytique comme anodes. On procède ensuite au renickelage.

Quand les objets ont une teinte jaunâtre due à l'alcalinité du bain, on peut la leur enlever en les remettant dans un bain notablement acide et renversant pendant quelques instants le sens du courant.

Nickelage au trempé. — Les objets à bon marché sont quelquefois nickelés au trempé, qui ne présente qu'une adhérence insuffisante.

Il suffit de plonger les pièces dans une solution de nickel à peu près neutre.

On emploie le plus souvent le sulfate de nickel et d'ammoniaque, dans lequel on trempe les objets, avec des lames de zinc qui se dissolvent rapidement.

Le dépôt n'a généralement pas une belle couleur, et n'a aucune solidité.

Stolba a proposé d'immerger les pièces dans un bain contenant 5 % de sulfate de nickel et 10 % de chlorure de zinc. Après une heure d'ébullition, les pièces sont recouvertes d'un dépôt brillant comparable à celui que donne le nickelage électrolytique.

Les pièces sont ensuite lavées, passées au blanc de Meudon, lavées de nouveau et séchées.

Nickelage par le nickel-carbonyle. — M. Mond, l'un des auteurs de la découverte du nickel-carbonyle, a fait breveter un procédé de nickelage au moyen de ce composé.

Le nickelage peut s'obtenir de deux façons : soit en faisant passer le courant d'oxyde de carbone, qui entraîne le nickel-carbonyle, sur les objets à nickeler portés à la température de 200°, soit en chauffant l'objet et le plongeant dans une solution de nickel-carbonyle dans le pétrole. Il suffit alors d'une température de 60 à 70°.

Le nickel se dépose sous forme d'un enduit

brillant et homogène. On peut même obtenir ainsi des feuilles et des plaques de nickel pur, en faisant déposer le métal sur des surfaces unies, préalablement recouvertes d'un enduit de graphite.

APPLICATIONS DU NICKEL

Fabrication du fil de nickel. — La fabrication du fil de nickel de grosseur moyenne ne diffère pas de celle du fil de cuivre ou de laiton. On emploie le nickel rendu ductile par addition de magnésium ou d'aluminium.

Mais pendant le recuit, il se forme une certaine quantité d'oxyde que les passages à la filière incorporent à la masse, et qui diminuent la ductilité dans une proportion telle que le tréfilage finit par devenir impossible. De là, l'obligation de ne pas dépasser un certain degré de finesse dans les fils.

Le seul moyen qu'on ait encore trouvé de remédier à ce défaut, est d'opérer le recuit dans une atmosphère réductrice d'hydrogène ou d'oxyde de carbone, de façon à s'opposer à la formation de l'oxyde et à réduire celui qui aurait pu s'être produit par les manipulations préparatoires.

Le nickel destiné à être réduit en fils étant

mis sous la forme d'une règle cylindrique, est passé à la filière, puis recuit dans une cornue de fer enduite de chaux vive et traversée par un courant d'hydrogène sec. Le tout est porté au rouge pendant un temps suffisant, par un foyer placé à l'extérieur. On laisse alors refroidir le nickel dans la cornue à l'abri de l'air, jusqu'à ce que la température devienne assez basse pour que l'oxydation ne soit plus à craindre, et on continue le travail de la filière.

Ces opérations, qui ne laissent pas que d'être assez longues, sont répétées jusqu'à ce que le fil ait seulement un diamètre de 1 millimètre.

A partir de ce moment, le recuit est inutile, la chaleur seule du travail suffit à maintenir une température assez élevée pour empêcher l'écrasement.

On peut de cette façon obtenir des fils de $\frac{1}{30}$ de millimètre de diamètre.

On prépare aussi des fils de nickel souples, fourrés d'aluminium, de la façon suivante :

Après avoir préparé un cylindre de nickel, on le soumet au forage de façon à obtenir un tube dont le diamètre intérieur soit le tiers du diamètre extérieur. On introduit alors, à frottement dans ce tube, un cylindre d'aluminium recouvert d'une couche de soudure d'aluminium.

Cette soudure, composée de 70 parties d'étain et de 30 d'aluminium, adhère fortement à l'aluminium et permet de le souder à la plupart des autres métaux, notamment au nickel.

On passe alors à la filière l'ensemble des deux cylindres, en opérant les recuits à une température inférieure au rouge vif et à l'abri de l'air. On obtient ainsi des fils très légers, inaltérables et brillants, que l'on emploie dans la bijouterie et la passementerie pour remplacer les fils d'argent.

Ces fils ont la propriété de *brûler blanc* comme l'argent, c'est-à-dire que, chauffés au chalumeau, ils fondent en donnant une petite boule blanche à l'extrémité.

Les fils de nickel restent constamment blancs, tandis que les fils de cuivre argentés ne tardent pas à devenir rouges par l'usure.

On a obtenu des fils de nickel tels que 18 000 mètres ne pesaient que 100 grammes.

Creussets de nickel. — Le nickel est employé pour fabriquer des creussets de laboratoires, plus économiques que les creussets d'argent.

Ces creussets sont moins poreux et surtout beaucoup moins fusibles que ceux d'argent. Ils sont, en outre, moins bons conducteurs de la cha-

leur, ceux d'argent l'étant par trop ; un creuset de nickel à moitié rempli d'une lessive de potasse bouillante peut être tenu entre les doigts sans danger.

Malheureusement, ces creusets sont très vivement attaqués par les acides faibles étendus, et leur résistance aux alcalis est moindre que celle du platine : leur nettoyage est, par suite, peu aisé.

D'après Dittmar, la potasse caustique commence à attaquer énergiquement le nickel, quand la solution contient plus de 60 $\frac{0}{10}$ d'alcali anhydre KOH.

Il propose d'employer pour les creusets de laboratoire un alliage formé de :

Argent	57
Or	7
Nickel	32

Plaqué de nickel. — On peut préparer du plaqué de nickel en se fondant sur la propriété que possède ce métal de se souder au fer et à l'acier : on obtient de cette façon des feuilles de tôle recouvertes sur les deux faces d'une couche de nickel dans une proportion variable.

La tôle étant parfaitement décapée et bien dressée, on applique sur chaque face les feuilles

de nickel et on passe au laminoir, après un réchauffage qui se fait dans une caisse en tôle. On arrive, par des laminages successifs, à avoir des lames de l'épaisseur voulue et dans lesquels les deux métaux sont si intimement soudés, que l'on croirait avoir affaire à un seul métal.

C'est avec des feuilles d'acier, plaquées de 5 à 50 % de nickel, que l'on fabrique la plupart des ustensiles de cuisine de nickel employés en Europe, ainsi que les réflecteurs, etc.

Ce placage à chaud, véritable soudure, n'a pas l'inconvénient de s'écailler comme le dépôt galvanique.

On fabrique, en partant du même principe, des fils en plaqué de nickel.

PRODUCTION DU NICKEL

La production du nickel a été pendant de longues années limitée aux faibles quantités employées en orfèvrerie, et en 1878, elle ne s'élevait qu'à 400 tonnes environ.

A cette époque, l'exploitation régulière des mines de la Nouvelle-Calédonie, et les besoins croissants de l'industrie donnèrent à cette production un nouvel essor : elle s'éleva à 1 200 tonnes en 1880, à 2 000 tonnes en 1884.

A partir de 1886, l'emploi du nickel dans l'alliage qui recouvre les balles de plomb, et dans les plaques de blindage, fait progresser très rapidement cette production.

Elle montait à 3 000 tonnes en 1887, sur lesquelles la Nouvelle-Calédonie en fournissait 2 600.

Mais à ce moment, les mines du Canada furent mises en exploitation et en 1892, elles produisaient à elles seules 4 à 5 000 tonnes, de sorte que la production totale atteignait 7 à 8 000 tonnes.

Elle doit s'élever actuellement aux environs de 9 000 tonnes, et pourra dépasser ce chiffre au fur et à mesure que la métallurgie du nickel se simplifiera et que ses alliages seront mieux connus.

Voici les chiffres fournis par le *Jahresbericht* sur la production annuelle du nickel dans le monde entier :

Années	Tonnes
1840 à 1860.	100 à 250
1861 à 1863.	250 à 300
1869 à 1873.	500
1874 à 1876.	700
1877 à 1881.	600
1882 à 1887.	1 050 à 1 200
En 1888.	1 250
1889.	1 500
1890.	2 000
1891.	4 000

D'après *Engineering Mining J.* la production aurait été moindre :

Années	Tonnes
En 1889.	1 800
1890.	2 300 à 2 400
1891.	4 400 à 4 600
1892.	5 500

D'un autre côté, la *Statistique internationale de l'exploitation minière* donne les nombres suivants pour la production de minerais de nickel des différents pays, exprimées en tonnes :

Pays	Années					
	1889	1890	1891	1892	1893	1894
Nlle-Calédonie . . .	8 400	19 700	19 700	84 000	69 000	61 000
Prusse	17	33	185	530	650	1 340
Hongrie	176	170	116	116	340	340
Norwège	19 300	6 240	6 020	8 180	13 000	7 000
Espagne	//	//	//	//	1 200	1 200
États-Unis	//	1 050	//	//	//	//

Le même recueil donne pour la production de nickel métallique, en tonnes :

Pays	Années					
	1889	1890	1891	1892	1893	1894
France	330	330	330	1 244	2 045	1 545
Prusse	202	434	594	747	893	522
Norwège	132	66	12	70	90	97
États-Unis	93	//	101	43	22	//
Canada	//	//	600	2 100	2 750	1 800

CONCLUSIONS

Nous avons donc assisté depuis 1880 au développement de la métallurgie du nickel.

Si ce métal n'avait pas été employé en notable quantité auparavant, cela tient tout d'abord à la rareté du minerai.

Les roches qui renfermaient le nickel ne le contenaient jusqu'ici qu'en petite quantité.

La découverte des gisements de la Nouvelle-Calédonie par M. Garnier, puis, plus tard, la mise en exploitation des minerais sulfurés rencontrés au nord du lac Huron, ont permis de créer et de développer cette nouvelle métallurgie.

Malheureusement, les minerais sont peu riches, leur traitement est long et irrégulier; l'affinage de la fonte présente de grandes difficultés.

Une des principales tient à la facile oxydation du nickel qui fournit le plus souvent un métal

aigre dont les propriétés mécaniques sont profondément modifiées.

Le métal, bien pur, est d'excellente qualité, mais il est encore trop cher pour la grande industrie.

Par contre, les qualités du métal vont se retrouver dans ses alliages; nous y rencontrerons un allongement, une élasticité et une résistance qui les ont fait entrer tout de suite dans la pratique industrielle.

Les applications ont été assez importantes, et aujourd'hui où la métallurgie ne doit que trop de progrès à l'art militaire, c'est encore de ce côté, que se présenteront les principales applications du nickel.

Nous n'avons qu'à rappeler son emploi dans la fabrication du laiton pour cartouches et son rôle si important dans les aciers au nickel.

D'autre part, le nickelage par voie galvanique n'a pas fait de grands progrès. Si l'on sait aujourd'hui déposer régulièrement une petite couche de nickel sur un métal on ne peut augmenter son épaisseur, au-delà d'un quarantième de millimètre, à moins d'arrêter l'opération et de recommencer un nouveau polissage. Cette question mériterait d'être poursuivie, car la résistance du nickel en présence des agents atmo-

sphériques est une qualité dont on n'a pas suffisamment tiré parti jusqu'ici.

Quoi qu'il en soit, les progrès réalisés depuis quinze ans dans cette voie sont très sérieux, et nous ne doutons pas que l'avenir ne nous réserve sur ce point d'importantes et nouvelles découvertes.

BIBLIOGRAPHIE

Nous avons résumé ici les principaux travaux scientifiques et les recherches métallurgiques publiés dans ces dernières années.

- ALLEN. — *Perfectionnement dans la métallurgie du nickel*. Bull. de la Soc. d'enc. 78, 32.
- BADOREAU. — *Annales des mines*, 1877.
- BENOIT. — *Étude sur les mines de nickel de la Nouvelle-Calédonie*. Bull. ind. min. 6, 753.
- BERTHELOT. — *Le nickel-carbonyle*. Bull. Soc. Chim. 7, 433.
- BIVER. — *Brevet français*, n° 245 467.
- BLAKE. — *Métallurgie du nickel aux Etats-Unis*. Ann. ind. 16, 1, 164.
- BOUILHET. — Bull. Soc. Chim. XXVI, 419.
- BUSH. — *Les gisements de nickel de Sudbury*. Berg. Zeit. 53, 69.
- CAPELLE. — Bull. de la Soc. ind. de Rouen, 1888.
- CLARKE. — *Les mines de nickel platinifères du Canada*. Amer. Journ. 37, 372. et Iron 40, 93.
- DE COPPET. — *Brevet allemand*, n° 4076 et *Brevet français*, n° 319 699.
- GROISILLE. — *Les mines de nickel à la Nouvelle-Calédonie*. Berg. Zeit, 44, 287.

- DEWEY. — *Les gisements de nickel de l'Oural*. Trans. Min. Eng. 17, 636.
- DITTMAR. — *Emploi du nickel dans les laboratoires*. Rew. 15, 304.
— *Journ. of Soc. of chem. ind.*
- EMMENS. — *Nouveaux minerais de nickel*. Iron, 40, 383.
- ERDMANN. — *Sur le nickel et l'alliage blanc de nickel et de cuivre*. Journ. prakt. Chem. VII, 249.
- EUSTIS. — *Procédés d'extraction du nickel*. Berg. Zeit. 43, 100.
- EWING. — *Fabrication et emploi du bronze de nickel*. Gew. Bl. Bay.
- FLECHNER. — *Combinaisons du nickel*. Chem. techn. Zeit. 5, 437.
- FLECHNER. — *Particularités de la découverte et état de l'exploitation des gisements du nickel d'Europe*. Berg. Zeit. 38, 358.
- FLEITMANN. *Berichte*, 454, 1879.
- GALBRAITH. — *Le bronze de nickel*. Rép. de Chim. 3, 13.
- GARD. — *Fonte de nickel*. Amer. Journ. (3), XIV, 274.
- GARNIER. — *Minerais de la Nouvelle-Calédonie*. Comp. Rend. LXXXII, 1453.
— *Le nickel malléable*. Public. ind. des mach. 27, 287 et 12, 245.
— *Découverte des minerais de la Nouvelle-Calédonie*. Soc. ing. civils, 38, 1, 89.
- GASPARD et BELLE. — *Le nickel malléable*. Bull. soc. d'enc. 79, 505.
- *Nouvel emploi du nickel*. Monit. Scient. 53, 541.
- GEERKENS. — *Action des sels de nickel sur l'organisme*, Phar. Cent. 25, 41.

- GRANT et RICHARDSON. — *Brevet américain*, 490 847.
- HERRENSCHMIDT. — *Brevet allemand*, n° 11 424.
- HERRESHOFF. — *Fours pour la préparation du nickel à Sudbury, Canada*. Berg. Zeit. 51, 187.
- HÖPFNER. — *Brevet français*, n° 239, 51.
- KEITH. — *Nickélisation*. Wieck's Gew. Zeit. 58 (1872).
- KRÜGER. — *Sur le nickel métallique*. J. Golschem, 4, 43.
- *Métallurgie du nickel*. Eisen Leit. 27.
- *Le nickel américain*. Zeit. Blech. 13, 192.
- LABORDE et RICHE. — *Effets physiologiques des sels de nickel*. Journ. Pharm. 1888, (17) 59 et 97.
- LEVAT. — *Sur les progrès récents sur la métallurgie du nickel*. Ann. des mines, 1892.
- *Géologie et métallurgie du nickel de la Nouvelle-Calédonie*. Iron, 40, 93.
- *Les mines de Sudbury*. Ind. Iron, 14, 90.
- MANHÈS. — *Brevets allemands* n°s 10 447 et 10 591 et *brevets français*, n°s 234 760 et 243 652.
- MEUNIER. — *Nickel*. Encyclopédie chimique de Frémy.
- MOND. — *Extraction du nickel par le nickel-carbonyle*. Engineer. min. 53, 476.
- MOND, LANGER et QUINCKE. — *Métallurgie du nickel*. Rew. ind. 22, 434.
- MOULAN. — *Le ferro-nickel*. Rev. univ. 27, 142.
- NEILL. — *Traitement des mattes de nickel*. Trans. min. eng. 13, 634.
- *Le nickel de la Nouvelle-Calédonie*. Bull. ind. min. 14, 1889, 196.
- *Exploitation du nickel de la Nouvelle-Calédonie*. Gén. civil, 8, 88.
- PATERA. — *Jour. prak. Chem.* LXVII, 14.

- PFANNHAUSER. — *Le nickelage du zinc*. Met. arb. 13, 363.
- PONTHÈRE. — *Électrochimie et électrometallurgie*.
- RICHE. — *Action des sels de nickel sur l'économie*.
Journ. Pharm. 1888. (17).
- SOCIÉTÉ HAVRAISE DE NICKEL PUR. — *Breret français*
n° 238 939.
- STENBOCH. — *Le nickel et ses alliages*. Weick's gew.
Zeit. 55, 169.
— *Applications du nickel*. Bull. soc. d'enc., 89, 177.
- STOLBA. — *Dépôt de nickel par réduction*. Dingler's
Journ. CXXII, 366.
- TOMMASI. — *Électrochimie*.
- TOWNSEND. — *Dépôt de nickel de la Caroline du Nord*.
Eug. min. 53, 176.
— *Métallurgie du nickel dans le district de Sudbury,*
Ontario. Row. ind. min. 6, 753.
- VAN HAMEL ROOS. — *Revue international des falsifi-*
cations, 1887.
- VILLOX. — *Métallurgie du nickel*. Encyclopédie chi-
mique de Frémy.
- VEGEL. — *Sur l'industrie du nickel au Canada*.
Stahl, 14, 23.
- WAGNER. — *Hüttenmann Zeit.* XXXIX, 139, 189.
- WAUKLIN. — *Nickel pur et nickel laminé*. Weick's
Gew. Zeit, 13, 102.
- WARREN. — *Pratique du plaqué de nickel*. Journ.
Goldschm. 8, 71.
- WINKLER. — *Fusion du nickel*. Dingler's Journ.
CXXII, 175.
-

TABLE DES MATIÈRES

—

	Pages
Généralités	5

PROPRIÉTÉS DU NICKEL MÉTALLIQUE

Propriétés physiques	8
Propriétés chimiques	11

COMPOSÉS DU NICKEL

Protoxyde de nickel, (NiO)	14
Sesquioxyde de nickel (Ni ² O ³)	15
Sulfures de nickel	16
Fluorure de nickel	18
Chlorure de nickel (NiCl ²)	19
Bromures de nickel (NiBr ²)	20
Iodures de nickel (NiI ²)	20
Arséniures de nickel	21

	Pages
Carbure de nickel	21
Sulfate de nickel (SO_4Ni)	21
Sulfate de nickel et d'ammonium ($\text{SO}_4)_2\text{Ni}(\text{AzH}_4)_2$ + $6\text{H}_2\text{O}$)	23
Azotate de nickel ($\text{AzO}_3)_2\text{Ni} + 6\text{H}_2\text{O}$)	23
Arséniates de nickel	24
Carbonate de nickel (CO_3Ni)	24
Cyanure de nickel (NiC_2Az_2)	25
Nickel-carbylure, ($\text{Ni}(\text{CO})_4$)	26
Acétate de nickel ($(\text{C}^2\text{H}^3\text{O}^2)_2\text{Ni} + 4\text{H}_2\text{O}$)	27
Oxalate de nickel ($\text{C}^2\text{O}^4\text{Ni} + 2\text{H}_2\text{O}$)	27
Tartrate de nickel ($\text{C}^4\text{H}^4\text{O}^4\text{Ni}$)	27
Citrate de nickel ($(\text{C}^6\text{H}^5\text{O}^7)_2\text{Ni}^3 + 14\text{H}_2\text{O}$)	27
Caractères des sels de nickel	28
Effets physiologiques des sels de nickel.	29

MINÉRAIS DE NICKEL

Oxydes	36
Sulfures	36
Sulfate	41
Tellurure.	42
Arséniures	42
Sulfoarséniures	44
Antimoniures	45
Sulfoantimoniure.	45
Arséniates	46
Carbonates	47
Silicates	48

MÉTALLURGIE DU NICKEL

	Pages
I. <i>Traitement des minerais arséniés.</i>	58
Concentration du minerai.	59
Concentration par grillages	59
Deuxième grillage et deuxième fusion	61
Troisième grillage et affinage	62
Concentration au convertisseur.	63
Traitement du speiss	64
II. <i>Traitement des minerais sulfurés</i>	65
Concentration par grillages	66
Affinage	69
Concentration au convertisseur	71
Extraction du nickel des mattes	82
III. <i>Traitement des minerais arsénio-sulfurés.</i>	93
IV. <i>Traitement des minerais oxydés.</i>	95
Traitement par la voie sèche	96
Traitement par la voie humide.	101
Traitement par la voie mixte	106
V. <i>Nickel métallique</i>	107
Nickel par la réduction par l'hydrogène	110
Nickel obtenu par voie électrolytique	111
Nickel fondu	113
Nickel pur	115

ALLIAGES DE NICKEL

Nickel et aluminium	118
Nickel et antimoine.	119
Nickel et mercure	119

	Pages
Nickel et or	120
Nickel et plomb	120
Nickel et palladium	120
Nickel et platine	120
Nickel et zinc	121
Nickel et fer	121
Nicko-fonte	122
Fontes au nickel	123
Fers au nickel	124
Aciers au nickel	124
Nickel et cuivre	127
Maillechorts.	132
Maillechorts à l'aluminium	135
Ferro-maillechorts	137
Maillechorts au tungstène	138
Autres alliages du nickel	139

NICKELAGE

Préparation des pièces.	144
Composition des bains.	148
Conduite du nickelage.	156
Finissage des pièces.	159
Nickelage au trempé	160
Nickelage par le nickel-carbonyle.	161

APPLICATION DU NICKEL

Fabrication du fil de nickel	163
--	-----

TABLE DES MATIÈRES 183

	Pages
Creusets de nickel	165
Plaqué de nickel	166

PRODUCTION DU NICKEL

Statistique	168
CONCLUSIONS	171
BIBLIOGRAPHIE	175



ST AMAND (CHER). IMPRIMERIE DESTENAY, RUSSIÈRE FRÈRES.