

JOSEPH DHAVERNAS

Ancien élève de l'Ecole Polytechnique,
Président du Centre d'Information du Nickel.

HISTOIRE DU NICKEL

LE NICKEL DANS L'INDUSTRIE

Editions du
CENTRE D'INFORMATION
DU NICKEL

7, Bd Haussmann, PARIS (IX^e)

1938



MUSEE ULTIMHEAT®
ULTIMHEAT® MUSEUM

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

	Pages
I. — AVANT-PROPOS	3
II. — LE NICKEL EN EUROPE	
1. — LE NICKEL FRANÇAIS.	
Historique	5
Phase industrielle	7
Géographie et géologie	11
Métallurgie :	
Première fusion	13
Affinage sans fusion	14
Procédé électrométallurgique	16
Affinage électrolytique	17
2. — LE NICKEL DANS LES AUTRES PAYS D'EUROPE.	
Scandinavie	17
Grèce	19
Allemagne	20
Finlande	22
U. R. S. S.	23
Italie	23
III. — LE NICKEL CANADIEN	
Grande-Bretagne	25
Etats-Unis	26
Province d'Ontario	27
Historique	27
Géologie	32
Première fusion	33
Affinage.	
Procédé de l'International Nickel C°	36
Affinage à l'usine de Clydach	38
IV. — CONCLUSION	41

DEUXIÈME PARTIE

LE NICKEL DANS L'INDUSTRIE

TABLEAU DES PRINCIPAUX ALLIAGES INDUSTRIELS DU NICKEL	45
PRINCIPAUX EMPLOIS INDUSTRIELS DU NICKEL ET DE SES ALLIAGES	50
LES ALLIAGES DE NICKEL EN PRÉSENCE DES PRINCIPAUX AGENTS CORROSIFS	69

AVANT-PROPOS

Si le nickel est un métal relativement moderne, qui n'est entré dans la pratique industrielle qu'au cours du dernier siècle, sa première utilisation remonte à la plus haute Antiquité. Il est probable qu'au début de l'âge de fer, nos lointains ancêtres, avant de savoir traiter les minerais de fer, se sont servis des masses météoriques trouvées çà et là, qui leur fournissaient un métal pouvant être immédiatement forgé, d'où ils tiraient les armes et outils nécessaires à leur existence. Les glaives qu'ils fabriquaient ainsi leur étaient d'autant plus précieux qu'ils semblaient avoir une origine céleste : ils provenaient d'une matière tombée du ciel et promettaient par là-même d'être invincibles ⁽¹⁾.

Ce fer météorique contenait une forte proportion de nickel : on sait, en effet, que la teneur va de 3 à 25 %. C'est également sous une forme déguisée, et sans révéler son identité, que le nickel a été utilisé longtemps avant l'ère chrétienne sous la forme d'alliages blancs. Le packfong, ou cuivre blanc, provenant des mines du Yunnan, au sud de la Chine, a servi pendant des siècles à des fabrications d'objets divers importés en Europe dans le courant du XVIII^e siècle.

Les Bactriens, qui occupaient les plaines du Turkestan actuel, sur la route des caravanes fréquentée par les peuplades asiatiques, ont connu cet alliage et l'ont employé pour leurs monnaies : on possède au British Museum de Londres, une pièce Bactrienne datant de 235 ans avant notre ère, et il est intéressant de noter que sa composition (20 % de nickel et 78 % de cuivre) est voisine de l'alliage monétaire cuivre-nickel universellement adopté aujourd'hui pour la monnaie de billon.

(1) Dans l'histoire des grands conducteurs d'hommes de l'antiquité, on retrouve cette allusion à des armes se rapportant à des épées de provenance surnaturelle : les anciens chefs arabes prétendaient avoir des glaives d'origines divines; les mêmes croyances se retrouvent dans les anciens poèmes des Perses, et les premières lames de Damas était, paraît-il, un don du ciel. L'épée de Siegfried ne lui permettait-elle pas d'accomplir de merveilleux exploits, jusqu'à résister à Wotan lui-même ? (A. J. Wadhams, « The History of Nickel as related to Research »).



PIÈCE BACTRIENNE
(235 ans avant Jésus-Christ)

LE NICKEL EN EUROPE

Dans le courant du XVIII^e siècle, en exploitant des mines de cuivre en Saxe, on rencontra un métal qui prenait à l'affinage une teinte grisâtre dont on ne parvenait pas à extraire le métal rouge recherché. Les mineurs saxons de Schneeberg durent abandonner le travail de ce métal étrange dans lequel leur superstition crut voir une manifestation diabolique, et ils lui donnèrent le nom de Kupfernickel, en souvenir du vieux Nick, le gnome des montagnes, frère du diabolin Kobold, qui devait un jour présider au baptême du cobalt. Vers la même époque, on trouva en Suède un minerai analogue, et le chimiste suédois Axel Cronstedt, en 1751, parvint à démontrer, dans ces minerais cuprifères, l'existence d'un métal nouveau qui fut nommé nickel et qu'étudièrent ensuite Bergmann, en 1775, et Richter, trente ans plus tard, en 1804.

La première usine où l'on travailla l'alliage cuivre-nickel, en concurrence avec le Packfong chinois, fut celle de Suhl près d'Erfurt. Peu après, Geitner fabriqua en Saxe, un alliage blanc de même nature sous le nom d'argentan, alliage qui se répandit en Europe, et plus particulièrement en Angleterre, en prenant le nom d'« argent allemand », en raison de sa couleur blanche et de son aspect brillant; en France on l'appela « maillechort ». Mais c'est au milieu du XIX^e siècle que son emploi s'étendit, grâce aux pièces de petite monnaie adoptées successivement par la Suisse, les Etats-Unis, la Belgique et l'Allemagne : ce nouvel alliage monétaire comprenait environ 25 % de nickel et 75 % de cuivre.

Bien que le nickel eût été isolé, on ne connaissait pas encore son emploi à l'état pur : le nickelage, il est vrai, était déjà connu à la suite des travaux de Michel Faraday et de Beegter en 1843, mais on n'était pas encore parvenu à travailler le nickel pur. C'est Joseph Warton qui, en 1865, montra que le nickel, jusqu'alors rebelle à toute tentative de forgeage, pouvait être rendu malléable par une addition de magnésium : Fleitmann, en Westphalie, mit au point ce procédé auquel certains fabricants substituèrent plus tard la malléabilisation par addition de manganèse. Le nouveau métal restait pourtant presque une curiosité de laboratoire, en raison du peu d'importance des gisements alors connus en Saxe, en Ecosse et aux Etats-Unis, où l'on exploitait quelques affleurements. C'est vers 1870 que se développa une source de production jusqu'alors restée faible et stationnaire : les minerais de Norvège. La production en 1876 atteignit 360 tonnes de nickel provenant du traitement d'environ 40.000 tonnes de minerai. Nous reverrons un peu plus loin l'histoire de cette fabrication norvégienne qui perdit rapidement de son importance à la suite de la mise en valeur des gisements considérables découverts en Nouvelle-Calédonie. Etant donné le rôle qu'a joué notre colonie du Pacifique dans l'histoire du nickel pendant le dernier quart du siècle dernier, et celui qu'elle joue encore aujourd'hui, nous nous proposons de retracer tout d'abord l'histoire de ces minerais, et de marquer l'influence décisive que leur exploitation eut sur la métallurgie du nickel, telle qu'elle nous apparaît aujourd'hui.

LE NICKEL FRANÇAIS

HISTORIQUE (1)

La lointaine île de la Nouvelle-Calédonie, perdue dans le sud de l'océan Pacifique, fut découverte par le fameux navigateur Cook dont les deux navires *Adventure* et *Résolution* jetèrent l'ancre au nord de l'île le 4 septembre 1774. Cook débarqua avec quelques compagnons, mais s'abstint de toute exploration à l'intérieur. Quelque temps plus tard, le navigateur français La Pérouse fut envoyé dans les mers du sud et chargé d'une étude géologique des terres récemment découvertes : on sait que les deux navires de son expédition *La Boussole* et *L'Astrolabe* se perdirent dans le Pacifique en 1788, sans qu'on ait jamais pu apprendre rien de définitif sur la catastrophe de La Pérouse et de ses compagnons.

En 1793, l'amiral d'Entrecasteaux fut envoyé dans les parages de la Nouvelle-Calédonie pour y rechercher La Pérouse avec les deux navires portant les noms pleins de promesses de *Recherche* et *Espérance* : il débarqua dans l'île dont il fit une exploration limitée.

En réalité, l'occupation de l'île ne commença que vers 1843, quand les premiers missionnaires catholiques français s'y installèrent. Peu de temps après, la marine française fit faire une

étude géologique de l'île et dresser quelques cartes. Dès le début de leur installation les missionnaires, aussi bien que les marins débarqués dans l'île, eurent à résister à de nombreuses attaques de la part des indigènes cannibales : beaucoup furent tués, et une partie de l'équipage du navire hydrographique *Alemène* fut dévorée par les Canaques : c'est alors que la France décida la pacification définitive de la Nouvelle-Calédonie. La prise officielle de possession de l'île eut lieu le 24 septembre 1853, par l'amiral Febvrier Despointes, qui s'installa au nom du Gouvernement français après une course mémorable entre la frégate française *Phoque* et la frégate anglaise *Herald* : la France et l'Angleterre étaient également désireuses d'arriver premières et d'incorporer la Nouvelle-Calédonie dans leur domaine colonial. On prétend que les deux frégates partirent le même jour de Sydney, mais que l'amiral français, mieux favorisé par les vents, arriva le premier et planta le drapeau français sur l'île principale appelée « Grande-Terre ». Le Commandeur anglais Taylor n'arriva qu'après lui à la petite « île des Pins », au sud de la première : désespéré de n'avoir pu remplir sa mission, l'officier anglais se tua à son retour à Sydney.

Pendant les années qui suivirent l'occupation militaire, la Nouvelle-Calédonie s'organisa progressivement. Des routes furent créées et des colons commencèrent à s'y installer. On dut réprimer plusieurs révoltes des indigènes, alors

(1) Ce chapitre est reproduit de la Revue du Nickel de mai 1937, pages 70 et suivantes.

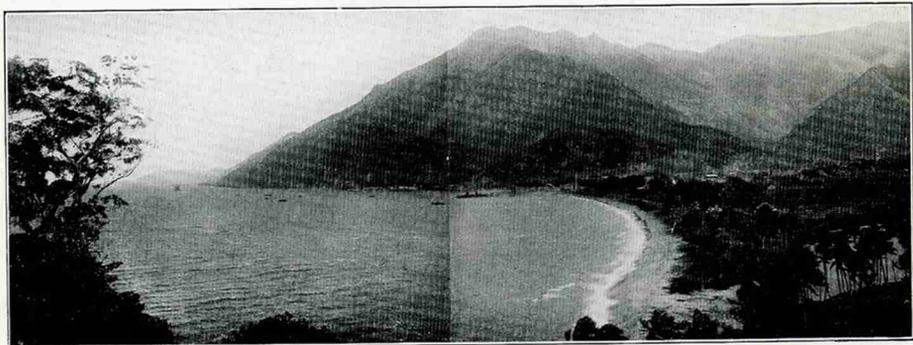


FIG. 1. — Vue générale de la baie de Thio.

tous cannibales et violemment opposés à toute civilisation : la dernière répression importante eut lieu en 1878, et depuis on n'a eu à déplorer aucune nouvelle révolte à l'exception d'une insurrection de peu d'importance en 1917, au cours de la guerre.

En 1863, la métropole décida d'établir en Nouvelle-Calédonie un bague pour condamnés de longue durée : c'est seulement en 1897 que le bague fut fermé : les condamnés ayant accompli leur temps étaient maintenus dans l'île. Depuis 1865 jusqu'en 1910, la main-d'œuvre pénale put ainsi faire face à tous les besoins industriels, comme à l'exploitation du sol.

Dès le début de 1863, le Gouvernement français impressionné par des bruits répétés touchant la richesse minière de la Nouvelle-Calédonie, envoya un ingénieur des mines, Garnier, avec mission de faire un inventaire détaillé de la richesse minière de la colonie. Au cours de sa prospection, Garnier découvrit l'existence de riches dépôts de nickel, et les conclusions de son travail de recherches furent publiées en 1867 dans les *Annales des Mines*, sous le titre : « Essai sur la géologie et les ressources minières de la Nouvelle-Calédonie. » Garnier ne se contenta pas de découvrir le minerai lui-même, mais rechercha plus tard un procédé d'affinage et prit une part active dans l'organisation première de l'industrie du nickel en Nouvelle-Calédonie.

Cependant, le minerai calédonien ne resta connu que de quelques initiés, même dans la colonie, jusqu'en 1874 : Garnier était revenu en France en 1867, rapportant de nombreux échantillons, alors considérés plutôt comme des curiosités destinées aux collections de pierres et de minerais.

C'est en 1874, à la suite du rapport enthousiaste d'un autre ingénieur des mines, Heurteau, que l'on commença réellement à s'intéresser au nouveau minerai. Garnier breveta un traitement à la suite d'essais effectués à l'usine de Septème, près de Marseille : on avait baptisé ce minerai du nom de garnièrite, en souvenir de celui qui l'avait découvert. On fit plusieurs tentatives de première fusion en vue de la production d'une « matte », mais elles furent abandonnées après quelques temps.

C'est vers cette époque que le minerai calédonien fut, pour ainsi dire, redécouvert près de Nouméa, au pied du Mont Dô, par quelques colons établis dans ce district. Une première mine fut demandée en concession et exploitée par un marchand de Nouméa, M. Higginson,

dont l'initiative fut imitée par d'autres promoteurs. Des prospecteurs français et étrangers virent de plus en plus nombreux et, à la suite de découvertes sensationnelles, une véritable fièvre du nickel se développa en Nouvelle-Calédonie pendant les années qui suivirent. En peu de temps, les mines importantes de Houailon, de Canala et de Thio furent découvertes et exploitées. L'absence d'impuretés telles que le cuivre, l'arsenic et le soufre dans le minerai calédonien, fit préférer la garnièrite à tous les autres minerais de nickel connus à l'époque et orienta la méthode métallurgique qui fut rapidement mise en œuvre. Garnier, qui avait déjà étudié l'amélioration des aciers par les additions de nickel, essaya de mettre au point un procédé de première fusion copié sur la métallurgie du fer. Il forma en 1876 une Société, en France, avec l'aide d'Henri Marbeau, pour l'exploitation industrielle du nouveau procédé. En même temps, une société filiale élevait le premier haut fourneau à la Pointe Chaleix, près de Nouméa. Les premiers lingots, obtenus avec du



Fig. 2. — Massif montagneux de Nouvelle-Calédonie (groupe de Ningua).

minerai réduit au charbon de bois dans un cubilot, furent montrés pour la première fois à Paris, à l'Exposition Internationale de 1878. Il s'agissait d'un alliage de nickel et de fer : en affinant cet alliage, l'usine de Septème réussit à obtenir un métal à 98 % de pureté.

Pendant les années qui suivirent, la production de nickel se développa rapidement en Nouvelle-Calédonie ; les intérêts se groupèrent et de leur réunion naquit la Société Le Nickel, constituée le 10 mai 1880.

L'exportation des minerais et des fontes nickélifères progressa de 1875 à 1884, avec un seul arrêt dans la production pendant l'insurrection canaque de 1878. Les années 1881 à 1883 furent,

pour la Nouvelle-Calédonie, des années de prospérité sans précédent, pendant lesquelles les mines et l'usine de la Pointe Chaleix ne connurent aucun repos. En quatre années seulement, cette usine produisit 4.000 tonnes de fonte à 60 % de nickel. La Nouvelle-Calédonie prit la place de la Norvège dans le contrôle du marché du nickel, et les mines d'Europe durent presque toutes arrêter leur exploitation.

La consommation industrielle du métal n'avait malheureusement pas pu suivre le développement trop rapide de cette production inattendue. Les stocks s'accumulèrent et les prix baissèrent rapidement : le nickel affiné, qui était vendu 30 francs le kilo avant la découverte des gisements calédoniens, tombait à 12 francs en 1880 et à 6 francs en 1884. Les cours des minerais calédoniens s'étaient effondrés dans la même proportion : une crise se produisit et les hauts fourneaux de la Pointe Chaleix durent être arrêtés en 1884, ainsi que la plupart des exploitations minières.

LA PHASE INDUSTRIELLE

L'abaissement du prix du métal eut au moins une conséquence heureuse : il décida l'industrie à utiliser davantage le nickel dont l'emploi dans les aciers commença à se généraliser. Déjà, Henri Marbeau avait constitué une société sous le nom de « Fonderie de Nickel et de Métaux blancs », prenant ensuite le nom de « Ferro-Nickel » : cette société, dans son usine de Lizy-sur-Ourcq, fit la première démonstration des avantages que confèrent aux aciers au carbone des additions de nickel. Un peu plus tard, les Aciéries de Montataire, sur les indications de Marbeau, confirmées par James Riley à Glasgow, obtenaient un premier ferro-nickel à 25 % de nickel qui présentait deux caractéristiques extraordinaires : de ne pas être magnétique et de s'adoucir par trempe, malgré sa teneur élevée en carbone. Le gouvernement français, de son côté, commença, à cette époque, à s'intéresser à l'acier au nickel pour blindages, question toute nouvelle, suivie de près par le gouvernement américain : c'est même aux remarquables résultats obtenus dans des essais de perforation à Annapolis, sur des plaques du Creusot et de Cammell et C^o, de Sheffield, qu'est dû l'emploi, général aujourd'hui, de l'acier au nickel pour blindages dans les marines de guerre.

Les demandes de métal reprirent rapidement ; il devint évident que la consommation du nickel allait prendre une extension considé-

table ; les mines de la Nouvelle-Calédonie virent s'ouvrir une nouvelle ère de prospérité. Les exportations de minerai atteignirent bientôt le chiffre de 50.000 tonnes par an, et l'usine de la Pointe Chaleix fut remplacée par la première usine de fusion pour matte, construite en 1889,

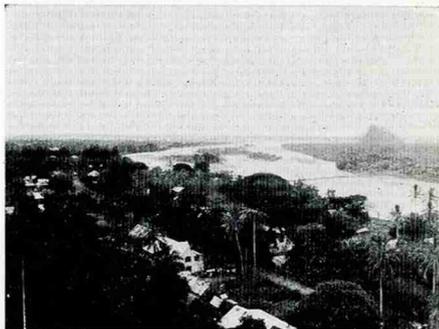


Fig. 3. — Village de Thio.

par la Société « Le Nickel », près de Thio. On s'était, en effet, aperçu de la difficulté d'obtenir un métal suffisamment pur en traitant le minerai de nickel au haut fourneau comme les minerais de fer ; en raison de son affinité pour le soufre, le nickel se sulfurait au contact du coke et la fonte produite dissolvait en même temps une proportion inacceptable de carbone.

C'est alors qu'on abandonna la première méthode pour copier la métallurgie du cuivre et transformer, par réduction et sulfuration, l'oxyde de nickel en sulfure en apportant au lit de fusion un élément sulfurant, le gypse.

En même temps que se développaient les aciers au nickel, nouvelle acquisition de la métallurgie, et les maillechorts, connus comme on le sait depuis longtemps, Fleitmann, en Westphalie, montra qu'il était possible de malleabiliser le nickel avec du magnésium, et c'est de cette découverte que naquit l'industrie de la fabrication du nickel pur, rendu forgeable et laminable par traitement en fin de fusion avec du magnésium, ou, comme on le reconnut plus tard, avec du manganèse. Il semblait donc qu'à ce moment l'industrie française du nickel pût espérer recueillir enfin le produit de ses efforts, et bénéficier des nouveaux débouchés conquis par le métal.

Un nouvel élément, cependant, venait, en 1889, d'apparaître sur le marché, avec le nickel du Canada, dont la production dépassa rapide-

ment la demande. La baisse des prix qui en résultait pesa très lourdement sur le cours des minerais calédoniens ; nombre de petits exploitants qui s'étaient lancés dans les affaires minières au cours des années précédentes, durent fermer leur exploitation et se trouvèrent ruinés ; les grosses entreprises maintinrent une production réduite, et l'usine de la Société « Le Nickel », de Thio, fut fermée à son tour en 1891. Pourtant, la vitalité de l'industrie française du nickel s'affirma de nouveau au cours des années qui suivirent. La première surprise passée, elle se réorganisa rapidement pour conserver sa place un moment compromise sur le marché ; elle fut aidée d'ailleurs par le développement croissant des emplois du métal. Les cours redevinrent normaux et la production du minerai, qui était tombée à 37.000 tonnes en 1896, commença à reprendre une marche ascendante pour atteindre 133.000 tonnes en 1901. La crise métallurgique européenne en 1902 vint de nouveau enrayer ce développement, mais la production se maintint à un chiffre moyen de 100.000 tonnes jusqu'en 1911 ; en dépit de la concurrence canadienne, et notamment de l'activité de la Mond Nickel Co^e, en Angleterre, qui exploitait des minerais de Sudbury, les livraisons calédoniennes reprirent de nouveau une marche ascendante pour atteindre leur valeur la plus élevée en 1914 : 172.000 tonnes. Entre temps, la Société « Le Nickel » avait puissamment outillé des usines d'affinage en Europe, en France au Havre, en Angleterre (par l'intermédiaire de l'Anglo-French Co^e), à Swansea en Pays de Galles, à Kirkintilloch en Ecosse, et à Iserlohn en Allemagne.

Ce nouvel élan de la production calédonienne était dû en partie à l'éclosion d'une nouvelle industrie locale du nickel, à côté de la société déjà exploitante. La Maison Ballande, de Bordeaux, qui faisait depuis plusieurs années un commerce actif avec la Nouvelle-Calédonie, s'était intéressée aux minerais de nickel, dont elle faisait l'exportation en Allemagne, dans des usines de Westphalie. Cependant, elle se trouva bientôt dans une situation défavorable en face de sa puissante concurrente, la Société « Le Nickel », et rencontra de telles difficultés pour écouler son minerai qu'elle se décida à l'affiner elle-même et à mettre sur le marché du nickel métallique. Vers 1906, fut montée l'usine d'affinage de Duffel, en Belgique, entre Anvers et Malines, sur la rivière de La Nèthe. On y essaya tout d'abord un procédé nouveau, consistant à traiter la matte de nickel sortant du haut fourneau avec un jet de vapeur, procédé dit du

« réacteur », qui ne donna que des déboires. C'est alors que la nouvelle usine, sous le nom des Usines de Nickel de La Nèthe, adopta le procédé déjà en usage en Allemagne et au Havre, consistant en une fusion sulfurante, suivie d'un déferage, d'un grillage et d'une réduction.

Quelques années avant la guerre, pour diminuer les frais élevés de transport du minerai de la Nouvelle-Calédonie en Europe, les sociétés exploitantes, la Société « Le Nickel » d'une part, et l'affaire Ballande, sous le nom des Hauts Fourneaux de Nouméa, d'autre part, réussirent à résoudre le problème de la main-d'œuvre locale posé par la disparition des condamnés aux travaux forcés. Elles firent appel à l'immigration japonaise : jusqu'au cours de la Grande Guerre, les ouvriers japonais vinrent, sous contrat, travailler sur les mines et dans les usines d'affinage : on put alors reprendre, grâce aux progrès de la technique, l'ancienne idée de la fusion sur place, en vue d'obtenir non plus une « fonte », mais une « matte ». On construisit de grands water-jackets à section rectangulaire de 100 tonnes, et, à partir de ce moment, on expédia en Europe, non seulement du minerai, mais aussi un concentré, dit « matte brute », contenant environ 42 % de nickel, 38 % de fer et 20 % de soufre. Cette importation de main-d'œuvre japonaise cessa après la guerre : elle fut remplacée par un apport régulier de coolies indochinois, à la suite d'accords passés avec le gouvernement de l'Indochine.

En 1910, l'industrie calédonienne, qui s'était jusqu'alors contentée de défendre ses positions en Europe contre la concurrence rapidement croissante de la jeune industrie canadienne, prit l'offensive, et la Maison Ballande créa une filiale aux Etats-Unis, dans l'Etat de New-Jersey, sous le nom de « The United States Nickel Company ». Cette usine d'affinage recevait de Duffel des mattes riches, après un traitement au convertisseur pour l'élimination du fer, et les transformait en nickel pur ; elle fonctionna jusqu'en 1921, mettant, au début, sur le marché américain, du nickel réduit en petits cubes et en rondelles ; plus tard, elle le produisit sous forme de grenaille ou de lingots, formes auxquelles la clientèle américaine était plus habituée.

Pendant la guerre, l'usine de Duffel, en Belgique, fut occupée par les Allemands ; la Société des Hauts Fourneaux de Nouméa se vit alors obligée de pousser plus loin sur place le travail de la matte, pour livrer à sa filiale américaine un concentré ne contenant pas de fer, tel

qu'elle avait l'habitude d'en recevoir ; les Hauts Fourneaux de Nouméa installèrent donc près de leurs mines des convertisseurs basiques, pour la déferration des mattes de fer-nickel. La Société « Le Nickel », qui avait déjà fait plusieurs essais dans cette voie, installa également la déferration sur place, mais en restant fidèle aux garnissages acides.



FIG. 4. — L'Hôpital de Thio.

Malgré tous ces efforts, l'industrie de la Nouvelle-Calédonie fut, pendant la période de guerre, considérablement gênée par la difficulté des liaisons maritimes, du ravitaillement en combustible et en matériel, comme par le manque de main-d'œuvre et de personnel de maîtrise. Cette période difficile s'étendit sur les premières années d'après-guerre. La production de 141.000 tonnes de minerai en 1915, tomba, en 1922, à 45.000 tonnes. Ce fléchissement fut suivi d'un nouveau redressement de l'industrie calédonienne qui, souffrant avant tout de l'obligation où elle se trouvait de s'approvisionner en coke à l'étranger, tenta un puissant effort pour s'en affranchir. Il est intéressant de noter que les nouvelles méthodes envisagées par les deux sociétés calédoniennes suivant des voies entièrement différentes. La Société « Le Nickel », qui avait auparavant fait des études de fusion au four électrique, s'entendit avec la Société « Le Chrome », du même groupe, qui lui fournit l'énergie nécessaire pour alimenter une puissante usine hydro-électrique à Yaté, où elle installa des fours électriques. Les Hauts Fourneaux de Nouméa, réorganisée sous le nom de « Calédonia », restèrent, au contraire, fidèles aux anciens procédés, qu'ils essayèrent de rajeunir en construisant sur place une importante cokerie

qui devait être alimentée par des charbons locaux de la région de Moindou : espoirs déçus, mais en partie seulement, car si les charbonnages calédoniens furent abandonnés, la cokerie put fournir à bon compte le coke métallurgique nécessaire, grâce à l'emploi des charbons australiens.

Il n'en restait pas moins qu'en face de la concurrence canadienne, le nickel calédonien ne pouvait pas espérer reprendre sa position privilégiée d'autrefois sur le marché du monde. Au point de vue économique, il était évidemment regrettable que la production calédonienne, ne représentant plus que 10 % de l'industrie totale du nickel, fût entre les mains de deux sociétés concurrentes, possédant chacune des mines plus ou moins éloignées de leurs propres usines de traitement, mines d'ailleurs souvent enchevêtrées les unes dans les autres. Ces deux sociétés comprirent les grands avantages qu'elles retireraient, l'une et l'autre, de la mise en commun de leur actif, et créèrent, en 1931, une société exploitante unique sous le nom de « Calédonickel » ; tout en conservant chacune leur existence propre, la Société « Le Nickel » et la Société Calédonia mettaient à la disposition du nouvel organisme toutes leurs mines et usines, et fondaient en un seul leurs deux services commerciaux. La nouvelle société fermière « Calédonickel », chercha à atteindre les trois buts suivants : regrouper des mines et des usines existantes, en fermant certains centres miniers, et en concentrant ses efforts sur d'autres mieux situés ou plus riches ; réorganisation des transports, question si importante en Nouvelle-Calédonie, où les minerais sont amenés par voie de mer aux usines de traitement ; et enfin centralisation de la fusion du nickel dans une seule usine. C'est l'installation de la Société « Calédonia », à Nouméa, qui fut choisie, en même temps que l'ancienne usine de la Société « Le Nickel », à Thio, était fermée. Quant à l'usine de Yaté, elle était mise momentanément en sommeil, tout l'effort portant sur l'amélioration et l'agrandissement de l'usine thermique de Nouméa. Cette usine de Yaté, permettant d'obtenir directement un ferro-nickel en partant du minerai, constituait une précieuse réserve pour la société, au cas où cette dernière devrait envisager une rapide augmentation de sa production.

En juin 1937, les circonstances qui avaient obligé la Société Calédonia à conserver son existence légale s'étant modifiées, une nouvelle simplification a été décidée. Les Sociétés Calédonia et Calédonickel disparaissent, et toute

L'industrie française du nickel est centralisée sous la direction de la Société Le Nickel, comme au début de la mise en valeur de la Colonie.

L'histoire, même sommaire, de la Nouvelle-Calédonie resterait incomplète si l'on ne mentionnait pas d'autres exploitations, ou débuts d'exploitations, en dehors de celles des deux producteurs aujourd'hui groupés sous l'égide de la Société « Le Nickel ». Il importe en premier lieu, de rappeler deux sociétés dont « L'International Nickel » avait acquis le contrôle, afin de se créer éventuellement une réserve minière en dehors de ses propriétés canadiennes. Ces deux sociétés, la Société Minière Calédonienne, fondée en 1900 et la Nickel Corporation, possédaient un domaine de plus de 9.000 hectares en plus des 4.000 hectares qu'elles détenaient en commun. Ces mines ne furent jamais

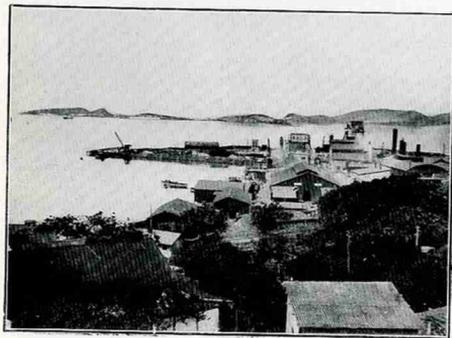


Fig. 5. — Vue générale de Doniambo.

travaillées par leur propriétaire américain : elles étaient données en location à la Société « Le Nickel » qui, pendant plusieurs années, les travailla pour son compte. Le domaine de ces deux sociétés comprenait d'importantes mines, notamment la Guérioum ; ces exploitations furent cédées en 1926 à la Société des Hauts Fourneaux de Nouméa ; elles ont fait partie de l'actif exploité par la Société « Calédonickel » et appartiennent aujourd'hui à la Société « Le Nickel ».

De leur côté, les Japonais se sont depuis longtemps, et à plusieurs reprises, intéressés aux mines de nickel de Nouvelle-Calédonie. L'importation de main-d'œuvre japonaise avant la guerre avait fait connaître le nickel calédonien

aux grandes aciéries du Japon, comme au gouvernement qui chercha à y trouver une source directe de production pour la réalisation de son programme naval. Les Japonais acquirent certaines mines et procédèrent à l'érection d'une usine d'affinage sur la Pointe Chaleix, là même où avaient eu lieu, autrefois, les premiers essais de traitement : cette nouvelle usine ne fut jamais mise en route. En 1920, il fut question d'installer au Japon même une usine d'affinage en vue de traiter les mattes qui devaient être fabriquées près des mines : les plans de la future usine japonaise furent faits par la filiale américaine des Hauts Fourneaux de Nouméa, la United States Nickel Co de New-Brunswick : l'idée fut finalement abandonnée. Un groupe de Japonais continua néanmoins à s'intéresser à une mine assez importante au voisinage de Nouméa et commença à extraire du minerai qui ne sortit jamais de l'île et resta sur le carreau de la mine. Cette dernière a été, il y a quelques années, reprise par une nouvelle Société (Société Minière et Métallurgique de l'Océanie) qui y a ajouté d'autres concessions et permis de recherches ; après être restée à peu près inactive, cette Société est finalement passée sous le contrôle de la Société « Calédonickel » puis sous celui de la nouvelle Société Le Nickel.

Si nous avons donné avec quelques détails l'histoire de la Nouvelle-Calédonie, c'est qu'on peut y trouver un bel exemple de persévérance et d'énergie tout à l'honneur de la politique colonisatrice de la France. Peu d'exploitations coloniales, en effet, se sont heurtées à tant de difficultés. Tout d'abord le très grand éloignement, la Calédonie étant aux antipodes de la France, et exigeant, surtout au temps des voiliers, des voyages pénibles et de longue durée ; il a fallu prévoir, dans un pays où n'existait aucune industrie, des approvisionnements considérables de toutes natures, pour ne pas risquer des arrêts prolongés en cas d'avarie. En second lieu, le recrutement de la main-d'œuvre, si importante dans les exploitations minières, et qui n'a pas pu trouver sa solution sur place avec la population canaque de l'île : il a fallu aller au loin pour s'assurer les concours nécessaires. Enfin, la concurrence étrangère : on aurait pu craindre que la mise en œuvre des immenses gisements du Canada ne vint mettre en péril l'exploitation des mines calédoniennes. Toutes ces difficultés ont été surmontées, et aujourd'hui l'industrie du nickel en Nouvelle-Calédonie a retrouvé toute sa jeunesse et est en pleine prospérité.

GÉOGRAPHIE ET GÉOLOGIE

L'île de la Nouvelle-Calédonie, située à plus de 1.000 milles marins, à l'est de Sydney, est orientée, dans le Pacifique, du Nord-Ouest au Sud-Est. Elle a une longueur de 250 milles environ et une largeur de 30 milles. Elle offre, sur la côte, plusieurs ports de moyenne importance dont le plus développé est celui de Nouméa, la capitale de l'île, où se trouvent, avec le palais du gouverneur, les bureaux administratifs, la Cour d'appel, plusieurs écoles et hôpitaux, etc.

En raison du climat chaud et sain de l'île, on a pu y introduire la culture des cocotiers, du café et du riz, et y développer l'élevage ; mais la richesse principale de l'île consiste dans les minerais qu'on y trouve un peu partout : le fer, le nickel, le cobalt, le chrome et même le cuivre. La question de la main-d'œuvre a toujours été un grave problème pour la mise en valeur de la Nouvelle-Calédonie : l'ancienne population canaque est en décroissance et ne dépasse guère aujourd'hui 30.000 âmes. La population comprend une vingtaine de milliers de blancs, en grande majorité d'origine française, et plusieurs milliers d'émigrants asiatiques qu'il a fallu importer, particulièrement d'Indochine, avec des contrats réguliers de travail et de rapatriement.

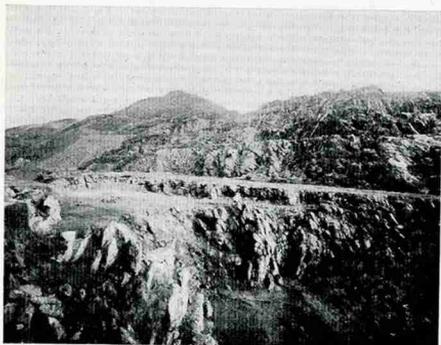


FIG. 6. — Mines en carrières à gradins de Nouvelle-Calédonie.

L'île est formée d'une série de massifs montagneux, qui forment comme son épine dorsale, sur toute sa longueur ; la côte est séparée de la haute mer par des barrières de coraux coupées de passes naturelles. Tout le sol est forte-



FIG. 7. — Mines en carrières à gradins de Nouvelle-Calédonie.

ment minéralisé et plus d'un tiers est recouvert par des péridotites, roches essentiellement magnésiennes avec oxyde de fer et silice, accompagnés de nickel, de cobalt et de chrome.

Ces roches se sont, sous l'influence des agents atmosphériques, transformées en serpentines qui ont donné naissance ensuite à des argiles rouges. Les minerais de nickel se présentent, soit sous la couleur verte, soit sous la couleur marron (minerai chocolat). Seuls les premiers ont été exploités au début, puis on s'est rendu compte de la valeur des minerais brun foncé.

L'exploitation se fait en carrières le long de gradins étagés servant en même temps de voies de roulement. Ces minerais, au début très riches en nickel avec une teneur dépassant 10 à 12 %, ont vu cette teneur baisser régulièrement et le minerai actuellement exploité titre à peine la moitié des minerais d'origine.

On peut indiquer, comme composition moyenne :

NiO	7	% (Ni = 5,40 %)
CoO	0,11	% (Co = 0,08 %)
Fe ² O ³	13,50	%
Al ² O ³	0,80	%
MgO	23,50	%
SiO ²	45,50	%
Autres constituants 10 %		

Il importe de noter que l'humidité varie considérablement : les minerais extraits, surtout ceux transportés pendant la saison des pluies, contiennent une forte proportion d'eau en plus de l'eau de constitution, pouvant dépasser 30 %.

Les centres miniers de la côte Ouest actuellement en exploitation sont ceux de Voh-Koné,

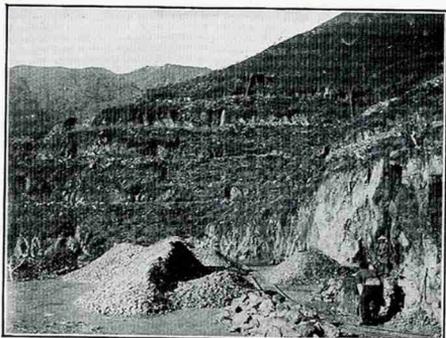


FIG. 8. — Abatage du minerai.

Bourail et Karembe : c'est là que se trouvent, entre autres, les mines riches de Gerioum. Les centres miniers de la côte Est sont, par ordre d'importance, les installations de Thio, de Poro et de N'Goye-Camboui. Tous ces centres sont équipés avec de nombreux câbles aériens permettant de descendre les minerais dans la plaine d'où ils sont conduits à la côte par un chemin de fer à voie étroite, puis transportés par chalands à l'usine de première fusion.

Il est très difficile de chiffrer les réserves de nickel de la colonie ; la manière très irrégulière dont se présentent les gisements sans formation filonienne précise, et sans l'apparence même de lois de formation bien nette, rend la prospection particulièrement difficile. Tout ce que l'on peut dire c'est qu'il reste encore de grosses réserves apparentes de minerai à bonne teneur, sans compter des quantités relativement considérables de minerai à trop bas titre pour pouvoir être affiné avec profit.

MÉTALLURGIE

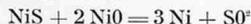
Le minerai calédonien, dont nous avons indiqué ci-dessus la teneur moyenne, ne contient aucune trace de soufre et il était naturel que les premiers affineurs songeassent à copier la métallurgie du fer : rien ne paraissait plus logique que de fondre ce minerai comme les minerais de fer, en vue de produire une fonte de nickel qu'on aurait ensuite décarburée. Nous avons indiqué que c'est ainsi que les premiers essais ont été conduits à Septèmes, en 1874, pour n'aboutir qu'à des échecs ; en raison de son affinité pour le soufre et la solubilité du carbone dans le nickel, le produit obtenu con-

tenait de fortes proportions de soufre et de graphite dont il était d'autant plus difficile de le débarrasser que l'on ne possédait pas à cette époque le moyen d'atteindre les hautes températures de fusion du nickel, et d'affiner le métal liquide.

Il a fallu recourir au procédé paradoxal consistant à incorporer au nickel une forte proportion de soufre, quitte, ensuite, à éliminer péniblement ce dernier : on a ainsi copié en partie la métallurgie du cuivre. Les opérations successives du traitement de la garniérite peuvent se résumer comme suit (on verra plus loin l'intervention fort intéressante du four électrique) :

1° Le minerai est soumis à une fusion sulfurante (seul exemple dans toutes les métallurgies) ; le soufre est fourni par du gypse qui, en présence de carbone et de silice, libère du soufre qui s'unit à tout le nickel du minerai et à une partie du fer contenu ; l'on obtient ainsi une « matte » brute ;

2° Cette matte, sulfure double de nickel et de fer, est soumise au convertisseur. Sous l'action du soufflage, le fer est transformé en FeO ; cet oxyde est ensuite scorifié par addition de silice. Mais, contrairement à ce qui se passe en métallurgie du cuivre, on ne peut pas aller plus loin dans le déferage ni obtenir directement le métal pur ; la réaction



ne se produit pas à la température du convertisseur ; c'est donc un sulfure de nickel, NiS, que l'on retire après élimination du fer ;

3° Celui-ci, par grillage à mort, est transformé en oxyde ;

4° Cet oxyde est réduit à l'état métallique par calcination réductrice ; on le mélange à



FIG. 9. — Mine de Guérioum : départ du va-et-vient.

du carbone et on chauffe à une température inférieure à celle de fusion du nickel, de façon qu'il n'absorbe ni soufre ni carbone.

En raison de la forte teneur en eau du minerai et de sa nature extrêmement friable, on a été amené à le sécher et à le briqueter avant tout traitement. Le minerai subit un premier

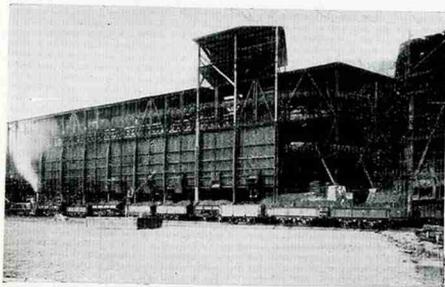


Fig. 10. — Trémie de l'extrémité du transporteur de la Ouenghi.

séchage sous de grands hangars, puis il est mélangé aux éléments du lit de fusion et pressé sous forme de briques. Le lit de fusion se compose de gypse et de chaux. La quantité de gypse à ajouter est déterminée par le pourcentage de soufre que l'on veut incorporer au minerai; si l'on cherchait uniquement à avoir le soufre nécessaire à la formation du sulfure de nickel, on arriverait inévitablement à des pertes importantes, le fer s'emparant d'une partie du soufre présent. On est amené à « faire la part du feu » et à ajouter la quantité de gypse correspondant à la sulfuration, non seulement de tout le nickel contenu, mais aussi d'un poids équivalent de fer. Quant à la chaux provenant de la décomposition du gypse, elle sert à neutraliser la silice du minerai.

Première fusion. — Les briquettes de minerai sont chargées dans un water-jacket avec du coke. La garnièrite est extrêmement réfractaire en raison de sa haute teneur en magnésie et l'on est obligé, en pratique, de prévoir 40 % de coke, et parfois davantage, soit un poids de coke égal à huit ou dix fois le nickel contenu. Il se forme pendant la fusion, d'une part, un sulfure double de nickel et de fer, et, d'autre part, une scorie siliceuse contenant, avec une forte proportion de fer, de la chaux et de la magnésie. Sulfure et scories se rassemblent dans le creuset; les scories plus légères restent à la surface et

s'écoulent continuellement par une goulotte appropriée; le sulfure double de nickel et de fer, ou « matte brute », est évacué de temps en temps par une goulotte diamétralement opposée et située plus bas. Si l'opération est bien conduite et le lit de fusion bien équilibré, la scorie ne contiendra guère que 0,4 % de Ni; il est fort important de ne pas dépasser cette teneur car, le poids de la scorie étant à peu près équivalent à celui du minerai sec introduit, une perte de 0,4 % sur le minerai à 5 % correspond déjà à une perte voisine du dixième.

Pendant de longues années, on coulait la matte fer-nickel en lingots que l'on broyait après refroidissement; on lui faisait ensuite subir une première opération de grillage, dans le but d'oxyder une partie du fer contenu; le produit à demi grillé était refondu dans un petit cubilot où, grâce à des additions de sable, une partie du fer se scorifiait, ce qui réduisait d'autant le travail de « déferration » au convertisseur. La deuxième matte ainsi enrichie était alors versée dans de petits convertisseurs à revêtement siliceux, où s'opérait le déferrage. Plus tard, on substitua à ces petites cornues acides des convertisseurs de 1 à 3 tonnes de capacité, et revêtus, soit d'un garnissage acide, soit d'un garnissage neutre en chromite, soit, plus récemment, d'un garnissage magnésien: la capacité de l'appareil et la possibilité de résister à de plus hautes températures permettent de traiter directement la matte sortant du haut fourneau, et d'en opérer le soufflage sans grillage ni scorification préalables.

Cette opération se fait sans apport extérieur de chaleur; la combustion du soufre et l'oxydation du fer dégagent assez de calories pour maintenir la matte en fusion. L'air, introduit sous pression par des tuyères, oxyde le fer; en

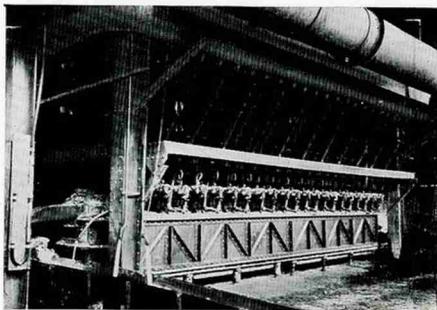


Fig. 11. — Usine de Doniamba, Water-jacket.

ajoutant au bain du sable blanc, on forme un silicate que l'on écume à plusieurs reprises au cours de l'opération. Bien entendu, les scories du convertisseur contiennent une forte proportion de nickel, soit sous forme d'un oxyde allié, soit surtout sous forme de sulfure mécaniquement entraîné pendant l'écumage ; ces scories sont repassées au water-jacket. A mesure que le fer est éliminé, la température de la masse diminue et les scories deviennent pâteuses : si l'on veut pousser très loin la déferration (aller, par exemple, au-dessous de 0,1 % de fer), il est nécessaire de rendre la scorie plus fluide : on y parvient en jetant dans le bain quelques pelletées de sulfate de soude neutre qui, permettant la formation d'un silicate multiple tout en apportant un peu de soufre supplémentaire, compense celui qui a brûlé pendant l'opération. On reconnaît à la couleur des étincelles que la bessemérisation est terminée et que tout le fer est pratiquement éliminé ; on coule alors dans des moules en sable ou en fonte. La matte ainsi obtenue contient 77 % de nickel environ et 23 % de soufre, si l'on néglige les petites traces d'éléments étrangers, tels que fer, silice, etc...

L'opération précédente se faisait autrefois, partie en Nouvelle-Calédonie pour la fusion au cubilot, partie en Europe pour la bessemérisation ; tout est concentré aujourd'hui dans l'île et c'est la matte complètement déferrée qui est expédiée en Europe pour affinage.

Les producteurs calédoniens ont songé également à effectuer l'affinage sur place, mais en raison de la rareté de la main-d'œuvre et de sa qualité inférieure, le projet a dû être abandonné : l'économie de transport qui en eût résulté aurait, d'ailleurs, été assez faible, puisque le produit transporté titre déjà près de 80 %.

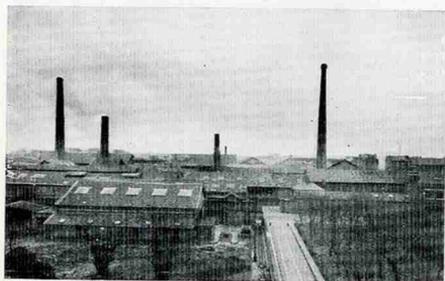


FIG. 12. — Usine d'affinage de nickel du Havre

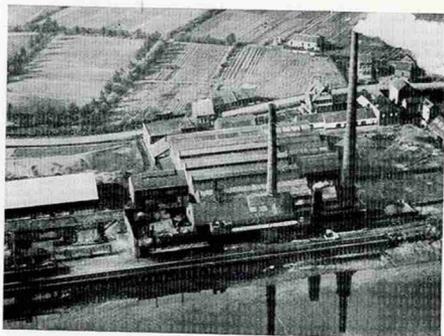


FIG. 13. — Usine d'affinage de nickel de Duffel (Belgique)

Par contre, le coke nécessaire à la fusion est produit sur place dans une batterie de fours située au voisinage immédiat de la fonderie ; d'autre part, la prospection de l'île a permis de trouver des carrières de gypse dont l'exploitation fournit un tonnage de gypse suffisant pour la préparation du lit de fusion.

Affinage. — La Société « Le Nickel » effectue son affinage au Havre et dans l'ancienne usine de la Société Caledonia à Duffel (Belgique).

Les méthodes suivies dans ces usines sont très voisines, ne donnant lieu qu'à quelques variantes peu importantes. La matte est d'abord broyée dans des moulins à boulets et chargée, soit dans des fours à soles superposées, soit dans des fours allongés à sole unique chauffés au charbon, la matte moulue étant introduite dans la partie la plus éloignée du foyer. Ces fours comprennent, d'habitude, six portes de râblage, et le parcours du four prend 24 à 36 heures. En même temps que le soufre brûle, le nickel s'oxyde et le sulfure se transforme progressivement en oxyde. Il est cependant impossible d'arriver à une oxydation complète : malgré le brassage effectué en cours d'opération, la masse se prend en nodules dont la partie centrale n'est plus en contact avec les flammes oxydantes et résiste à la désulfuration. On est obligé de retirer la matte du four alors qu'elle contient encore, en moyenne, 8 à 10 % de soufre.

Cette matte semi-grillée est à nouveau broyée dans des moulins à boulets et soumise à un deuxième grillage « à mort » à plus haute température, dans des fours analogues au premier ; le produit grillé traverse toute la longueur du

four, de la porte la plus froide à la porte la plus chaude. Après 24 heures, le grillage doit être terminé, mais avant d'extraire l'oxyde ainsi formé, on procède à une analyse pour soufre. On faisait autrefois une analyse quantitative, mais la pratique a montré qu'il était beaucoup plus sûr d'en faire l'analyse qualitative et de laisser se prolonger l'opération tant qu'on obtenait au laboratoire la moindre indication de soufre présent.

Cette analyse s'effectue assez rapidement en faisant bouillir quelques centaines de grammes de l'oxyde à essayer, d'abord avec de l'acide nitrique, puis avec de l'acide chlorhydrique additionné de chlorate de potasse; en reprenant la masse évaporée par de l'acide chlorhydrique étendu, on obtient une liqueur extrêmement concentrée dans laquelle tout le soufre présent a été transformé en sulfate, dont on décele la présence avec du chlorure de baryum. Quand la solution ne donne ni précipité, ni louche, on peut être assuré que l'oxyde ne contient pas plus de 0,005 de soufre.

Après refroidissement, l'oxyde est moulu très fin dans des moulins à meules analogues à ceux utilisés pour la farine; puis on mélange la poudre d'oxyde avec de l'eau et un liant d'amidon, farine ou dextrine, et on la presse sous forme de cubes de la dimension d'un dé à jouer, de rondelles ou, de préférence, de petits cylindres de deux centimètres de hauteur; l'épaisseur de ces « pains » d'oxyde ne doit pas être trop forte, sinon dans l'opération suivante de réduction à l'état métallique, les parties centrales contiendraient encore de l'oxyde vert incomplètement réduit.

La réduction de ces cylindres se fait dans

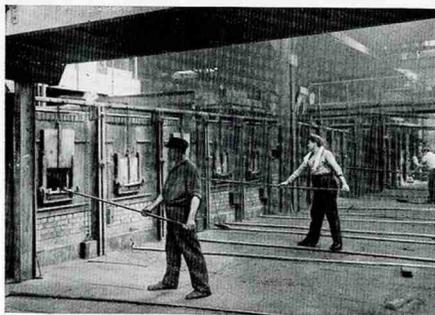


Fig. 14. — Usine du Havre. Four de grillage

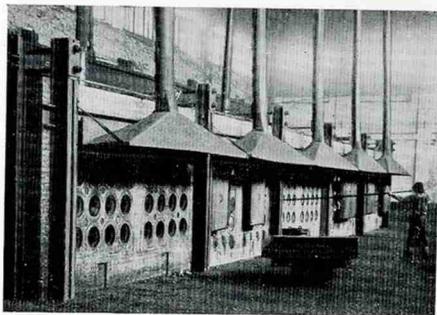


Fig. 15. — Usine du Havre. Fours de réduction

des fours à mouffles horizontaux, chauffés au gaz avec récupération de chaleur et renversement des gaz (système Siemens) : le nickel à réduire est mélangé avec du charbon de bois de bonne qualité, généralement de bois dur, et, sous l'action de la chaleur réductrice des mouffles, les cylindres d'oxyde se transforment progressivement en métal en diminuant de volume, mais en gardant leur forme première. Au bout de quatre heures environ, la réduction doit être complète; on s'en assure en martelant un échantillon sur une enclume avant de procéder au défournement.

La dernière opération consiste à procéder au polissage des cylindres ou rondelles métalliques ainsi obtenues : ce polissage s'effectue très simplement dans des tambours tournants, par simple frottement des cubes ou rondelles les uns sur les autres; le nickel prend un aspect brillant, sans qu'il soit nécessaire d'introduire aucun abrasif.

Le point délicat de cette fabrication est la difficulté d'obtenir un produit pur : toute l'opération d'affinage ayant lieu sans fusion, aucune impureté du sulfure primitif ne peut être éliminée par scorification; tout au contraire, le nickel se concentre de 77 % dans la matte bessemériée à 99 %, et les impuretés se concentrent dans la même proportion. Il est donc nécessaire de partir d'une matte aussi pure que possible et, en particulier, très basse en fer, puis d'éviter l'introduction de toutes nouvelles impuretés : d'où la nécessité de surveiller de très près l'état intérieur des fours, des outils de râblage, etc. En prenant toutes les précautions nécessaires, on arrive à un produit de haute qualité atteignant 99,5 % (nickel + cobalt) avec

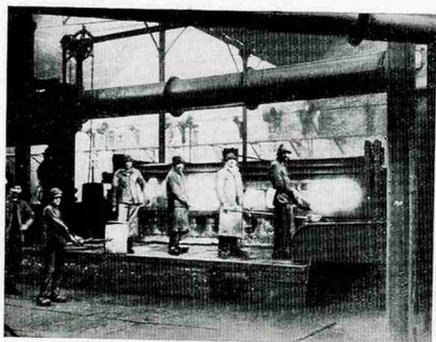


Fig. 16. — Usine de Duffel. Fours de réduction

environ 0,05 % de cuivre, 0,15 % de fer, un peu de silice et des traces de carbone; le soufre reste aux environs de 0,005 %.

Procédé électrométallurgique.— Reprenant, grâce aux possibilités du four électrique, la voie dans laquelle avaient été engagés les premiers essais de traitement de la garnièrite, la Société « Le Nickel » a construit à Yaté, près d'une centrale hydro-électrique appartenant à la Société « Le Chrome », une usine électro-métallurgique où le minerai est traité pour ferro-nickel.

La centrale de Yaté est équipée pour pouvoir produire 15.000 Kw, et le régime des eaux de la rivière permet d'obtenir d'une façon régulière, sauf pendant deux à trois mois de l'année, une puissance voisine de ce maximum. Par l'adjonction prévue d'une troisième conduite forcée et de deux turbo-alternateurs supplémentaires, la puissance maximum pourra être portée à près de 23.000 Kw. Jusqu'à présent, d'ailleurs, le nombre des fours construits n'a permis d'absorber que 8.000 Kw au maximum.

La fusion du minerai s'opère dans un four électrique allongé ayant un revêtement neutre (chromite) et muni d'une voûte en silice traversée par des électrodes de faible section. Deux types de fours ont été essayés, différant par quelques détails de construction, mais surtout par la puissance absorbée qui, dans l'un est de 1.000 Kw et dans l'autre de 2.000 Kw. La tension d'arc employée dans les deux cas est de 150 à 180 volts, suivant la composition des minerais fondus.

Le minerai tout venant est mélangé à 2 à 3 % de coke ou de charbon de bois et quelque-

fois à un certain pourcentage de calcaire, pour abaisser le point de fusion de la scorie. Il est chargé uniformément sur toute la longueur du four, où il se réduit et fond : il se forme sur la sole, par différence de densité, deux couches (la plus dense constituée par le ferro-nickel et la moins dense par la scorie).

Sur une face du four sont percés, à des niveaux différents, deux trous de coulée (l'un supérieur pour la scorie, l'autre inférieur pour le métal). Scorie et métal sont coulés d'une façon discontinue, ce qui permet d'améliorer sensiblement la décantation du ferro-nickel dans le bain. On obtient, d'une part, un ferro-nickel titrant, suivant la composition initiale du minerai, de 55 à 75 % de nickel, environ 0,3 à 0,4 % de soufre, 0,07 % de carbone, le fer formant à peu près le complément de 100 %. La scorie ne contient que 0,3 à 0,4 % de nickel, comme dans la fusion au water-jacket.

Malgré la facile solubilité du carbone dans le nickel liquide, la teneur en carbone a été réduite à une très faible proportion par le dosage exact du réducteur nécessaire, par l'emploi d'électrodes de faible section, et surtout par l'utilisation d'une tension d'arc élevée qui empêche les électrodes de rester en contact, non seulement avec le ferro-nickel, mais encore avec le bain de scorie. En revanche, on n'est pas encore complètement arrivé à empêcher une certaine incorporation de soufre provenant des électrodes et du réducteur : les études se poursuivent dans ce sens. Pour l'instant, on dispose de deux méthodes pour transformer le ferro-nickel en nickel pur.

La première consiste à le resulfurer au Bessemer pour en faire une matie qui sera affinée

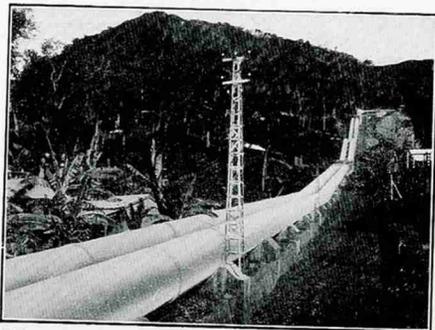


Fig. 17. — Vue des conduites d'eau alimentant l'usine électro-métallurgique de Yaté.

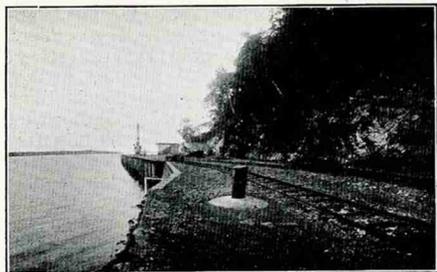


FIG. 18. — Warf et voie ferrée pour l'approvisionnement du minerai à l'usine de Yaté.

par le procédé ordinaire; cette sulfuration se fait en ajoutant le ferro-nickel à la matte brute provenant de la fusion des minerais au water-jacket, au moment où elle est versée dans le convertisseur pour être déferrée : l'oxydation du sulfure de fer de cette matte brute libère une importante quantité de soufre qui fournit l'élément sulfurant nécessaire à la sulfuration du ferro-nickel.

La deuxième consiste à déferrer partiellement le ferro-nickel au four électrique et à le couler en anodes pour le purifier électrolytiquement.

Affinage électrolytique. — Bien que le procédé de purification électrolytique ne soit pas encore appliqué industriellement, il a été mis au point, dans un atelier d'essai, au cours d'une fabrication continue ayant porté sur un tonnage important.

Le ferro-nickel subit un premier enrichissement par scorification d'une partie du fer dans un four électrique, où il est déversé aussitôt après sa coulée du four de fusion du minerai. Le fer est oxydé par insufflation d'air et scorifié par addition de silice. Le ferro-nickel enrichi à 92-95 % de nickel est coulé en anodes, qui sont soumises à l'électrolyse dans une solution chaude, neutre et concentrée de chlorure de nickel, les compartiments cathodiques étant, dans chaque cuve, séparés des compartiments anodiques par un diaphragme.

Une circulation continue de l'électrolyte permet d'alimenter constamment le compartiment cathodique en chlorure de nickel pur, le chlorure impur provenant des compartiments anodiques se déverse dans une cuve de purification où le fer et le cuivre sont précipités. Le produit ainsi purifié retourne aux compartiments cathodiques.

Le nickel obtenu par ce procédé (sous forme de baguettes que l'on peut tronçonner après recuit) possède un degré de pureté remarquable, puisqu'il contient 99,92 à 99,97 % de métal pur.

LE NICKEL DANS LES AUTRES PAYS D'EUROPE

SCANDINAVIE

Comme il a déjà été dit, c'est en Scandinavie, et plus spécialement en Suède, que le nickel a été produit pour la première fois sur une base industrielle. Avant 1870, le minerai extrait de la mine de Slattberg et fondu à Sagmyra produisait une matte de nickel et de cuivre, avec une assez forte proportion de fer; on traitait à l'acide sulfurique et on obtenait ainsi, d'une part, du sulfate de fer soluble et, d'autre part, un résidu insoluble contenant les sulfures de cuivre et de nickel, qui était envoyé par mer en Allemagne pour affinage, avec d'autres concentrés de nickel d'origine suédoise. Après 1870, le traitement à l'acide sulfurique fit place à un procédé de chloruration consistant à griller le minerai avec du chlorure de sodium.

Cependant, comme on s'était rendu compte que le minerai suédois était trop pauvre pour permettre une production commerciale du nickel, on appliqua le même procédé à des minerais plus riches, en Norvège, à Hommelvik, en 1889. Lorsque la concurrence de la Nouvelle-Calédonie et du Canada pesa lourdement sur les prix du nickel métallique, l'usine norvégienne fut fermée à son tour, en 1891.

Les producteurs de nickel scandinaves restèrent dans une inactivité presque complète jusqu'en 1909. A cette époque, l'ingénieur métallurgiste suédois Victor Hybinette, qui avait étudié, pendant plusieurs années, le traitement des minerais canadiens, mit au point aux Etats-Unis, à Fredericktown (Missouri), un procédé entièrement nouveau pour séparer par électrolyse le nickel du cuivre dans les minerais lui-

furés. Rappelé en Norvège, il dirigea la construction d'une nouvelle usine à Kristianssands, en 1909.

La nouvelle société, sous le nom de « Nikkelraffineringsverk » employa le « procédé Hyblinette » pour l'affinage de minerais locaux provenant des mines de Senjen, Flaas, Evje et Ringerike : des fours de première fusion furent construits à Evje, Ringerike et Stavenjer. La société importa aussi de temps en temps des minerais plus riches de Grèce, et, en plus faible quantité de Tasmanie et de Nouvelle-Calédonie, pour les mélanger aux minerais du pays. La production qui atteignait 600 à 800 tonnes au début de la grande guerre, s'accrut pendant les deux premières années; c'est alors qu'un incendie détruisit l'usine d'affinage. Celle-ci fut reconstruite, mais son tonnage demeura limité jusqu'au jour où l'usine de Kristianssands fut achetée par la Mine Canadienne de Falconbridge. Les directeurs de Falconbridge, après des études préparatoires de plusieurs années, avaient monté une usine de fusion près de leur mine au Canada, mais estimèrent qu'il serait beaucoup plus avantageux, au lieu de construire une usine spéciale d'affinage, d'utiliser, en la modifiant, la raffinerie norvégienne. Aux termes de cet accord l'usine de Kristianssands réservait les 2/3 de sa capacité de production au traitement des minerais canadiens et l'autre tiers aux minerais locaux. Aujourd'hui, le tonnage de nickel affiné est de l'ordre de 6.000 tonnes par an.

Géologie. — Le minerai de la mine de Falconbridge est un sulfure semblable à celui de l'International Nickel Co., dont il sera parlé en détail plus loin : nous nous contenterons de dire ici quelques mots des minerais norvégiens. Ce sont également des sulfures complexes de nickel, de cuivre et de fer, mais ils présentent avec les minerais canadiens une double différence : les teneurs en nickel et en cuivre, ainsi qu'en métaux précieux, sont nettement plus faibles que celles des minerais de Sudbury, et la quantité de soufre, de son côté, est très sensiblement inférieure. A l'origine, la chalcopyrite et la pyrrhotine de nickel traitées à Kristianssands ne contenaient guère plus de 0,5 à 0,8 % de nickel et 0,6 à 1,0 % de cuivre, avec des traces de cobalt. A l'heure actuelle, les minerais norvégiens amenés à l'usine de première fusion sont légèrement plus riches. Ceux des mines de Ringerike proviennent d'imprégnations isolées de schistes amphiboliques ou de mica-schistes. Les lentilles principales exploitées à

ciel ouvert se présentent sur une longueur de 40 à 70 mètres avec une profondeur de 40 mètres et une largeur qui atteint 20 mètres. La mine la plus riche est celle de Flaas, dont le minerai donne en moyenne 2 % de nickel. Dans l'ensemble, le minerai local titre 1,5 % de nickel et 1 % de cuivre. Contrairement aux minerais de Sudbury, si riches en soufre qu'ils nécessitaient un grillage en tas prolongé avant la mise au point du nouveau procédé employé à Copper Cliff, les minerais norvégiens ne contiennent pas plus de 10 % de soufre; le stérile est fortement basique. Dans ces conditions, un premier grillage n'est pas nécessaire, et le minerai peut être chargé directement dans les tuyaux-fourneaux, avec addition de sable pour la scorification des éléments basiques.

Traitement. — La fusion du minerai norvégien est conduite de la même manière qu'au Canada (1). Cependant, pendant de nombreuses années, elle s'opérait dans des cubilots rectangulaires sans water-jacket; les murs étaient refroidis par circulation d'eau dans des tuyaux encastrés dans la maçonnerie. Depuis la guerre, des water-jackets avec injection d'air sous pression ont été installés. Autrefois, le fer était éliminé après oxydation et scorification dans des fours à feu ouvert semblables à des forges de forgeron. Maintenant, le fer est soufflé dans des convertisseurs horizontaux à garnissage magnésien du type Pierce-Smith.

La matte de nickel-cuivre ainsi obtenue, comme d'ailleurs celle provenant de Falconbridge et dont il sera parlé plus loin, est affinée à Kristianssands : une anode de nickel-cuivre impur est soumise à l'électrolyse, l'électrolyte étant constitué par du sulfate. La cathode, sur laquelle le nickel se dépose, est entourée d'un cadre de grosse toile dans lequel une solution de sulfate de nickel pur est versée continuellement. La résistance de la toile à l'écoulement de cette solution crée une légère pression hydrostatique, qui empêche l'électrolyte extérieur contaminé de venir en contact avec la cathode. Celle-ci baigne, par conséquent, uniquement dans la solution de nickel pur, qui seul peut se déposer sur la cathode. L'électrolyte qui se trouve en dehors du compartiment de la cathode dissout peu à peu l'anode impure et devient plus riche en cuivre. Au sortir du bac, il est régénéré et transformé en sulfate de nickel pur, pour être ensuite repompé dans le compartiment cathodique : l'ensemble de l'opération

(1) Voir page 33.

forme donc un cycle complet. La régénération de l'électrolyte est produite par « cémentation » ; mais au lieu de nickel pur, on prend de la grenaille cuivre-nickel ; le nickel déplace le cuivre de la solution qui se précipite. Cette grenaille est obtenue par réduction d'un mélange d'oxydes cuivre nickel provenant de la matte. Quand elle est trop riche en cuivre pour réagir en présence de la solution contaminée et qu'elle ne précipite plus de cuivre dans la liqueur, elle est remplacée. La grenaille cuivreuse est alors grillée dans des fours à étages multiples, où elle est transformée en oxyde, qui est ensuite lavé avec une solution sulfurique ; on obtient ainsi une liqueur (A) particulièrement riche en cuivre, alors que le résidu (B) contient pratiquement tout le nickel.

La solution (A) est pompée dans des cuves où elle est électrolysée au moyen d'anodes insolubles en plomb, pour donner des cathodes de cuivre. La solution, devenue acide, est renvoyée dans les cuves de lessivage. Bien entendu, au cours du cycle de ces opérations, la solution (A) devient progressivement plus riche en nickel, car une faible proportion d'oxyde de nickel se dissout, pendant l'opération de lessivage, en même temps que l'oxyde de cuivre. La solution est systématiquement purifiée par le retrait, à intervalles réguliers, d'une proportion définie dont on extrait tout le cuivre par électrolyse, et le sulfate de nickel par concentration et cristallisation sous forme de $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: la solution-mère, riche en acide libre, retourne à la cuve de lessivage pour être incorporée à la solution (A).

Les résidus (B), qui contiennent une forte proportion du nickel provenant de l'attaque de la matte grillée, ainsi qu'une faible quantité de cuivre, sont mélangés à du charbon de bois dans un four électrique pour être fondus, réduits et coulés en anodes, et ces dernières sont employées comme éléments de l'électrolyse décrite plus haut. Les schlamms, qui contiennent une certaine proportion de métaux précieux, sont traités dans une autre raffinerie pour l'argent, l'or et les métaux du groupe du platine.

GRÈCE

Alors que du minerai de fer chromé avait déjà été découvert en Grèce, près de Lokris, en 1901, ce n'est que quelques années avant la guerre qu'on a trouvé, sous une épaisse couche de ce minerai, des dépôts nickelifères. Ce gisement de nickel est à bien des égards sem-

blable aux minerais silicatés de Nouvelle-Calédonie, sous les réserves suivantes. Sa teneur nettement inférieure en magnésium le rend moins réfractaire et son degré d'humidité est en général beaucoup moindre ; par contre, il contient un pourcentage faible, mais cependant appréciable d'arsenic, dont il n'y a pas trace dans les minerais calédoniens.

La principale mine, Lokris, située à quelques milles du port de Laryma, est d'un accès plutôt difficile. Le minerai est transporté par wagonnets sur voie étroite, qui ne supportent pas de lourdes charges. Ce minerai nickelifère se trouve situé, ainsi qu'il a été dit, en-dessous d'une couche de minerai de fer chromé, d'une épaisseur de plusieurs pieds, que l'on doit extraire avant d'atteindre le nickel. Par endroits, des puits ont été creusés et des galeries ouvertes dans le minerai, exigeant un boisage important. Cependant, il ne semble pas qu'aucun travail de traçage net et méthodique ait été fait, ni qu'on puisse assurer l'existence d'un tonnage de minerai prouvé de quelque importance. On a exporté de 20.000 à 30.000 tonnes de minerai par an, à la teneur moyenne de 3 à 4 % Ni, avec 10 % Co, 0,50 % Cr et 0,04 % As ; la concentration du nickel dans certaines poches est cependant plus élevée. Le filon est plutôt étroit, n'excédant pas 2 pieds, mais semble se prolonger à une certaine profondeur, jusqu'à 750 pieds, ainsi que certains sondages l'ont établi.

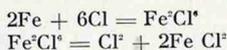
Tout ce minerai a, pendant plusieurs années, été traité en Allemagne. Il y a quelques années, une grande partie était encore fondue et affinée à Papenburg, près d'Emden (Westphalie). Depuis la fermeture de cette usine, la presque totalité de l'extraction de la mine grecque fut réservée par contrat à l'usine d'affinage de Frankenstein, en Silésie, où, ainsi qu'on le verra plus loin, on traitait depuis plusieurs années un minerai local. Aujourd'hui, les expéditions de minerai grec ont cessé et seul du minerai silésien est affiné à l'usine.

Le traitement du minerai de Lokris suivait dans ses grandes lignes, les méthodes employées pour la garniélite. Cependant, l'usine de Papenburg apportait quelques curieuses variantes à l'opération de première fusion, et, pour l'affinage, employait un procédé entièrement différent, dit « procédé Salversberg » : il n'est pas sans intérêt de rappeler, dans ses grandes lignes, la méthode suivie.

On a indiqué au cours du chapitre consacré au traitement des minerais calédoniens, qu'avant l'adoption des grands convertisseurs basi-

ques, le déferrage s'accomplissait en deux étapes : d'abord un grillage à basse température pour oxyder le fer, suivi d'une fusion dans un water-jacket de dimensions réduites, avec addition de silice pour scorifier l'oxyde de fer; ensuite bessemerisation du fer restant par soufflage dans de petits convertisseurs acides. A Papenburg, le grillage préliminaire était remplacé par une opération de frittage agglomérant. La matte brute, au sortir du haut fourneau, était coulée dans de grands bassins et mélangée à du sable pour rendre la matière tout à fait poreuse. La surface encore au rouge était recouverte de charbon qui s'allumait immédiatement. Le fond du bassin était relié à un ventilateur aspirant au moyen d'un tuyau en fonte; l'air aspiré au travers de la matte chaude et poreuse oxydait une partie du fer, tout en provoquant l'agglomération de la masse. Le mélange était alors rapidement fondu dans un petit water-jacket; le silicate de fer provenant de la réaction du sable sur l'oxyde de fer, était scorifié, et la matte, après ce déferrage partiel, était coulée dans des convertisseurs verticaux acides où s'achevait la déferration, selon le processus habituel.

L'affinage se faisait par électrolyse, l'électrolyte étant constitué par une solution chlorhydrique, obtenue, non par addition d'acide chlorhydrique, mais par l'action sur les métaux présents du chlore gazeux dégagé au cours de l'électrolyse même. Cet apport de chlore était si bien contrôlé que seuls les chlorures au minimum subsistaient en fin d'opération. Le fer était chloruré en premier et servait de véhicule au chlore :



En même temps, cuivre et cobalt étaient également transformés en chlorures. La liqueur était refoulée par une pompe en poterie dont les éléments étaient assemblés par des joints en caoutchouc. Grâce à cette circulation active, la masse était amenée en contact intime avec le chlore; la plus grande partie du soufre contenu était libérée et restait en suspension, à l'exception d'une certaine proportion qui s'oxydait pour former de l'acide sulfurique précipité ensuite sous forme de sulfate de calcium.

La solution chlorurée était alors pompée dans une grande cuve où l'air, soufflé sous pression, décomposait le chlorure de fer en peroxyde et en chlore libre :



Le chlore utilisé dans l'opération était recueilli et réemployé dans cette première phase.

La solution de chlorure de nickel, dès lors débarrassée de son fer, était traitée à l'hydrogène sulfuré produit dans une autre partie de l'usine par réaction de l'acide sulfurique sur du sulfure de fer : le cuivre était précipité sous forme de sulfure de cuivre noir. Dans certains cas, particulièrement lorsqu'on se trouvait en présence d'une quantité trop forte de cuivre, il était préférable de séparer le cuivre par électrolyse, en acidifiant légèrement la liqueur pour éviter le dépôt simultané de nickel. A l'origine, quand on se trouvait en présence de minerais riches en cobalt, on soumettait la solution chlorurée à un traitement à l'hypochlorite qui précipitait presque tout le cobalt.

La liqueur était dès lors prête pour l'électrolyse : l'âme des cathodes se composait d'une feuille de nickel pur, et les anodes étaient en graphite avec un montage sur une traverse en porcelaine, en forme de U renversé, permettant de capter le chlore dégagé. L'opération durait six semaines. Les cathodes produites par ce procédé étaient de bonne qualité avec une teneur en nickel pouvant atteindre 99,50 %. On retirait des boues, provenant de la précipitation du fer, les métaux précieux qui pouvaient être contenus dans les minerais d'origine.

ALLEMAGNE

L'Allemagne affine depuis de nombreuses années des minerais locaux, mais en faible quantité. A une époque remontant à une cinquantaine d'années, on trouvait sur le marché de petites quantités de nickel provenant du traitement des minerais arsénifères et cobaltifères de Bohême et de Saxe, affinés à Schneeberg.

En Silésie, on fond et affine plus ou moins régulièrement, mais depuis fort longtemps, des minerais silicatés provenant de la région. Ceux-ci, en raison de leur faible teneur en nickel, furent autrefois mélangés, particulièrement à l'usine d'affinage de Frankenstein, à des minerais plus riches de provenance étrangère. A l'heure actuelle, l'usine de Frankenstein qui, pendant plusieurs années, a traité le minerai grec de Lokris est revenue au minerai local silésien. On y emploie le procédé « Krupp-Renn » ; le minerai qui titre environ 1 % est réduit dans un four cylindrique tournant, chauffé au charbon pulvérisé. L'usine de Frankenstein fait partie du groupe Krupp, d'Essen.

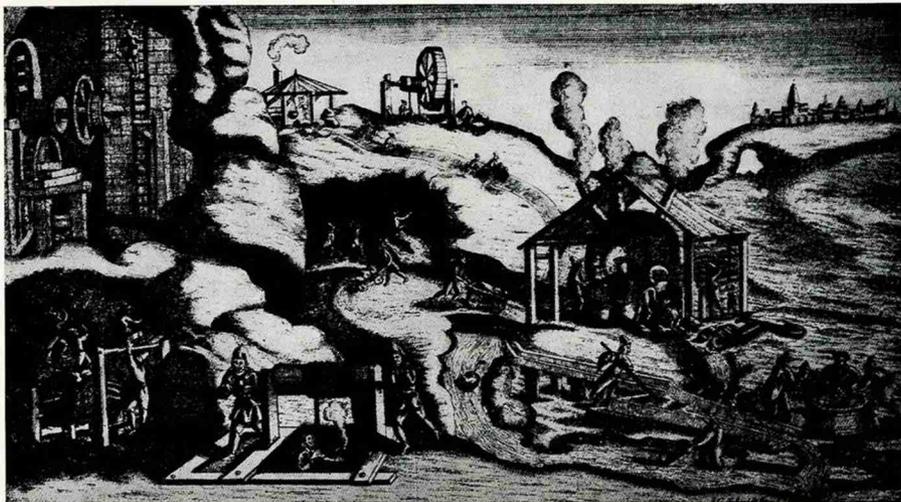


Fig. 19. - Exploitation minière en Allemagne au XVIII^e siècle (de Bruckmann's Magnalia Dei in Locis Subterraneis, 1730).

Tout récemment, des propriétaires de gisements de nickel de Wittenschwand, dans la Forêt-Noire, ont essayé d'y intéresser un groupe de financiers, et on a beaucoup parlé de cette nouvelle source d'approvisionnement. Cependant, il semble que l'on s'en soit exagéré l'importance. Ce minerai est un sulfure contenant un faible pourcentage de nickel, avec du cuivre et de l'arsenic, la teneur en nickel étant inférieure à 1 %. Les gisements de la Forêt-Noire sont connus depuis un siècle; ils étaient déjà exploités antérieurement à la découverte des mines de Nouvelle-Calédonie; avant la guerre, on tenta à diverses reprises de leur rendre leur activité, mais ces essais furent rapidement abandonnés. Une faible quantité de ce minerai fut extraite pendant la dernière guerre, mais malgré le pressant besoin de nickel de l'armée allemande, les mines furent bientôt fermées, ce qui ne semble pas indiquer qu'elles soient promises à un bien grand avenir.

Affinage des minerais étrangers. — Avant la création des grandes entreprises qui, de nos jours, alimentent le marché du nickel, c'était l'Allemagne qui affinait les divers minerais extraits des différents pays d'Europe. Nous avons expliqué que les premiers minerais suédois et norvégiens furent traités dans les usines allemandes, en particulier à Schneeberg, où l'on

fondait déjà en 1838 des minerais d'origine norvégienne. Nous avons aussi parlé de l'usine d'affinage de Papenburg où l'on travailla les minerais grecs pendant de nombreuses années jusqu'au moment où ils furent envoyés à Frankenstein.

Des quantités assez considérables de minerais calédoniens furent également traitées en Allemagne, surtout par Basse et Selve à Altena (Vereinigte Deutsche Metallwerke), et par l'usine de Schwerte, qui, à cette époque, appartenait à Fleitmann, et qui maintenant porte le nom de Vereinigte Deutsche Nickelwerke. Ainsi que nous l'avons déjà dit, le procédé d'affinage des minerais genre garnièrite, par grillage de la matte et réduction sans fusion de l'oxyde de métal, était dû à Fleitmann et prit son nom. Ces deux usines ne traitent plus les minerais de nickel, mais la Vereinigte Deutsche Metallwerke affine encore des oxydes de nickel, d'origine canadienne.

L'usine d'Iserlohn appartenant à la Société « Le Nickel », a produit autrefois un certain tonnage de nickel. Pendant longtemps, le minerai brut expédié de Nouvelle-Calédonie était fondu et affiné à Iserlohn selon la méthode appliquée par la Société « Le Nickel » dans ses autres usines d'affinage. Cette usine qui, ces dernières années, ne faisait plus que des sels

de nickel est aujourd'hui entièrement désaffectée.

Affinage des sous-produits et des déchets. — En dehors des usines d'affinage dont nous venons de parler, il existe des petits producteurs de nickel à qui des sous-produits d'origines diverses servent de matière première. Il faut citer en premier lieu deux usines en Saxe, les Staatlichesächsische Hütten und Blaufarbenwerke à Oberschlema en Saxe, et les Sächsische Blaufarbenwerkereien à Aue, qui sont plus ou moins subventionnées par le Gouvernement saxon, surtout l'usine de Aue, dont la moitié du capital actions appartient au Gouvernement. En dehors d'une petite quantité de minerais locaux contenant du nickel ou du cobalt, ces deux usines traitent des speiss concentrés ou encore des sous-produits provenant de l'affinage, par la Burma Corporation, de minerais de cuivre. La production totale des usines en Saxe passe pour être environ de 1.000 tonnes par an.

La Norddeutsche Affinerie, à Hambourg, a récemment ouvert une nouvelle usine pour le traitement de speiss provenant de l'affinage de ses cuivres. On estime que sa production actuelle est d'environ 300 à 400 tonnes par an.

De faibles tonnages de nickel, d'un degré de pureté variable, sont produits par des entreprises qui utilisent comme matière première toutes sortes de matériaux contenant du nickel, en particulier des déchets de nickel et de Monel, des résidus d'hydrogénation des huiles, etc... On cite le groupe Mittenberg qui serait plus ou moins sous le contrôle de la Berndorfer Metallwarenfabrik, à Berndorf (Autriche) et la Nica Nickelindustrie, à Frankfurt, qui affine également des matériaux nickelifères en Hollande.

Il est intéressant de signaler que la puissante affaire allemande, la I.G. Farbenindustrie A.G. a annoncé, il y a quelque temps, la mise au point d'un nouveau procédé basé sur la production de nickel carbonyle. Par décomposition, on obtient du nickel pur en poussière, entièrement débarrassé de toutes les impuretés telles que le cuivre, l'arsenic, le soufre, la silice, ou autres corps nuisibles : le nickel contient seulement une très faible proportion d'oxygène et de carbone (moins de 0,05 %).

Par frittage suivi de compression, on a un produit compact, d'une densité de 6,5 à 7,5, facile à travailler et permettant d'obtenir directement des tôles et profilés divers en nickel pur. En mélangeant cette poudre de nickel à des

poudres d'autres métaux, on produirait de la même façon des alliages nouveaux, impossibles à obtenir par fusion.

FINLANDE

Dans une partie de la Finlande qui n'a été cédée à cette dernière qu'en 1920, on a découvert, peu de temps après l'annexion, dans le district de Petsamo, d'importants gisements de nickel. Ce district, d'une superficie de 10.500 kilomètres carrés est à l'extrême nord de la Finlande : il possède un port en eau profonde, Liinahamari qui, bien que situé sur l'Océan Arctique, est ouvert à la navigation toute l'année en raison de l'influence du Gulf Stream.

C'est à la Commission Géologique Finlandaise qu'est due la découverte de minerais de nickel dans ce pays. Après d'importants travaux de prospection, le Gouvernement finlandais fit pratiquer quelques sondages. Au cours des années 1931 et 1932 les résultats de ces travaux furent très satisfaisants et un intéressant gisement, vaste et d'un seul tenant, fut découvert à Kaulatunuri. Bien qu'il soit encore prématuré de donner des indications sur les teneurs respectives en nickel et en cuivre des minerais découverts, les sondages pratiqués permettent cependant d'affirmer que celles-ci atteignent les teneurs moyennes des minerais canadiens.

Une entente est intervenue entre la Mond Nickel C^o et le Gouvernement finlandais donnant à la Mond Nickel le monopole de la concession, à charge par elle d'effectuer chaque année des travaux de prospection s'élevant à une somme déterminée, et de payer ultérieurement des royalties sur le nickel vendu. La Mond Nickel C^o a déjà consacré d'importantes sommes à l'étude de ce nouveau domaine, et elle compte, dans un délai relativement court, entrer dans la période d'exploitation.

L'étude du minerai montre qu'il serait difficile à concentrer en raison de l'état d'extrême subdivision sous lequel se présentent les fines particules métalliques ; d'autre part, la teneur en magnésium est très élevée. Le procédé le plus économique pour l'extraction du nickel et du cuivre sera, ainsi que l'ont montré les expériences, de procéder directement à leur fusion dans des fours électriques. La houille blanche, abondante dans ce pays, fait en effet préférer les fours électriques aux hauts-fournaux, les difficultés de transport augmentant considérablement les prix du charbon et du calcaire. En outre, les fours électriques permettent d'obte-

nir de plus hautes températures et, par conséquent, une scorie plus liquide.

Le gisement sera exploité au moyen d'un tunnel de plus de 3 kilomètres, percé au flanc de la montagne, et par un puits vertical de 200 mètres qui rejoindra le tunnel près du gisement.

Le gisement se trouve à 500 km. au nord du cercle Arctique, c'est-à-dire dans une région au climat difficile et rigoureux. On emploiera une main-d'œuvre en grande majorité finlandaise, sous la direction de quelques ingénieurs anglais. Un vaste programme, relatif à la construction de maisons d'habitation, d'ateliers, etc., est à l'étude.

U. R. S. S.

On sait que l'Union Soviétique est aujourd'hui un des grands consommateurs de nickel : aussi ce pays, jusqu'à présent gros importateur, a-t-il cherché à créer une production nationale. Sous la direction de l'Office Soviétique « Zvetmetsoleto », des travaux importants de prospection ont été faits dans diverses régions ; les minerais découverts peuvent se rattacher à deux types différents : d'une part, les minerais de l'Oural, d'une composition semblable à celle de la garnièrite, avec une teneur élevée en fer et en magnésie, ce qui en rend le traitement coûteux, et, d'autre part, les minerais magnétiques riches en soufre, de la presqu'île de Kola et du nord de la Sibérie.

Les seules mines exploitées jusqu'à présent en U.R.S.S. sont celles de l'Oural ; les minerais découverts dans les environs de Sverdlovsk, l'ancienne Ekaterinbourg, ont une teneur moyenne de 1 % ; leur affinage s'effectue à Oufalé, selon les méthodes généralement employées pour la garnièrite : la matte est produite dans des water-jackets, puis elle est fondue, grillée et réduite. La production commencée en 1934, s'est élevée à près de 1.000 tonnes en 1935 et à 2.000 tonnes en 1936.

De vastes gisements, dont le minerai est de composition analogue, quoique plus pauvre, ont été découverts à Khalilovo. L'affinage s'effectuera dans une grande usine en voie d'achèvement à Orsk, qui comprendra douze des plus grands water-jackets qui aient jamais été construits : les ingénieurs soviétiques semblent fonder les plus grands espoirs sur cette source d'approvisionnement : on parle même d'une production future de 10.000 tonnes. Il paraît cependant peu probable que ces prévisions

soient réalisées, tout au moins dans un proche avenir.

Il est également question de l'existence de gisements nickelifères de la presqu'île de Kola, près de la frontière finlandaise. D'autres minéraux sont actuellement en cours d'exploitation dans cette région, particulièrement du phosphate. Le minerai de nickel serait un sulfure, et aurait une composition très différente des minerais de l'Oural. Il est encore impossible, à l'heure actuelle, de se rendre compte de l'importance de ces gisements.

Le gouvernement de l'U.R.S.S., tant dans le but de limiter les importations que dans le désir de s'assurer dans tous les cas une matière première nécessaire à son industrie, semble décidé à faire tous les efforts nécessaires pour produire sur son territoire même les quantités de nickel indispensables. Cependant, les gisements sont en général pauvres et d'un accès difficile : leur exploitation sur une base commerciale ne serait sans doute pas bénéficiaire. Toutefois, une main-d'œuvre abondante et à bon marché, l'absence d'impôts et de capital à rémunérer, et en général les conditions toutes particulières dans lesquelles fonctionne l'économie en U.R.S.S. sont des considérations qui peuvent changer les données du problème.

ITALIE

En 1859 se constituait, en Italie, la Société « The Valbarbina Italian Nickel Mining Co » ayant pour objet l'exploitation des gisements de minerais de nickel de Sella Bassa, commune de Scopello (Novare-Piemont) consistant en des pyrrhotines ayant une teneur en nickel de 1 à 4 % et 0,50 à 1,50 % de cobalt.

L'Italie se classe parmi les toutes premières nations ayant produit des mattes cupro-nickelifères qui provenaient presque exclusivement de la zone dioritique des vallées de La Sésia, Strona et Orsola (Piémont).

Des sociétés se formèrent en 1872 et 1879 pour l'exploitation d'autres gisements toujours dans la même zone. Le traitement, après fusion du minerai pour obtenir une matte riche en nickel se faisait en général par voie humide. On séparait ainsi par un procédé assez coûteux le nickel du cuivre et des traces d'or et d'argent contenues.

La découverte des gisements de la Nouvelle-Calédonie, ainsi que de Sudbury, au Canada, déterminant une « crise du nickel », enleva tout l'intérêt à l'exploitation italienne. Ces mines

restées inactives jusqu'à ce jour paraissent présenter actuellement un intérêt nouveau. Les efforts de l'Italie en vue d'arriver à une exploitation intégrale des ressources de la péninsule l'ont amenée à intensifier la recherche de tous les gisements minéraux utilisables; son premier souci a été, naturellement, de reprendre, avec des installations modernes, les mines abandonnées.

Une société, créée avec le concours de l'Etat, a commencé, en 1936, l'étude des ressources minières de l'Italie décidant, en ce qui concerne le nickel, la reprise de l'exploitation des mines de Scopello et la prospection systématique de cette zone ainsi que des gisements d'Arburese (Sardaigne)..

Les gisements particulièrement étudiés et faisant partie de la formation dioritique des vallées au nord de Novare comprennent les concessions suivantes :

- Sella Bassa, commune de Scopello;
- Laghetto e Cevia, commune de Sablia e Cravagliana ;
- Alpe della Valle, commune de Cervarolo;
- Freva, commune de Cuzzago-Mergozzo ;
- Bessinette, commune de Usseglio;

- Cruino, commune de Bruzolo;
- Valmaggie, commune de Valmaggie;
- La Gula, commune de Cravagliane.

Pour donner une idée de l'importance de ces concessions, l'expertise de M. Roccati, professeur à l'Ecole Polytechnique de Turin, sur le gisement dit de « La Gula », prévoit une masse de minerai utile (sulfure) d'environ 450.000 tonnes ayant une teneur moyenne de 1 à 4 % de nickel.

Les filons contenant des minerais de nickel et cobalt se trouvant dans la région granitique de l'Arburese (Sardaigne) ont été étudiés seulement en surface et il n'est pas possible actuellement de faire aucune prévision sérieuse sur leur exploitation industrielle.

Les travaux entrepris pour une nouvelle exploitation de la concession Sella Bassa di Scopello sont poussés très activement, et on sera en mesure en 1938-1939 de rendre mieux compte des possibilités d'exploitation.

Dans l'ensemble, la zone piémontaise présente une minéralisation assez semblable à celle du Canada; pourtant, la faible teneur en nickel de ces gisements paraît les rendre d'une exploitation industrielle assez difficile.

LE NICKEL CANADIEN

Il semble bien qu'une étude relative à la production du nickel en Europe ne puisse être complète s'il n'est pas fait mention d'un pays dont le nom se retrouve à toutes les pages de cette histoire : l'Angleterre. Cependant, l'histoire du nickel en Grande-Bretagne et celle des minerais canadiens ont été intimement liées à partir de la fin du XIX^e siècle au point de n'en former qu'une seule : c'est grâce aux efforts réunis du Canada et de la Métropole qu'a pu se créer la Mond Nickel Company avec son usine de première fusion dans l'Ontario et ses grandes usines d'affinage du Pays de Galles. D'autre part, cette puissante affaire a aujourd'hui fusionné avec l'ancienne International Nickel Company Inc., pour constituer l'International Nickel Company of Canada Ltd. qui produit aujourd'hui plus de 85 % du nickel consommé dans le monde entier. Il semble donc logique de traiter en un même chapitre l'histoire des divers minerais canadiens, qu'ils soient affinés au Canada même pour les marchés américain ou asiatique, ou en Angleterre pour le marché européen.

Pourtant, l'industrie du nickel en Angleterre est bien antérieure à la découverte des minerais du Canada et comme introduction à leur histoire il est intéressant de revoir rapidement la part que la Grande-Bretagne a joué dans les tout premiers développements des alliages de nickel en Europe.

GRANDE-BRETAGNE

Dès le XVIII^e siècle, le nickel était connu en Grande-Bretagne sous forme de « Packfong », l'alliage chinois de nickel-cuivre-zinc que Ed. Thomason réussit dès cette époque à reproduire synthétiquement. Quelques échantillons de ce métal furent soumis à la Society of Arts, en 1823, mais ces expériences ne furent pas suivies d'une production industrielle.

Deux petites usines d'affinage, fondées vers 1830, l'une par P.-M. Johnson, et l'autre par Hallett, produisirent de petites quantités de nickel : on ignore tout des méthodes employées par ces entreprises ainsi que de leurs sources d'approvisionnement : elles méritent cependant d'être signalées car elles constituent les premières tentatives de production industrielle de nickel en Angleterre.

La question fut sérieusement étudiée pour la première fois par un vétérinaire, Charles Askin, qui s'occupait à ses moments perdus, de chimie métallurgique. Ce fut à l'occasion d'un séjour auprès d'un ami, Brooke Evans, propriétaire d'une usine à Varsovie, qu'il vit pour la première fois du maillechort, connu dans le commerce sous le nom d'argentan, métal tellement fragile, qu'une cuillère en maillechort se brisait en tombant à terre. Askin s'intéressa à ce nouvel alliage et chercha à le reproduire en partant de résidus, riches en nickel, provenant de l'industrie du cobalt. Après six mois d'expériences, une petite quantité de maillechort avait été produite et laminée à l'usine de MM. Merry et C^o. A la suite de ce succès, une association fut formée entre Askin et les frères Merry dans le but de produire et de faire connaître le nouvel alliage, mais l'affaire fut liquidée un an plus tard. Askin, qui se retirait avec bénéfice, fonda bientôt une autre affaire, en association, cette fois, avec Brooke Evans; mais des difficultés ne tardèrent pas à surgir provenant du manque de matière première : le concentré de nickel brut utilisé jusqu'alors ne pouvait être obtenu qu'irrégulièrement et en faibles quantités. On chercha à s'approvisionner sur le continent, en important des minerais cobaltifères de Dobshau, dans les Carpathes, mais ceux-ci contenaient de l'arsenic et ne purent être traités par les méthodes alors connues. En collaboration avec le chimiste Benson, Askin trouva bientôt le moyen de séparer le nickel du cobalt, en précipitant ce dernier au moyen d'un hypochlorite : cette découverte fixa définitivement le traitement des minerais cobaltifères contenant de l'arsenic et assura la prospérité de la nouvelle entreprise. Celle-ci s'adjoignait, en 1841, un nouvel assistant : Henry Wiggin, qui devait plus tard lui donner son nom.

Vers 1870, à la suite de la découverte des minerais calédoniens, quelques compétiteurs apparurent sur le marché, sans connaître cependant beaucoup de succès : parmi eux, on peut citer Sir Josiah Mason ; l'industrie du nickel en Angleterre ne se développait que lentement, faute d'une source de matière première abondante et d'accès facile.

Vers 1880, des gisements furent découverts

dans la région de Sudbury, Ontario. Le colonel Thompson, qui joua dès l'origine un grand rôle dans le développement de l'industrie du nickel au Canada, s'entendit avec Wiggin et C^o pour faire affiner, dans leur usine de Birmingham, une partie du minerai canadien. Mais ce minerai sulfuré de cuivre-nickel différait profondément des minerais arsenifères traités jusqu'alors par Wiggin et C^o, et nécessitait la mise au point de méthodes entièrement nouvelles ; aussi fut-il décidé que les minerais subiraient un premier traitement à Orford, aux Etats-Unis, pour les débarrasser d'une partie de leur cuivre, avant d'être expédiés en Angleterre. Wiggin et C^o n'en continuèrent pas moins à traiter encore pendant de nombreuses années des résidus riches en nickel ainsi que des minerais cobaltifères d'origines diverses.

A la même époque, les frères Vivian produisaient une certaine quantité de nickel dans leur usine d'affinage de cuivre de Swansea. Les minerais traités furent d'abord d'origine norvégienne, puis, après 1889, importés du Canada, à la suite de l'acquisition par les Vivian d'un certain nombre de gisements. Un concours malheureux de circonstances obligea les Vivian à cesser leur activité en 1894. Le marché anglais se trouvait privé d'un producteur important au moment même où, les aciers au nickel se répandant, la demande croissait sans cesse. Dans le but d'assurer leurs approvisionnements, trois aciéries importantes, MM. William Beardmore and C^o, Ltd., MM. Vickers, Sons and Maxim Ltd. et MM. John Brown and C^o Ltd., fondèrent en 1899 l'« Anglo-French Nickel C^o Ltd. ». La nouvelle société reprenait les actifs des frères Vivian et devait exploiter l'usine de Swansea. Ces trois mêmes aciéries s'affilièrent également à une société constituée par les principaux fabricants d'armement d'Europe, le « Steel Manufacturers Nickel Syndicate, Ltd. », groupement purement commercial dont le but était d'assurer un approvisionnement régulier en nickel. Cette Société se fit même donner des options sur des gisements en Nouvelle-Calédonie, mais au lieu de les exploiter directement préféra s'entendre avec la Société Le Nickel, comme le faisait également, à la même époque, l'« Anglo-French Nickel C^o Ltd. ». En 1903, le Syndicat acquit la totalité des actions de l'« Anglo-French » et céda le cinquième à la Société Le Nickel, en 1906. L'« Anglo-French » resta sous le contrôle des deux Sociétés jusqu'au jour où elle fut volontairement liquidée en 1933. Elle n'avait, en effet, plus de raison d'être car, en 1900, une nouvelle Société, créée dans le but d'exploiter les

gisements canadiens était née, la Mond Nickel Company qui devait rapidement devenir un des plus importants producteurs mondiaux de nickel.

ÉTATS-UNIS

Comme on le verra plus tard, si c'est au Canada qu'a lieu aujourd'hui l'affinage des minerais possédés par l'International Nickel Company of Canada, c'est aux Etats-Unis qu'il s'est fait tout d'abord. De plus, de même que pour l'Angleterre, l'histoire du nickel en Amérique est antérieure à l'entrée en ligne des minerais canadiens ; on trouve, en effet, de nombreuses traces de recherches minières et métallurgiques sur tout le territoire de l'Union au cours du siècle dernier : là encore, nous nous proposons d'en faire une rapide nomenclature avant d'aborder l'étude des gisements de l'Ontario.

Au XVII^e siècle, des colons venus s'établir dans le Connecticut y exploitèrent des mines de cuivre contenant du nickel, sous la direction de John Winthrop, premier gouverneur de cet Etat : ils espéraient y trouver de l'argent ou de l'or ; à cette époque, le nickel n'avait pas été isolé en tant que métal. On voit encore près de Litchfield les vestiges d'une ancienne exploitation, à laquelle il a été quelquefois question de rendre son activité, mais ces projets n'ont jamais eu de suite et l'intérêt des mines du Connecticut est aujourd'hui purement historique.

Il en est de même des mines situées dans l'Etat du Missouri, dont la plus importante fut celle de La Motte, près de Fredericktown. Le marché américain fut redevable à l'exploitation de cette mine, de petites quantités de nickel, sous-produit de l'affinage du plomb et du cuivre de la « North American Lead C^o ».

Citons enfin la Lancaster Gap Mine, dans l'Etat de Pensylvanie, qui suffit, à partir de 1860, à fournir aux industriels américains les quantités de nickel, assez faibles il est vrai, dont ils avaient besoin : la production annuelle de cette mine était de 100 tonnes, chiffre qui paraissait considérable à l'époque. Le minerai était traité dans l'usine de l'« American Nickel Works », à Camden, sous la direction de Joseph Wharton, métallurgiste distingué, qui fut le précurseur de l'industrie du nickel aux Etats-Unis ; le premier à produire du nickel sur une base commerciale, il envoya des échantillons de nickel laminé et étiré aux Expositions de Vienne en 1873 et de Paris en 1878 qui y firent sensation. Cependant, en 1892, la concurrence des mattes canadiennes fut trop forte : la mine de Lancas-

ter Gap et l'usine de Camden durent cesser leur production ; en 1902, cette dernière était reprise par la Orford Copper C^o, sous le contrôle de l'International Nickel. A partir de cette époque, l'histoire du nickel aux Etats-Unis se confond avec celle des progrès de l'affinage des mattes canadiennes.

Pour être complets, ajoutons qu'on a signalé des minerais de compositions diverses dans de nombreuses régions : en Oregon, en Nevada, dans les Carolines et en Californie : jusqu'ici, aucun travail sérieux de développement n'a été entrepris pour leur exploitation. Le territoire de l'Alaska serait plus intéressant en raison des masses minéralisées qu'on y rencontre ; dans la partie Sud-Est, on a reconnu la présence de sulfures de nickel, de fer et de cuivre, assez voisins des dépôts du bassin de Sudbury : mais l'accès en est difficile ; les moyens de communication ainsi que le climat posent, avant toute tentative d'exploitation et d'affinage, de graves problèmes dont la solution n'apparaît pas comme aisément réalisable.

PROVINCE D'ONTARIO (CANADA)

Historique. — En 1863, l'arpenteur Salter, qui avait été chargé d'établir des divisions territoriales dans la région de Nipissing et de Sault-Sainte-Marie, constata, par l'affolement de sa boussole, la présence de masses métalliques importantes dans la région même où fut découverte, plus tard, la Mine Creighton. Il fit analyser le minerai et envoya un rapport à Londres : sa découverte n'y fit pas sensation. Cette partie du Canada était alors absolument inaccessible, et nul n'aurait songé à y entreprendre l'exploitation de gisements miniers : ceux-ci furent donc oubliés jusqu'en 1883 où on le découvrit de nouveau.

C'est à cette époque, qu'au cours de travaux entrepris pour la construction du Canadian Pacific Railway, on s'aperçut, en creusant une profonde tranchée à quelques kilomètres au nord-ouest de Sudbury, que la roche mise à nu présentait des caractéristiques tout à fait particulières : des analyses révélèrent qu'il s'agissait de minerai de cuivre d'une teneur de 9 % : il n'était pas fait mention de nickel.

La nouvelle qu'une véritable montagne de cuivre avait été découverte ne tarda pas à se répandre et de nombreux prospecteurs affluèrent au Canada. Bravant un climat rigoureux et des difficultés de toutes sortes, ils découvrirent de nombreux gisements. Il est vrai que leur

tâche se trouvait considérablement facilitée par les conditions : dans lesquelles ces derniers se présentaient : le minerai sulfuré de cuivre-nickel contenait, en effet, une proportion considérable de fer dont les affleurements étaient très apparents, grâce à leur couleur rouille due à l'oxydation du minerai en surface. En outre, on remarqua que le minerai ne se trouvait que dans les endroits où le « norite », roche grise d'aspect particulier, était en contact avec des roches plus anciennes. Enfin, les formations de « norite » étaient limitées à une région relativement peu étendue, le bassin de Sudbury. Là furent alors découvertes les plus grandes mines de nickel du monde, sans que, cependant, l'on ait pu se douter à l'époque du magnifique avenir qui leur était réservé.

Encore fallait-il réunir les capitaux et concours nécessaires à l'exploitation de tous ces gisements : de nombreux problèmes de main-d'œuvre et d'approvisionnement se posaient, la région étant entièrement dépourvue de moyens de communication et très à l'écart des centres industriels. Une des premières personnes à s'intéresser aux nouvelles découvertes fut Samuel Ritchie, originaire de Cleveland, dont le caractère énergique et hardi allait l'aider puissamment dans cette entreprise qui s'avérait difficile. Quelques années auparavant, il avait entrepris l'exploitation d'une mine de fer au Canada, et dans ce but avait constitué une Société et même construit une voie ferrée : la mine ayant dû être abandonnée, Ritchie vit, dans la découverte des minerais canadiens, l'occasion d'utiliser sa voie ferrée en la prolongeant jusqu'à la région de Sudbury. Il prit des options sur divers gisements et fonda, en 1886, la Canadian Copper C^o, avec le concours de ses premiers actionnaires à qui il assura que la nouvelle affaire rembourserait les capitaux précédemment perdus. La Canadian Copper C^o s'installa donc en 1886 à Copper Cliff pour extraire du minerai de cuivre de trois mines, « Copper-Cliff », « Stobie » et « Evans ». Cependant, la Société créée par Ritchie ne disposait pas au Canada, ou même aux Etats-Unis, des installations nécessaires pour affiner ses propres minerais. En revanche, Ritchie fit à cette époque la connaissance du colonel Thompson qui était, lui, précisément, à la recherche de minerai pour l'usine de l'Orford Copper Company, dont il venait d'acquiescer le contrôle.

Il est intéressant de dire ici quelques mots de cette société, qui fut la première exploitation de nickel au Canada. Dès 1877, W.-E.-C. Eustis, originaire de Boston, avait acquis à

Orford une mine de nickel et fondé, avec le concours d'éminents ingénieurs, l'Orford Copper Co. Des difficultés de toutes sortes avaient assailli la nouvelle société dès ses débuts, entre autres, la fusion des minerais, extrêmement réfractaires, était fort difficile. En revanche, des gisements cuprifères avaient été découverts dans la même région et Eustis avait chargé R.-M. Thompson, un jeune avocat de Boston, d'en négocier l'achat. La nouvelle Société, sous le nom de Orford Copper Company, s'était bientôt uniquement consacrée à l'extraction des minerais de cuivre d'une autre mine d'Eustis, à Capleton. Thompson, devenu directeur de l'affaire, fit construire une usine d'affinage à Bayonne, dans le New-Jersey, où l'on traita pendant quelques années les minerais de Capleton. Cependant, bientôt, Eustis se retirait de l'affaire en conservant la propriété de la mine : Thompson trouva des concours pour racheter l'usine de Bayonne dont le krach des Métaux devait, par une suite de circonstances favorables, le rendre seul propriétaire; mais il lui fallait chercher du minerai. C'est évidemment vers le Canada, région dont la mise en valeur commençait à peine, qu'il se tourna, et bientôt une entente était conclue avec la Canadian Copper Co. En vertu de ce contrat, cette dernière société devait fournir à Thompson 100.000 tonnes de minerai de cuivre d'une teneur au moins égale à 7 %. En octobre 1886, un premier chargement était envoyé à l'Orford Copper Co. La consternation fut générale lorsque les ingénieurs de la Nichols Chemical Works, Long Island, qui avaient également reçu une certaine quantité de minerai pour affinage, se déclarèrent incapables de le traiter, ne pouvant en opérer la fusion. Ils envoyèrent ce qu'ils avaient reçu à Thompson, qui, de son côté, n'avait pas mieux réussi. Le minerai ne contenait pas les 7 % de cuivre spécifiés dans le contrat, et si, en revanche, sa teneur en nickel était élevée, on ne connaissait à l'époque aucune méthode permettant d'extraire et d'affiner ce métal qui, d'ailleurs, n'avait que des débouchés très restreints. Ce furent des jours sombres, mais Ritchie et Thompson n'étaient pas hommes à se laisser décourager : Ritchie entreprit de créer un marché pour le nouveau métal, cependant que Thompson s'attaquait au problème difficile de l'affinage du minerai.

Ritchie n'ignorait pas les propriétés toutes particulières du nickel ; il se souvenait qu'une dizaine d'années auparavant il avait assisté à des expériences concluantes conduites par un

Anglais, John Gamgee. Ce dernier, ayant constaté que les microbes de la fièvre jaune ne vivaient pas en-dessous d'une certaine température, avait entrepris de créer un bateau-hôpital, où le germe de cette maladie serait détruit dans des chambres froides. Pour la construction des appareils frigorifiques dont il avait besoin, Gamgee avait recherché un métal que le gaz ammoniac aux pressions élevées n'attaquerait pas ; seul, un alliage de nickel lui avait donné satisfaction. Si plus tard Gamgee n'avait pas donné suite à son projet, Ritchie n'en avait été pas moins convaincu du caractère tout à fait exceptionnel des propriétés du nickel ; dans ses inlassables efforts pour créer un marché pour ce métal, il fut aidé par les circonstances et profita des expériences que conduisaient à la même époque des métallurgistes étrangers. En Ecosse, James Riley, directeur d'une importante aciérie de Glasgow, fit un rapport à l' « Iron and Steel Institute of Great Britain » tendant à démontrer les nombreux avantages des aciers au nickel, alors qu'en France, comme nous l'avons vu précédemment, on poursuivait également des recherches relatives à la métallurgie du nickel.

« Ritchie s'était convaincu, avec raison, que le nickel aurait un grand avenir dans les alliages. En 1888, il se rendit en Angleterre, où l'Institut du Fer et de l'Acier avait entrepris des recherches sur le nickel. Il visita plusieurs pays d'Europe, en particulier la France, qui était la plus grande productrice de nickel par sa colonie de la Nouvelle-Calédonie. A son retour, il démontra au ministre de la Marine des Etats-Unis, la supériorité des plaques de blindage de navires de guerre faites d'acier au nickel, sur celles faites uniquement en acier. Il rapportait trois plaques, l'une en acier anglais, la deuxième en acier français, la troisième en acier au nickel français. L'expérience eut lieu dans les chantiers maritimes d'Annapolis, où l'on tira d'une distance de 50 pieds, des obus de 6 1/8 pouces sur chacune des plaques. La première fut réduite en miettes, la seconde se fendilla, la troisième n'eut que peu de mal. La nouvelle fut proclamée par le monde, à l'américaine. Le Congrès vota un million pour acheter de la matie de nickel afin de transformer le blindage de sa flotte. Ritchie était maintenant assuré de vendre son nickel.

« Cependant, les débuts furent difficiles. On trouvait du minerai en abondance dans les mines canadiennes, mais le procédé de séparation du nickel et du cuivre n'était pas satisfaisant. Les usines Orford de l'Etat de New-

Jersey ne pouvaient fournir aux aciéries qu'un oxyde rouge de ferro-nickel à peine acceptable. Le colonel Thompson, président de la Société, découvrit par hasard le procédé d'affinage au salpêtre qui prit le nom de ses usines. Un jour qu'il inspectait la matte refroidissant en petits cônes après la coulée, il s'aperçut en frappant les cônes au marteau que chacun se brisait selon le même plan de fracture. Le sommet du cône était fait d'un sulfure foncé et feuilleté, le bas d'une masse brillante et compacte. Le bas était du métal presque pur, le reste, des impuretés. Thompson s'enquit de la manière dont l'affinage avait été fait ce jour-là. On ne le savait pas exactement. Pour le nettoyage, on avait brûlé dans le four tous les résidus chimiques. Après beaucoup de tâtonnements, Thompson réussit à obtenir une matte semblable à la première en utilisant du salpêtre comme fondant (1). » C'est ainsi que fut découvert le procédé dit Orford qui, comme nous le verrons plus loin, est encore utilisé dans la métallurgie actuelle des minerais canadiens. Cependant, lorsque Thompson voulut faire breveter son invention, il apprit que, dès 1877, il avait été devancé par un cordonnier du nom de Tatro : il dut racheter leurs droits aux héritiers de ce dernier. C'est vers la même époque que, par une coïncidence curieuse, le chimiste anglais, Ludwig Mond, découvrit l'action de l'oxyde de carbone sur le nickel et commença à mettre au point un procédé industriel de séparation du nickel et du cuivre fondé sur cette curieuse réaction.

De 1888 à 1891, la production du nickel canadien se développa d'une façon sensible sous l'impulsion de Ritchie : mais son usine de première fusion, la Canadian Copper Co., justement en raison de son succès, connut d'intermittentes concurrences. La maison anglaise H.-H. Vivian et Cie, de Swansea, s'intéressa la première aux minerais du Canada, mais abandonna ses travaux quelques années plus tard et ferma en 1894, la « Murray Mine » qui devait connaître un regain d'activité vingt ans plus tard, pendant la grande guerre. Il en fut de même de la Dominion Mineral Company qui, jusqu'en 1894, exploita la mine Worthington, dans le district de Sudbury, et de la Drury Nickel qui disparut en 1893.

Restée seule, la Canadian Copper Co. ouvrit la mine Froot, qui devait se révéler une des plus importantes mines du monde, puis la mine

de Creighton : en même temps, on construisait à Copper Cliff, dans le voisinage de ces mines, une nouvelle usine de première fusion. Pourtant, vers 1900, une nouvelle concurrence se développa au Canada. Ludwig Mond avait constitué une Société dans le but d'exploiter son procédé de séparation du nickel et du cuivre : contrairement au colonel Thompson qui, pendant longtemps, s'était trouvé avec des mines importantes sans procédé d'affinage, la Société Mond possédait d'intéressants brevets pour la métallurgie des minerais de cuivre-nickel, mais elle n'avait pas de matière première. Elle en chercha au Canada, et c'est ainsi qu'elle acheta la mine Victoria au sud-ouest du bassin de Sudbury. Elle construisit à son tour une usine de première fusion, mais de même que la Canadian Copper exportait sa matte aux Etats-Unis où avait lieu l'affinage, de même la Mond Nickel Company exporta-t-elle une matte de même composition dans le pays de Galles, à Clydach, près de Swansea, où elle installa son usine de traitement.

Deux ans après l'installation, au Canada, de la Mond, en 1902, se forma l'International Nickel Company.

En effet, il paraissait souhaitable, à une époque où la concentration devenait une condition de succès pour une entreprise industrielle, de réunir sous une même direction les différentes phases de la métallurgie du nickel : l'extraction du minerai, la première fusion, l'affinage et la vente. L'Orford Copper Co., dépendant de la Canadian Copper Co., pour ses approvisionnements en matte, des difficultés pouvaient surgir à tout instant : déjà, lorsque le Canada avait mis des droits prohibitifs sur l'exportation des minerais et mattes, Thompson avait cherché une autre source de matière première et pris le contrôle de la Société Minière Calédonienne. La Canadian Copper Co., en revanche, menaçait d'effectuer elle-même l'affinage de ses mattes par un nouveau procédé électrolytique : les deux Sociétés avaient tout intérêt à s'entendre. En 1902, une puissante Société au capital de \$ 24.000.000 fut constituée sous la présidence du colonel Thompson ; elle réunissait sous une même direction les sources de matières premières au Canada et l'usine d'affinage américaine ; elle engloba également, à côté de la Canadian Copper et de la Orford Copper Co., la Société Minière Calédonienne, Le Nickel Corporation, ces deux dernières possédant des mines en Nouvelle-Calédonie et l'American Nickel Works, l'usine d'affinage de Camden où

(1) B. Brouillette « La région minière de Sudbury ». *L'actualité Economique*. Montréal, janvier 1937.

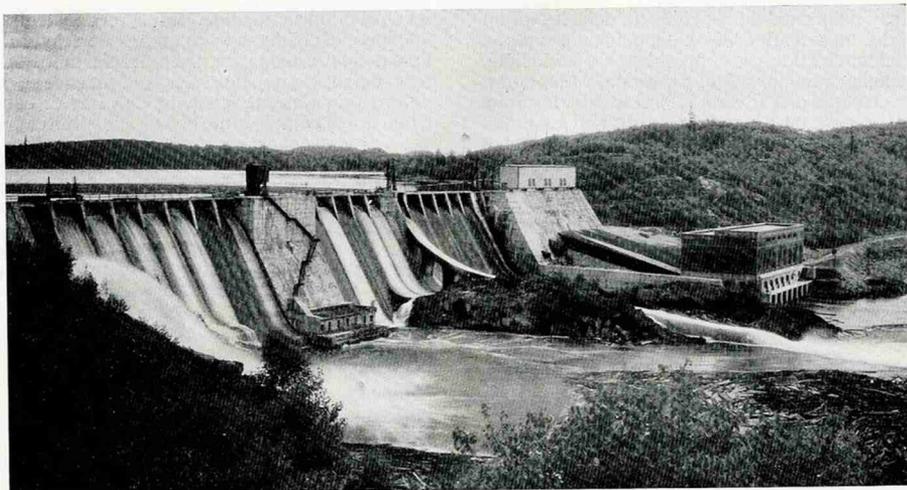


FIG. 20. — Usine hydro-électrique de High Falls (Canada).

certaines minerais locaux étaient traités depuis plusieurs années. Les filiales canadiennes et américaines furent définitivement absorbées et disparurent lors de la réorganisation de l'International en 1916.

Pendant les années qui suivirent sa création, cette dernière modernisa ses installations de Copper Cliff : une nouvelle usine de première fusion fut construite ainsi qu'une puissante centrale hydro-électrique. La production augmenta considérablement à la suite de ces aménagements qui permettaient de traiter plus économiquement de plus grands tonnages.

De son côté, la Mond Nickel C^o, s'était considérablement développée : elle avait acquis de nombreuses mines, construit une nouvelle usine de première fusion ainsi qu'une usine d'affinage très moderne à Coniston. L'International et la Mond, se partageant l'affinage des mattes canadiennes, ne se faisaient cependant pas concurrence et leurs marchés restaient entièrement distincts : la Mond écoulait en Europe le nickel affiné dans ses usines de Clydach (Pays de Galles) alors que l'International affinait ses mattes dans le New Jersey, à Bayonne, et ne connaissait d'autre concurrence sur le marché américain que celle d'une Société française, The United States Nickel C^o, dont il a été parlé ci-dessus (voir page 8).

Cependant, l'affinage des mattes nickelifères canadiennes se faisant entièrement hors du

Canada, dans les années qui précédèrent la guerre, un mouvement d'opinion publique réclama des mesures protectionnistes afin que l'économie canadienne fût seule à profiter de cette source importante de richesse. Lorsque la guerre éclata, les besoins très grands des armées alliées en nickel donnèrent une nouvelle acuité à ce problème : répondant au désir de ses amis canadiens, alors que la Mond continuait l'affinage de ses mattes à Clydach, l'International vint s'établir au Canada même et construisit à Port Colborne une vaste usine pour effectuer l'affinage électrolytique de ses mattes.

Mais bientôt la production de ces deux grandes affaires ne suffit plus à la demande sans

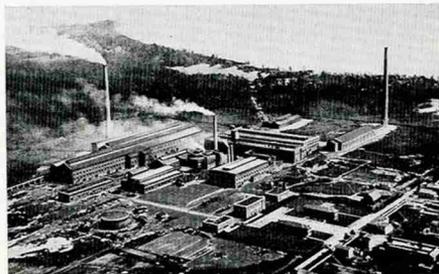


FIG. 21. — Usine d'affinage électrolytique à Port-Colborne, Ontario (Canada).

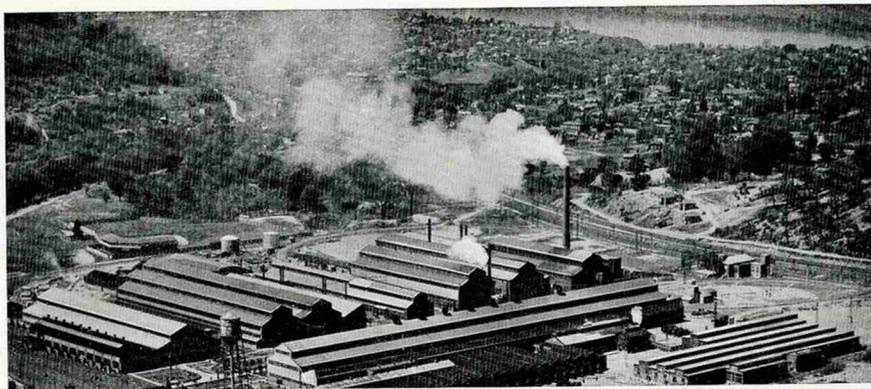


FIG. 22. — Vue générale de l'usine de Huntington (West Virginia).

cesse grandissante des industries de guerre : avec l'aide du Gouvernement britannique fut alors créée la « British America Nickel Corporation » : cette nouvelle entreprise reprenait les actifs miniers de la Dominion Nickel Copper, Société qui, créée quelques années auparavant, n'avait pu lutter contre la concurrence et était entrée en liquidation. La British America aménagea un certain nombre de mines, dont celles de Murray, Elsie et Gertrude; la concentration des minerais se faisait à Nickelton, l'usine d'affinage se trouvait à Deschênes. Cependant, née de la guerre, cette Société disparut après la cessation des hostilités : le nickel n'avait pas encore pris dans les industries de paix la place qui devait, plus tard, lui permettre de retrouver un marché : la British America disparut en 1924.

A cette époque, M. R. C. Stanley, élu en 1922 à la présidence de l'International, mit en œuvre un vaste programme destiné à mettre un terme à la surproduction qui menaçait gravement le marché du nickel : il cherchait non pas à limiter le tonnage produit mais au contraire à trouver de nouvelles utilisations du nickel dans les industries de paix. Des services de propagande et de recherche technique furent institués dont les résultats furent si heureux que bientôt la consommation de nickel dépassa celle des temps de guerre.

Cependant, l'International continuait à se développer et à construire de nouvelles usines; en particulier celle de Huntington était spécialement destinée à la production du Monel, alliage composé de 70 % de nickel et de 30 %

de cuivre, connu pour ses remarquables propriétés mécaniques et anti-corrosives. L'usine de Huntington comprenait une fonderie avec four d'affinage, des laminoirs et des forges et était équipée pour produire le Monel sous ses différentes formes marchandes, ainsi que le nickel pur malléable. D'autre part, la Mond, dont le marché était resté jusqu'à cette époque tout à fait distinct de celui de l'International, vint concurrencer cette dernière aux Etats-Unis même et fabriqua, sous le nom de Mond 70 % du Monel synthétique à Clearfield, en Pensylvanie. Pour la première fois, les deux Sociétés s'affrontaient sur un même marché.

Les progrès accomplis depuis la guerre par l'International et la Mond préparaient la fusion de ces deux entreprises, dont les activités commerciales, s'élargissant sans cesse, n'auraient pas manqué à la longue de constituer une concurrence inutile; déjà leurs exploitations minières tendaient à se confondre, la Mond exploitant en profondeur la Froid Extension en bordure de la Froid Mine mise en valeur par l'International. Le 18 janvier 1929, l'International racheta tous les actifs de la Mond Nickel Co. Ceux-ci comprenaient de nombreuses mines, une usine de première fusion à Coniston (Canada) et une usine d'affinage à Clydach (Pays de Galles), la fonderie et les laminoirs de Clearfield, l'usine d'affinage de métaux précieux d'Acton, près de Londres, la grande usine d'alliages de Birmingham, etc... La fusion de ces deux puissantes entreprises sous le nom de International Nickel Company of Canada Ltd., a permis une exploitation rationnelle de

leurs actifs et facilité leur propagande et recherches techniques. Soucieuse de l'intérêt du consommateur, la nouvelle International a profité de la diminution constante de son prix de revient pour procéder à des abaissements successifs du prix du nickel, politique à large vue qui a fait de l'industrie du nickel une des grandes industries mondiales.

Comme nous l'avons dit plus haut (page 18) une nouvelle Société exploite depuis 1929 des minerais nickelifères canadiens : la Falconbridge Nickel Mines. Nous avons vu que cette Société possède au Canada une usine de première fusion et qu'elle affine sa matte en Norvège à Kristianssands, selon le procédé Hybnette dont nous avons donné une rapide description.

Enfin, nous citerons, à titre documentaire, la British Columbia Nickel Mines, qui s'est formée en 1933 pour exploiter certains gisements de nickel qui se trouvaient dans le district de Yale près de la ville de Choate.

Géologie. — Les minerais de nickel du Canada sont localisés dans le bassin de Sudbury, Province d'Ontario, qui affecte la forme d'une



FIG. 23. — Dyke granitique recoupant la norite.

ellipse d'environ 50 km. de long sur 25 km. de large; le minerai affleure sur les contours de l'ellipse et s'enfonce en profondeur vers le centre. La masse minéralisée consiste en un conglomérat de pyrrhotines nickelifères associées à de la chalcopyrite; le nickel est constitué par de la pentlandite, sulfure de fer et de nickel. Ces trois minéraux sont généralement réunis, mais dans des proportions variables, ce qui explique que si le minerai sulfuré contient toujours du fer, du cuivre et du nickel, les proportions varient d'un point à un autre et souvent, dans la même mine, d'un niveau à l'autre.

Tout au début de la mise en valeur de ces gisements, l'exploitation se faisait à ciel ouvert; elle s'exécute maintenant en galeries et l'on est déjà descendu en plusieurs endroits à une profondeur dépassant 1.000 mètres.

La Mine de Creighton a été pendant longtemps la plus importante du domaine minier de l'International Nickel. Déjà, au début du dernier siècle, Salter, avait reconnu dans cette région la présence d'importantes masses minéralisées : passée entre des mains diverses, elle tomba en 1885 dans le patrimoine de la Canadian Copper Co., mais c'est en 1900 seulement qu'on commença à l'exploiter d'une façon systématique. Jusqu'à 100 mètres de profondeur, les travaux se firent à ciel ouvert, puis on fonça des puits et l'exploitation en grand eut lieu en profondeur. Le minerai consistait en une lentille de pyrrhotine contenant 1 % de cuivre pour 2,50 % de nickel; depuis, on a trouvé dans d'autres lentilles des proportions différentes des deux métaux; d'une façon générale, la teneur du minerai est plus riche en nickel qu'en cuivre et les proportions se rapprochent de celles que l'on trouve dans le métal Monel, soit environ 2/3 de nickel pour un peu moins de 1/3 de cuivre. C'est pour cela qu'actuellement, alors que l'International tire la presque totalité de son nickel de la mine Frood, elle continue néanmoins l'exploitation de la Creighton qui est entièrement réservée à la fabrication du métal Monel. On peut donner comme composition moyenne du minerai de la Creighton, après triage :

Cu	1,50 %
Ni	3,90
Fe	39,50
SiO ²	23
S	21
Al ² O ³	5,25
MgO	3
CaO	2,50

La Frood Mine est également connue depuis

longtemps, mais ce n'est que vers 1890 qu'elle a été mise en exploitation. Comme la mine Creighton, elle a d'abord été travaillée à ciel ouvert, puis différents puits ont été foncés et des travers-bancs tracés dans la masse du minerai. Le gîte de la mine Frood est sans doute le plus important de toute la région de Sudbury : depuis la fusion entre l'International Nickel C^o of New Jersey et la Mond Nickel C^o, sous le nom de International Nickel C^o of Canada Ltd, l'ensemble de la mine a pu être mis en exploitation régulière et déjà un tonnage considérable en a été extrait : sans être à même de donner un chiffre exact, on croit pouvoir dire que le tonnage probable de minerai qui est encore contenu aujourd'hui dans la mine Frood est de l'ordre de grandeur de 200 millions de tonnes. Assez pauvre en surface, le minerai s'enrichit au fur et à mesure qu'on descend en profondeur, surtout en cuivre, dont la teneur va parfois jusqu'à 12 ou 14 %. Mais, dans leur ensemble, les parties profondes indiquent une teneur en cuivre de 4 à 5 % et de 2,50 % en nickel.

Mines diverses. — L'International Nickel possède également d'autres gisements dans la même région : tous ces minerais sont des sulfures triples de nickel, de cuivre et de fer, avec

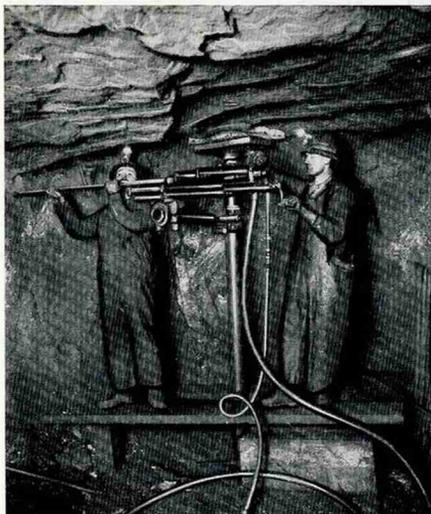


FIG. 24. — Travail à la perforatrice à air comprimé (Mines Frood).

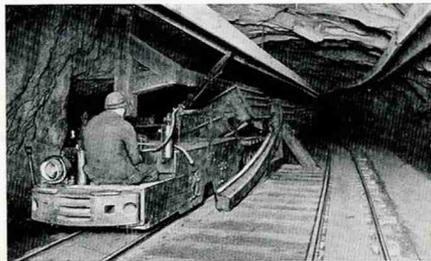


FIG. 25. — Galerie dans la mine Frood.

des traces d'argent, d'or et de métaux du groupe de platine. Nous citerons, par exemple, l'ancienne mine Worthington (hors de service pour le moment, à la suite d'un éboulement), la mine Garson et surtout la mine Levack, qui possèdent d'importantes réserves. C'est à côté de la mine Garson que se trouve le domaine minier de la Falconbridge Nickel C^o, dont le minerai, comme nous l'avons vu, est fondu sur place, mais affiné en Norvège. La teneur en nickel est légèrement inférieure à 2,50 % et celle en cuivre est d'environ 1 %.

Même dans une énumération rapide, nous ne devons pas oublier la mine Murray, qui a plusieurs fois changé de mains au cours de ces trente dernières années, ni la mine Whistle; toutes deux ont été exploitées pendant la guerre par la British America Nickel Corporation; elles font partie maintenant du domaine de l'International Nickel C^o of Canada.

PREMIÈRE FUSION

Usine de Copper Cliff

C'est à Copper Cliff que l'International a monté son usine de première fusion, entièrement reconstruite en 1929, alors que la Mond Nickel et C^o s'établissait d'abord près de la mine Victoria, et ensuite à Coniston, en 1912 : les deux compagnies ont suivi pendant longtemps les mêmes méthodes pour le premier traitement des minerais et la production d'une matre de nickel et de cuivre.

Dès le début, on s'est trouvé en face d'une difficulté spéciale, la haute teneur en soufre. Si l'on fond directement le minerai au haut-fourneau avec le coke et les fondants nécessaires, tout le fer du minerai se retrouve dans la matre et l'on obtient ainsi un premier concentré très riche en fer et par conséquent pauvre en cuivre et en nickel. L'élimination ultérieure du fer

au convertisseur, qui consiste à oxyder par soufflage le sulfure de fer, à le transformer en oxyde puis en silicate par addition de sable, devient, en présence d'un excès de fer, une opération longue et coûteuse d'un rendement très faible. On s'est donc trouvé dans la nécessité de réduire la teneur en fer avant soufflage, et d'en scorifier le plus possible pendant la fusion au water-jacket, d'où la nécessité d'un grillage oxydant préalable. Pendant près de 50 ans on a eu recours au « grillage en tas » : le minerai en morceaux, à l'exclusion des fines, était entassé sur de larges aires de grillage, avec des lits alternés de bois auxquels on mettait le feu en réservant les événements nécessaires au tirage. Cette opération durait plusieurs semaines, dégageant dans l'atmosphère une quantité considérable de fumées sulfureuses qui détruisaient toute végétation à plusieurs milles à la ronde. Grâce à son affinité pour le soufre, le nickel comme le cuivre d'ailleurs, n'était que très légèrement oxydé, l'oxydation se portant surtout sur le fer; lors de la fusion de ces minerais grillés dans le haut-fourneau une grosse partie du fer s'éliminait sous forme de scorie laissant un concentré de nickel et de cuivre plus riche et plus facile à « bessemeriser ». Cette bessemerisation consiste à souffler de l'air dans la matte liquide sortant du haut-fourneau après l'avoir versée dans un convertisseur horizontal à garnissage basique du type Pierce-Smith : le fer restant dans l'alliage est complètement oxydé et, après addition de sable, s'écume facilement, laissant finalement un produit titrant environ 20 % de soufre, 79 à 80 % de nickel et de cuivre avec des traces de fer.

Le traitement de première fusion décrit ci-dessus ne s'appliquait qu'au minerai d'une certaine dimension : les parties fines étaient fondues sans grillage préalable dans de grands fours réverbères horizontaux, chauffés au char-

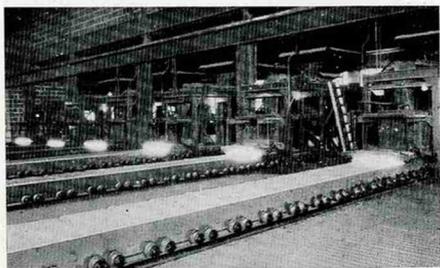


FIG. 26. — Machine pour le frittage du minerai à Coniston.

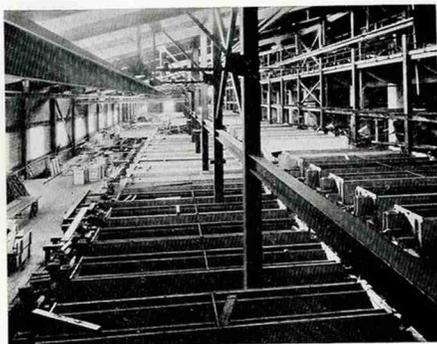


FIG. 27. — Cellules de l'atelier de flottation à Copper Cliff (Canada).

bon de bois : après écumage, on retirait de ces réverbères une matte analogue à celle provenant des hauts-fourneaux.

La Mond Nickel C^o employait un procédé légèrement différent : au lieu d'exécuter un grillage du minerai, elle réalisait un « frittage » (sintering), grillage agglomérant qui le débarassait d'une partie du soufre et donnait un produit pouvant être chargé directement au haut-fourneau.

En raison de la haute teneur en soufre du minerai, ce dernier, beaucoup moins réfractaire que les minerais oxydés et silicatés de Nouvelle-Calédonie, n'exigeait qu'une proportion réduite de coke de l'ordre de 15 à 16 %, permettant d'obtenir la matte nickel-cuivre à un prix de revient déjà très réduit.

Il y a quelques années, on a abandonné, à l'International Nickel C^o, le grillage en tas et instauré une concentration des minerais par flottation. Cette flottation a été perfectionnée au point de permettre la réalisation, pour ainsi dire immédiate, de la séparation des minerais particulièrement riches en nickel : les premiers ne sont même plus traités pour nickel, mais envoyés directement à l'usine de traitement pour cuivre. Pendant quelque temps, les minerais de nickel flottés étaient traités par frittage à Copper Cliff selon la méthode suivie à Coniston, puis chargés aux water-jackets. Aujourd'hui, le procédé a été encore amélioré et la fusion au water-jacket entièrement abandonnée.

Le minerai de nickel est d'abord concassé très finement, puis soumis à une flottation « sélective ». Il est ensuite pompé dans les bacs de

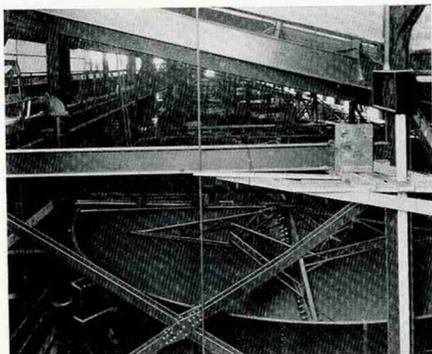


FIG. 28. — Épaississeurs pour les concentrés de flottation à Copper Cliff.

décantation; les particules restées en suspension dans l'eau sont récupérées après passage dans des épaississeurs. Le minerai de nickel ainsi enrichi est chargé mécaniquement dans des fours de grillage circulaires à soles multiples du type Herreschoff; le minerai arrive à la partie supérieure la moins chauffée et descend par rablage sur les soles inférieures de plus en plus chaudes, où il se désulfure et s'oxyde. De là, sans la moindre manutention, il tombe dans des fours réverbères situés à un étage inférieur, fours chauffés au charbon pulvérisé, dans lesquels on ajoute du sable pour scorifier l'oxyde de fer provenant du grillage. Après élimination du fer au convertisseur, on en retire une matte riche contenant à peu près 80 % de nickel plus cuivre et 20 % de soufre : l'or et les métaux précieux contenus dans le minerai original se trouvent concentrés dans cette matte.

Cette substitution des fours réverbères aux water-jackets a constitué, avec l'adoption de la concentration par flottation, une amélioration considérable dans les procédés de première fusion, précédant l'affinage proprement dit. Comme points particulièrement intéressants, nous noterons tout d'abord la nature du garnissage de ces fours : le sol est en sable siliceux, les murs et la voûte en briques de silice, sauf, toutefois, le raccordement entre la voûte et les murs qui est en briques de magnésie. La chaleur perdue alimente des chaudières dont la vapeur est employée, entre autres, au chauffage de l'usine pendant les longs hivers canadiens. Le charbon utilisé comme combustible contient de 7 à 10 % de cendres et est injecté dans le four

sous forme pulvérisée avec une certaine quantité d'air primaire fourni par des ventilateurs centrifuges : pour compléter la combustion, de l'air secondaire est introduit autour des brûleurs.

Les convertisseurs, de forme cylindrique, ont un diamètre d'environ 4 mètres sur 10 mètres de long : leur garniture est faite entièrement en magnésie. Le service du convertisseur est assuré par tout un jeu d'engrenages mû électriquement; on y a prévu des volants de dimensions spéciales dont l'énergie emmagasinée permet, en cas d'arrêt du courant, de renverser les convertisseurs et d'éviter ainsi l'engorgement des tuyères.

Comme autre particularité remarquable, nous mentionnerons l'utilisation des gaz des convertisseurs chargés d'anhydride sulfureux, pour la production directe d'acide sulfurique par le procédé du contact. On verra, en effet, que l'affinage des mattes de l'International Nickel Co exige d'importantes quantités de « nitre cake », c'est-à-dire de bisulfate de soude : la compagnie possède d'importants gisements de sulfate neutre et l'acide sulfurique produit à l'usine permet de transformer le sulfate en bisulfate.

Usine de Coniston.

A Coniston, on a maintenu l'emploi des hauts-fourneaux. Le minerai très siliceux est envoyé à l'usine de concentration et de flottation de Copper Cliff de sorte que le minerai utilisé à Coniston est relativement pauvre en silice. On réduit ainsi la quantité de fondant à introduire et le rendement du haut-fourneau s'en trouve augmenté. Les « fines » passent dans des « sin-

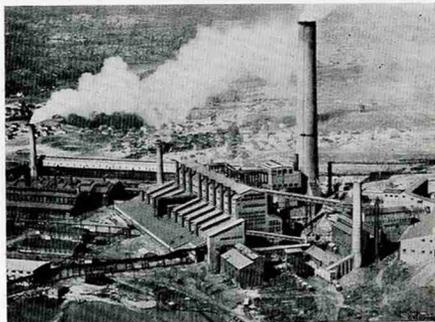


FIG. 29. — Vue générale de l'usine de première fusion et de concentration à Copper Cliff.

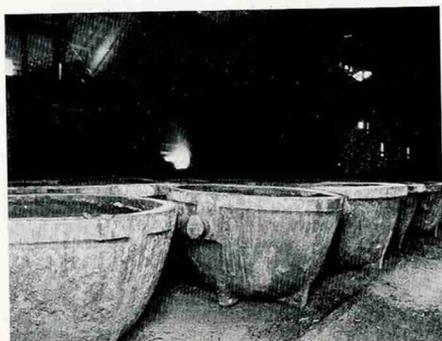


Fig. 30. — Cuves de décantation des « bottoms » de nickel et des « tops » de cuivre.

tering machines » Dwight Lloyd pour y subir un frittage permettant leur facile introduction au haut-fourneau. La matte produite est ensuite passée au convertisseur comme à Copper Cliff.

Usine de Falconbridge.

A l'usine de la Falconbridge Nickel Co érigée en 1929, à la même époque que la nouvelle usine de Copper Cliff de l'International Nickel Co, on a préféré rester fidèle aux anciennes méthodes et continuer à fondre le minerai au water-jacket. Cette décision s'explique facilement : pour retirer tout le bénéfice des fours à réverbère il faut avoir affaire à des fours de grandes dimensions, c'est-à-dire traiter de très forts tonnages d'un façon régulière.

Après un triage à la main, le minerai est tamisé et le gros va à un séparateur magnétique : la pyrrhotine est envoyée au haut-fourneau, alors que la partie non magnétique est soumise à la flottation. Quant à la partie tamisée, elle est séparée en deux : au-dessous d'un certain diamètre, les fines sont agglomérées par frittage et chargées au water-jacket alors qu'au dessus elles sont utilisées comme fondant dans les convertisseurs.

AFFINAGE

Procédé de l'International Nickel Company. — L'affinage de la matte de nickel-cuivre se fait en deux stades, dans deux usines différentes : à Copper Cliff, les sulfures de cuivre sont d'abord séparés des sulfures de nickel; ces derniers sont ensuite expédiés à l'usine de

Port Colborne pour y être transformés en nickel pur.

Le procédé « Orford », utilisé à Copper Cliff, consiste, comme il a déjà été dit, à fondre au cubilot la matte avec du bisulfate de soude qui, sous l'action réductrice du coke, se transforme en sulfure. Le sulfure de nickel est moins soluble dans le sulfure de sodium que le sulfure de cuivre, et une séparation se produit : l'on obtient, après refroidissement, des cônes dont les « tops » (sommets) sont riches en cuivre (46 % de cuivre et 4 % de nickel) et les « bottoms » (bases) riches en nickel (64 % de nickel et 11 % de cuivre); les « tops » se détachent facilement des « bottoms » dont ils sont séparés par un plan de clivage très net. En répétant cette opération, on obtient de nouveaux « bottoms » ne contenant plus que 2 % de cuivre, à haute teneur en nickel (72 %). Ces derniers sont alors broyés et expédiés à l'usine d'affinage de nickel de Port Colborne. Quant aux « tops », les premiers sont dirigés sur la raffinerie de cuivre, et les seconds « tops » repassent au cubilot.

A Port-Colborne, le sulfure de nickel est à nouveau broyé, puis lavé, d'abord à l'eau chaude pour éliminer le sulfate de sodium, ensuite à l'acide sulfurique pour dissoudre la plus grande partie du fer restant. Une petite partie du produit ainsi obtenu, contenant 74 % de nickel et 1,5 % de cuivre, est alors mélangée à du gros sel et grillée dans des fours Edwards; après élimination, par lavage à l'eau chaude, du chlorure de cuivre ainsi formé, on obtient un

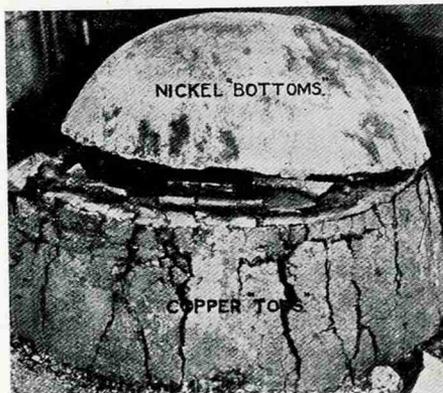


Fig. 31. — « Tops » de cuivre et « bottoms » de nickel après démoulage.

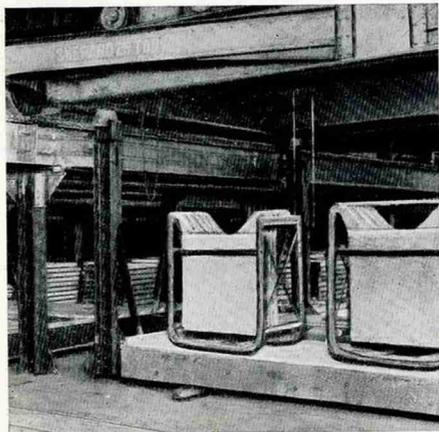


FIG. 32. — Anodes de nickel à affiner.

oxyde de nickel vert. Ce dernier, mélangé à de la soude, subit un nouveau grillage à une température d'environ 2.200°C et, après lavage, donne un oxyde de nickel noir contenant 78 % de nickel, 0,1 % de cuivre et 0,005 % de soufre : cet oxyde de nickel presque pur est écoulé sur le marché tel quel, ou utilisé pour donner, par réduction au charbon de bois et fusion, du nickel en grenaille ou en lingot.

Cependant, de plus en plus, on utilise du nickel affiné électrolytiquement, et c'est à l'usine d'électrolyse qu'est envoyée la presque totalité des sulfures après lessivage. Ces sulfures sont concassés puis soumis à un grillage agglomérant; ils sont ensuite chargés avec du charbon pauvre en matières volatiles dans des fours à réverbère où s'opère leur réduction; ils sont finalement coulés en planches de nickel impur qui constitueront les anodes dans le traitement électrolytique et qui titrent environ 95 % de nickel, 2-3 % de cuivre, 0,75 % de fer et 0,75 % de soufre.

Ces anodes qui ont 65 cm. de large et 90 cm. de hauteur, et qui pèsent 190 kg., sont placées dans des bacs d'électrolyse en série : les cathodes sont constituées par des feuilles minces de nickel électrolytique pur : ces dernières sont obtenues en employant dans un certain nombre de ces bacs des cathodes en aluminium et en arrêtant l'opération dès qu'il s'est formé une feuille de nickel d'un millimètre environ. L'électrolyte est une solution de sulfate comprenant par litre : 40 gr. de nickel, 20 gr. d'acide

borique, 35 gr. de sulfate de soude, avec un p.H variant entre 4 et 5,6. L'électrolyse se fait sous un voltage de 2,4 volts par bac unitaire. Bien entendu, si aucune précaution spéciale n'est prise, le cuivre contenu dans l'anode impure se déposerait électrolytiquement à la cathode en même temps que le nickel, et on ne réaliserait dans ces conditions aucun affinage : on aurait simplement transporté à la cathode les métaux qui se trouvaient à l'anode. Pour n'obtenir que du nickel, on a recours à un artifice. La cathode est entourée d'un cadre en toile à l'intérieur duquel arrive constamment une solution de sulfate de nickel pur. Grâce à la résistance au passage du liquide qu'offre la toile, le niveau à l'intérieur du cadre est légèrement supérieur au niveau de l'électrolyse qui, dans ces conditions, n'entre pas en contact avec la cathode. Cette dernière baigne donc constamment dans la solution de sulfate de nickel pur et les ions de nickel sont les seuls à pouvoir s'y déposer. En revanche, la solution se contamine à l'extérieur du cadre en toile et se charge en cuivre provenant de la dissolution de l'anode impure. Cette solution contaminée est pompée dans des réservoirs réchauffeurs qui la portent à une température d'environ 65°C : de là, elle est conduite dans des agitateurs où elle se régénère par cémentation du cuivre contenu sur du nickel en poudre, préparé spécialement par réduction au charbon de bois d'une certaine quantité d'oxyde de nickel moulu : le nickel monte en solution et le cuivre se précipite. C'est cette solution purifiée qui alimente les compartiments cathodiques. Entre temps, le fer est oxydé à l'état d'hydrate par soufflage dans la solution en circula-



FIG. 33. — Affinage électrolytique du nickel, Port Colborne (Canada).

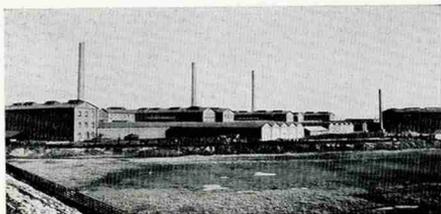


FIG. 34. — Vue de l'usine d'affinage de Clydach, Swansea (Pays de Galles).

tion qui est ensuite filtrée. Quand les cathodes ont atteint environ 55 kg., on les retire du bain, on les lave avec soin et on les cisaille en carrés, forme sous laquelle le nickel électrolytique est vendu aux Etats-Unis et au Canada : ce nickel est extrêmement pur et titre environ 99,9 %. Les métaux du groupe du platine existant dans les anodes primitives tombent au fond des bacs et sont recueillis dans les boues d'électrolyse pour être soumis à un premier traitement sur place : les concentrés ainsi obtenus, sont envoyés en Angleterre pour affinage définitif et séparation des métaux précieux, or, argent, platine, palladium, irridium, osmium, ruthénium, etc.

Affinage à l'usine de Clydach. — La Mond Nickel C^o, avant sa fusion avec l'International, affinait sa matte canadienne à Clydach, dans le Pays de Galles. Après la fusion entre les deux sociétés, l'usine de Clydach a été rajeunie et augmentée pour faire face d'une façon plus spéciale aux besoins en nickel de l'Europe. Le procédé employé est celui au nickel carbonyle, découvert par le Dr. Ludwig Mond en 1888.

A cette époque, le Dr. Mond, exécutant des recherches sur les poudres de blanchiment comme sous-produit de la fabrication de la soude par le procédé à l'ammoniaque, avait construit une petite usine dont certaines parties de la tuyauterie étaient faites en nickel. Il remarqua que les valves en nickel se détérioraient très rapidement et, en examinant le phénomène de plus près, il reconnut l'existence d'oxyde de carbone dans le gaz carbonique utilisé pour chasser tout l'ammoniaque de l'appareil ; il se rendit alors compte que cet oxyde de carbone attaquait le nickel pour former un composé facile à dissocier.

Le Dr. Ludwig Mond comprit tout le parti que l'on pouvait tirer de cette découverte pour l'affinage du nickel, mais c'est en vain qu'il chercha à négocier son brevet et il se décida,

à la fin du siècle dernier, à l'exploiter lui-même. La Mond Nickel C^o fut formée au mois de Septembre 1900 en vue de l'exploitation par le procédé Mond des mines canadiennes Victoria et Garson qu'elle venait d'acquérir : c'est à Clydach, près de Swansea, que fut montée l'usine de traitement.

Cette dernière comprit tout d'abord un water-jacket et un atelier de bessemerisation, mais bientôt la première fusion fut abandonnée à Clydach pour être concentrée au Canada sur la mine même : l'usine anglaise se consacra exclusivement à l'affinage de la matte déferrière. Cet affinage, après quelques difficultés de début, fut assez rapidement mis au point et bénéficia, au cours des trente dernières années, d'améliorations techniques importantes qui permettent aujourd'hui d'obtenir un métal extrêmement pur à un prix de revient très bas. Nous donnerons dans ses grandes lignes une rapide description du procédé actuellement employé à Clydach.

Avant la fusion de la Mond Nickel Company et de l'International Nickel C^o, on recevait à Clydach la matte de nickel sortant du convertisseur, matte contenant une forte proportion de cuivre. Après un grillage oxydant, le cuivre

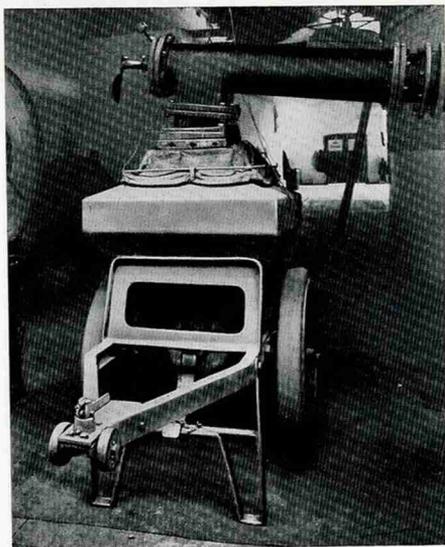


FIG. 35. — Déchargement de la matte grillée et pesage automatique à l'usine de Clydach.

était éliminé par un lavage à l'acide sulfurique. Le sulfate de cuivre produit était purifié et vendu sous forme de cristaux ou de bouillie bordelaise dans les pays de vignobles du bassin de la Méditerranée.

Aujourd'hui, toute la matte bessemerisée produite à Copper Cliff est, comme nous l'avons vu, traitée par le procédé Orford, et les seconds « bottoms », riches en nickel et pauvres en cuivre, constituent le point de départ de l'affinage à l'usine de la Mond Nickel Co. Ce sulfure de nickel est tout d'abord grillé dans des fours circulaires à sole tournante et brassé mécaniquement par des dents fixes en fonte qui divisent la couche de sulfure entraînée avec la sole. Bien que la combustion du soufre dégage une importante quantité de chaleur, il est nécessaire d'avoir un certain apport de chaleur extérieure, fournie par un gazogène.

Après grillage, le nickel est transformé en oxyde, de même que les traces de cuivre et de fer contenues. On procède alors à la réduction de ces oxydes dans des grands fours verticaux complètement étanches, construits par sections en fonte superposées, de deux mètres de diamètre environ. Ces fours sont portés à une température de 330 à 350° C par des gaz chauds parcourant une chambre verticale sur toute la hauteur du four. L'oxyde est introduit à la partie supérieure sur une sole en fonte, d'où un jeu de palettes le fait tomber à l'étage inférieur, et ainsi de suite : des gaz réducteurs provenant d'un gazogène parcourent le four en sens inverse et transforment l'oxyde en métal. En raison de la basse température de l'opération, c'est l'hydrogène bien plus que l'oxyde de carbone qui intervient, et on sait que, dans les

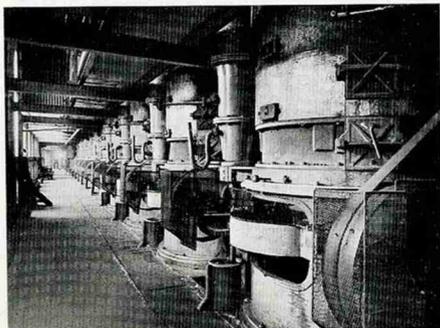


FIG. 36. — Volatiliseurs à l'usine de Clydach

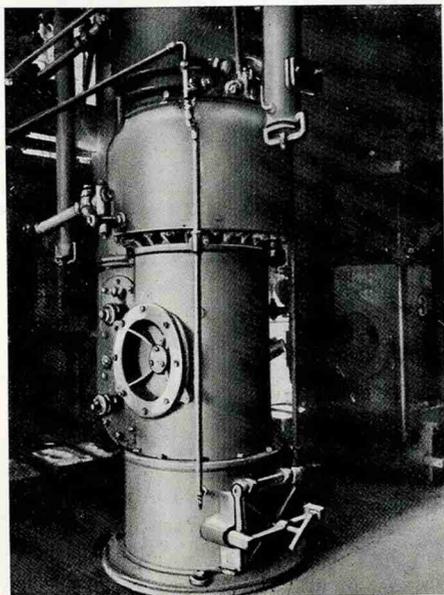


FIG. 37. — Décomposéur à l'usine de Clydach

réductions d'oxydes, l'hydrogène agit beaucoup plus rapidement et d'une façon plus complète.

La poussière métallique ainsi obtenue est mise en contact dans des appareils spéciaux en fonte parfaitement étanches appelés volatiliseurs, avec de l'oxyde de carbone à la température ordinaire. Le métal descend par gravité dans les tours des volatiliseurs alors que le gaz suit un parcours inverse. C'est dans ce contact intime que se produit du nickel carbonylé Ni (Co) 4, cas peut-être unique, d'un gaz s'unissant à un solide de grande densité pour former un autre gaz. C'est là l'intérêt tout particulier du procédé, de permettre une séparation, pour ainsi dire immédiate, du nickel, puisque le cuivre ne subit pas la même réaction et que le fer carbonylé ne se produit pas dans les mêmes conditions de traitement. En revanche, des précautions spéciales sont à prendre pour éviter toute fuite de gaz, l'oxyde de carbone et surtout le nickel carbonylé étant particulièrement dangereux à respirer.

Il ne reste plus, pour obtenir du nickel métallique sous forme marchande, qu'à décomposer

le nickel-carbonyle : cette opération se fait dans des appareils appelés décomposeurs dans lesquels on a introduit des petites grenailles très fines de nickel qui serviront de points de fixation au dépôt métallique. Le décomposeur est chauffé à une température d'environ 180° C

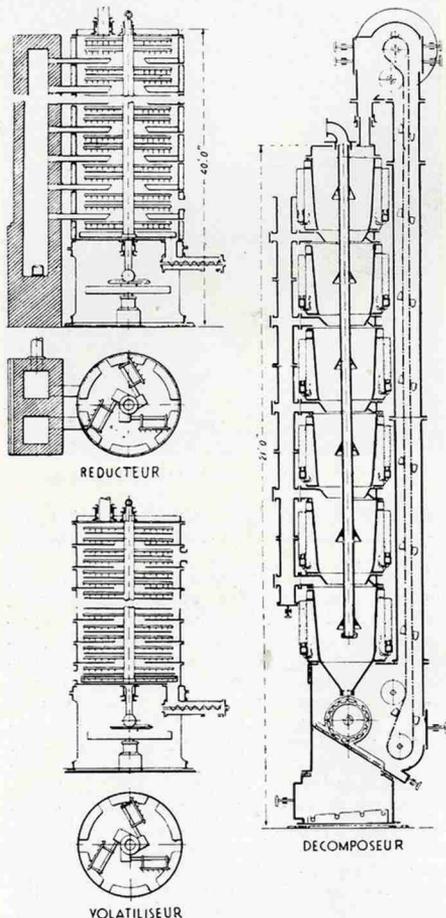


FIG. 38. — Schéma des appareils du procédé Mond.

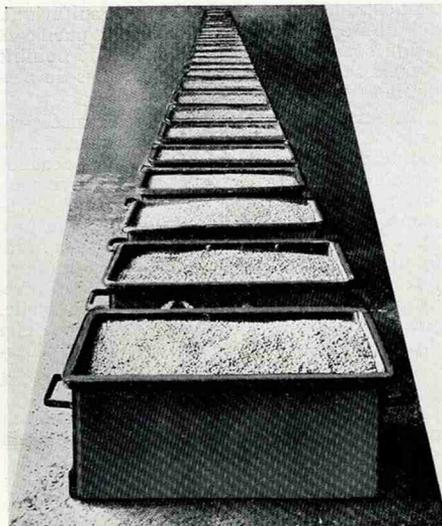


FIG. 39. — Le produit fini : billes de nickel Mond (99,7 à 99,9 %).

et à cette température le nickel-carbonyle se décompose donnant, d'une part, de l'oxyde de carbone, que l'on récupère et qui rentre dans le circuit, et, d'autre part, de la poussière de nickel : celle-ci se fixe sur les petites grenailles en perpétuelle rotation qui grossissent peu à peu et qui sont retirées de l'appareil à intervalles réguliers, sous forme de billes rondes de nickel brillant d'une très grande pureté.

En réalité, si le gaz carbonyle réagit immédiatement, en revanche, il n'enlève qu'une fraction du nickel contenu dans la poudre métallique : la partie restante en conserve une forte proportion. Elle est ou retraitée de la même façon ou, si elle contient trop de fer, refondue dans un petit cubilot dans lequel, par scorification, la majeure partie du fer est éliminée.

On obtient par le procédé Mond un métal titrant de 99,7 à 99,9 %, pour ainsi dire sans cobalt. Quant aux métaux précieux, on les retrouve dans les derniers résidus de fabrication qui, après concentration, sont expédiés à l'usine spéciale d'affinage de métaux précieux d'Acton, près de Londres.

CONCLUSION

Comme on l'a vu dans les pages qui précèdent, si, sans être connu, le nickel a été employé comme alliage dans les temps les plus reculés, il n'est entré dans la pratique industrielle que depuis une cinquantaine d'années environ. C'est donc un métal jeune qui, malgré

commun. Les minerais oxydés de Nouvelle-Calédonie n'ont pour ainsi dire aucun rapport avec les minerais sulfurés cuivre-nickel du Canada : les compositions sont tout à fait différentes ainsi que les méthodes d'extraction, puisque les premiers se travaillent à ciel ou

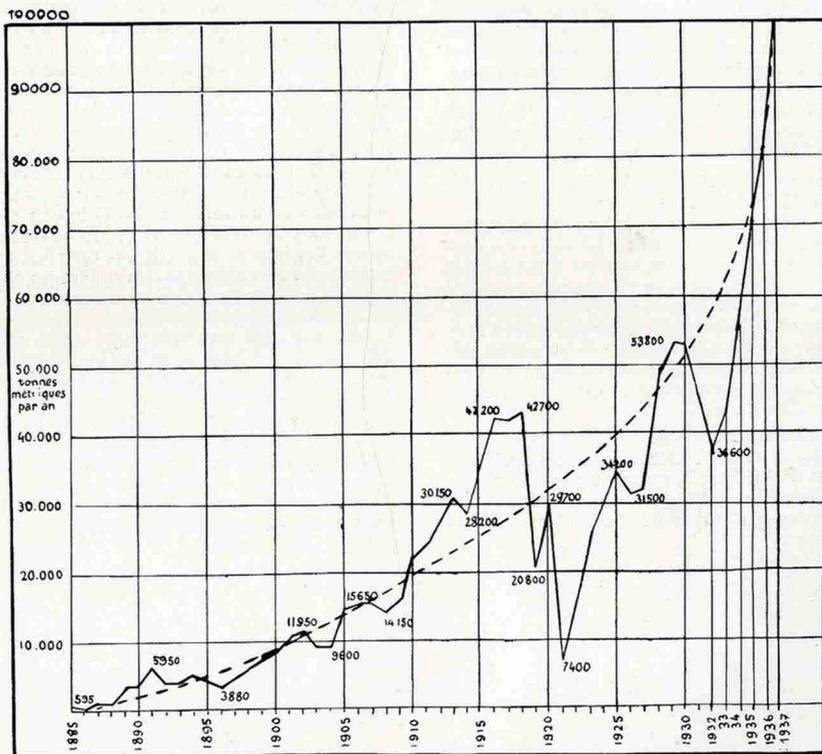


FIG. 40. — Production mondiale de nickel.

la place qu'il a prise dans la vie moderne n'a pas encore accompli sa destinée, et auquel un brillant avenir reste réservé.

Il offre cette particularité de donner des résultats tout à fait comparables, en partant de minerais entièrement différents soumis à des traitements métallurgiques qui n'ont rien de

vert et les autres en galeries. Quant au mode de traitement, la réduction sans fusion des minerais calédoniens est aussi différente que possible des procédés Stanley et Hybinette ; d'autre part, l'affinage du nickel-carbonyle de la Société Mond n'a, pour ainsi dire, pas un point de contact avec les autres procédés connus.

Pourtant, tous ces nickels, d'origines si diverses, donnent dans les applications industrielles des résultats identiques, et leurs prix de revient restent du même ordre. Cette « souplesse » du nickel à s'adapter à des méthodes de traitement les plus variées a été peut-être une des raisons de son succès.

La courbe de production mondiale ci-dessus montre l'extraordinaire développement de la consommation du nickel. Si on laisse de côté les chiffres très élevés de la période de guerre et les chiffres très bas des années de mévente qui l'ont suivie, on trouve une courbe régulière qui accuse en cinquante ans une augmentation considérable. De 500 tonnes environ en 1885, la production mondiale qui était de 30.000 tonnes à la veille de la guerre, atteint aujourd'hui plus de 100.000 tonnes par an.

L'examen de cette courbe fait ressortir le soudain fléchissement de la production immédiatement après la guerre et sa rapide remontée quelques années plus tard : c'est là la démonstration d'un *changement radical* dans le rôle joué par le nickel dans la vie moderne : métal essentiellement de guerre autrefois, et se trouvant par suite presque sans emploi après l'armistice, le nickel a su se créer de puissants débouchés dans les fabrications de paix : la rapidité de son développement montre que c'est là son domaine d'élection.

Cette remarquable extension des emplois du nickel est le fruit d'efforts à la fois systématiques et désintéressés, appuyés par une rigoureuse technique. Elle est en grande partie l'œuvre des « Centres d'Information du Nic-

kel » : l'histoire du nickel que nous avons cherché à résumer ici ne serait pas complète si nous ne disions pas un mot de ces organismes qui ont été créés successivement sur les divers continents dans le but de vivifier et d'étendre l'action du nickel dans les diverses industries.

Les principaux producteurs de nickel ont, en effet, pensé que la meilleure manière d'augmenter le volume de leurs ventes était de faire connaître les avantages que le nickel possède et qu'il confère à ses différents alliages. Mais pour qu'une pareille propagande fût féconde, il était indispensable de la confier à des organismes indépendants, n'ayant pas de soucis d'ordre commercial, et possédant les moyens de recherche et de vulgarisation nécessaires. C'est ainsi que des Centres d'Information ont été établis à New-York, Londres, Paris, Bruxelles, Franckfort, Milan et Tokio. A chacun d'eux sont attachés des ingénieurs faisant des recherches en laboratoire, contrôlant et adaptant aux conditions de leur pays les découvertes des autres Centres, et apportant le bénéfice de leur expérience aux usines les plus diverses, soit par voie de consultations écrites ou orales, soit par des études personnelles dans le cas où une solution originale doit être recherchée, soit par des visites sur places en usines. Complétant cette activité d'ordre technique, un service de documentation fait parvenir les périodiques et publications des Centres aux industriels et aux ingénieurs du pays, après classement méthodique par spécialité. Tous les services de ces Centres sont entièrement gratuits : ils ne comportent ni honoraires, ni frais de déplacement, ni frais d'abonnement.

DEUXIÈME PARTIE



MUSEE ULTIMHEAT®
ULTIMHEAT® MUSEUM

СІМВОЛІКА



MUSEE ULTIMHEAT®
ULTIMHEAT® MUSEUM

LE NICKEL DANS L'INDUSTRIE

Au cours des trente dernières années, les applications du nickel se sont multipliées pour ainsi dire dans tous les domaines industriels. On peut dire qu'à l'exception du fer, c'est le nickel qui est le plus répandu, en quantités plus ou moins importantes, dans toutes les industries de la vie moderne: si la consommation annuelle du nickel est inférieure à celle du cuivre, de nombreuses et importantes industries n'utilisent pas de cuivre dans leur outillage, mais presque toutes, dans une partie ou l'autre de leurs fabrications, utilisent des alliages de nickel.

La présente étude donne la liste des alliages industriels de nickel, un aperçu de leurs utilisations dans un certain nombre d'industries clefs, et, pour finir, une note sur les différents alliages de nickel à recommander dans les principaux cas de corrosions.

**TABLEAU
DES PRINCIPAUX ALLIAGES INDUSTRIELS DE NICKEL**

ALLIAGES	PROPRIÉTÉS CARACTÉRISTIQUES	APPLICATIONS PRATIQUES
<i>Nickel pur</i> (100 % Ni)	Résistance à la corrosion par les agents atmosphériques, les bases et de nombreux acides organiques. Point de fusion élevé. Hautes propriétés mécaniques. Facilité de travail: laminage, emboutissage, étirage.	Appareils d'industrie chimique. Transport et manutention des alcalis. Fabrications où entrent en jeu les acides acétique, crésylique, citrique, tartrique, phénique, stéarique, l'acétone. Outillage de laboratoires. Pièces de compteurs d'eau. Instruments de chirurgie. Lampes de T.S.F. Industries alimentaire et laitière. Accumulateurs alcalins. Catalyse. Monnaies divisionnaires.
<i>Aciers au nickel-manganèse</i> 11-15 % Mn 1-4 % Ni 8-15 % Mn 6-10 % Ni	Haute résistance à l'usure. Bonne soudabilité. Bonne ductilité. Facilité d'étrirage. Amagnétisme et hautes propriétés mécaniques.	Couloir d'élevateurs. Baguettes de soudure. Fils. Frettes de rotors d'alternateurs.

ALLIAGES	PROPRIÉTÉS CARACTÉRISTIQUES	APPLICATIONS PRATIQUES
<p><i>Aciers de construction</i> (0,5 à 5 % Ni) (avec ou sans Cr. — Mn. — Mo).</p>	<p>Résilience plus élevée que dans les aciers au carbone pour la même limite élastique. Limite élastique et charge de rupture plus élevées à résilience égale. Plus grande facilité de trempe (diminution de la vitesse critique). Trempe à cœur des pièces épaisses.</p>	<p>Construction automobile et aéronautique; motocyclettes, locomotives, automotrices, matériel roulant. Tôles de blindage pour navires, coques. Canons et obus. Chaudières, tuyauterie et robinetterie pour vapeur surchauffée à haute pression. Machines électriques. Arbres de navires. Matériel de mines: cages et attelages. Dragues, excavateurs. Scieries, machines-outils. Matrices. Transmissions.</p>
<p><i>Acier nickel-chrome-molybdène</i> C = 0,10-0,20 Ni = 1,5-3,0 Mo = 0,1-0,5 Cr = 0,5-0,7</p>	<p>Acier à hautes caractéristiques mécaniques, soudable.</p>	<p>Constructions métalliques. Constructions navales.</p>
<p><i>Aciers au nickel-cuivre</i> C = 0,10-0,30 Ni = 0,5-3,0 Cu = 0,5-2,0</p>	<p>Acier soudable, emboutissable, résistant à la corrosion et présentant de bonnes caractéristiques mécaniques.</p>	<p>Tôles, profilés, tubes. Constructions métalliques et constructions navales.</p>
<p><i>Aciers à haute teneur en chrome et faible teneur en nickel</i> Ni = 2 Cr = 18</p>	<p>Moins résistants à la corrosion que les aciers 18/8, mais plus faciles à emboutir que les aciers à 17/18 % de chrome sans nickel.</p>	<p>Couverts de table, etc...</p>
<p><i>Aciers inoxydables</i> 8 % Nickel 18 % Chrome et leurs variantes (additions Ti, Nb, Mo, Tu, Mn, Cu, etc.)</p>	<p>Résistance aux agents atmosphériques, à l'acide sulfurique à froid, à l'acide nitrique bouillant, aux acides sulfureux et phosphoriques, aux acides sulfo-nitriques froids et dilués, aux acides organiques, etc. Structure austénitique ne durcissant pas par trempe, mais durcissant par travail à froid Bonnes propriétés mécaniques.</p>	<p>Décoration extérieure. Fabrication d'acide nitrique, explosifs, celluloid, simili-cuir, soie artificielle. Papier. Transport du lait par voie ferrée. Construction mécanique extra-légère, aviation, hydraviation, wagons de Chemins de Fer.</p>
<p><i>Alliages à haute teneur en nickel et molybdène</i> Ni, Mo, Fe plus Cr, Si, Al, Tu, Be, etc.</p>	<p>Résistance à l'acide chlorydrique concentré et chaud.</p>	<p>Paniers de décapage et pièces devant résister à l'acide chlorydrique.</p>
<p><i>Aciers à hautes teneur en nickel et en chrome</i> (Jusqu'à 30 % Ni Cr = 20-30 %)</p>	<p>Excellente tenue aux températures élevées.</p>	<p>Registres, récupérateurs, boîtes de recuit, cornues de distillation.</p>

ALLIAGES	PROPRIÉTÉS CARACTÉRISTIQUES	APPLICATIONS PRATIQUES
<p><i>Aciers moulés au nickel-chrome</i> (1 à 4 % Ni) (0 à 2 % Cr)</p>	<p>Propriétés mécaniques supérieures à celles de l'acier au carbone coulé: limite élastique et charge de rupture plus élevées avec un plus grand allongement, susceptibles encore d'amélioration par traitement thermique.</p>	<p>Croisements de voies ayant sur l'acier au manganèse l'avantage de pouvoir être soudés. Sabots de tracteurs. Mouton de forage. Blocs de matriçage. Engrenages.</p>
<p><i>Aciers inoxydables moulés</i></p>	<p>Mêmes propriétés anticorrosives que l'acier inoxydable laminé.</p>	<p>Hélices de navires. Bittes d'amarrage, etc... Industrie chimique.</p>
<p>Aciers à Aimants au Ni-Al Ni-Al-Co Ni-Ti et Ni-Co-Ti Ni = 15 à 30 Al = 10 à 15 Co = 15 à 30 Ti = 8 à 25</p>	<p>Force coercitive très élevée.</p>	<p>Aimants permanents.</p>
<p><i>Ferro-nickels</i> (Aciers au nickel ou au nickel-chrome avec teneur en nickel supérieure à 30 %)</p>	<p>Excellente résistance à chaud : A. T. V. (Ni = 34 %, Cr = 12 %). Dilatation linéaire nulle: Invar (Ni = 36 %). Dilatation égale à celle du platine: Platinite, et du verre: Dilver. Elasticité constante: Elinvar. Ferro-nickels à haute perméabilité dans les champs très faibles (45 à 50 % Ni). Alliages résistant aux basses températures. Perméabilité magnétique exceptionnellement élevée pour l'intensification des transmissions transocéaniques: Permalloy, Permax (78-80 % Ni). Grande résistance aux fortes pressions et hautes températures: B.T.G. (Ni = 60 %, Cr = 12 %, Tu = 2,5 %).</p>	<p>Ailettes de turbines dans les navires et centrales électriques. Géodésie, horlogerie. Entretoises de pistons d'automobiles en aluminium. Signaux de chemins de fer. Fabrication de lampes à incandescence. Spiraux de chronomètres. Tôles de transformateurs de T.S.F. et de transformateurs industriels. Industries des gaz liquéfiés. Fabrication des câbles sous-marins. Bobines de chargement à noyau en poudre comprimée à haute perméabilité pour lignes téléphoniques. Hydrogénation du charbon. Ammoniaque synthétique.</p>
<p><i>Alliages nickel-chrome avec ou sans fer pour résistances chauffantes</i> (Ni = 65 % Cr = 15 % Fe = 20 %) (Ni = 80 % Cr = 20 %)</p>	<p>Grande résistance électrique. Excellente tenue aux températures élevées.</p>	<p>Résistances chauffantes. Éléments de pyromètres. Rhéostats. Applications domestiques. Éléments chauffants pour fours. Boîtes de cémentation et de recuit. Pièces de four. Tubes et cornues pour industries chimiques. Appareils pour la céramique et la verrerie.</p>

ALLIAGES	PROPRIÉTÉS CARACTÉRISTIQUES	APPLICATIONS PRATIQUES
<p><i>FONTES</i> <i>Grises</i> (Ni = 0,5 à 4 %)</p> <p><i>Trempées</i> <i>en coquilles</i> (Ni = 2 à 5 %)</p> <p><i>Martensitiques</i> (Ni = 1 à 5 %)</p> <p><i>Austenitiques</i> Ni = 13 à 20 %</p>	<p>Disparition des points durs de cémentite; diminution de la trempe dans les angles et arêtes, en même temps qu'augmentation de la dureté Brinell.</p> <p>Dureté Brinell très élevée, fragilité diminuée.</p> <p>Fontes dures à l'état coulé, usinables après recuit, ou fontes douces de coulée durcies par trempe.</p> <p>Grande résistance à de nombreux agents corrosifs et à l'oxydation à haute température.</p>	<p>Cylindres d'automobiles, pistons, compresseurs, cylindres à vapeur, chemises de cylindres, segments, pompes, engrenages. Machines-outils. Moules de verrerie. Matrices d'emboutissage.</p> <p>Cylindres de laminoir à froid. Mâchoires de broyeurs et de concasseurs. Transporteurs mécaniques. Pompes pour liquides abrasifs.</p> <p>Chemises de cylindres de moteurs à explosion, automobiles, motocyclettes, Diesel. Engrenages et pignons.</p> <p>Raffinage des pétroles. Industrie chimique, Mines. Chemises de cylindres de moteurs à explosion. Cylindres de glaciers. Grilles de foyers, râbles mécaniques, supports de surchauffeurs, pièces de fours. Creusets pour bains de sels. Résistances électriques.</p>
<p><i>Cupro-nickels</i> (Ni = 15 à 50 %)</p>	<p>Couleur blanche et bonne résistance mécanique, avec une teneur suffisante en nickel.</p> <p>Résistance remarquable à la corrosion, particulièrement à l'eau de mer (Ni = 20 à 30 %).</p>	<p>Entretoises de foyers. Enveloppes de balles et plaqués divers. Monnaies de billon. Tubes de condenseurs. Thermo-couples et résistances de précision.</p>
<p><i>Monel</i> (1) (Ni = 67 %)</p>	<p>Résistance mécanique élevée: bonne ductilité, résistance remarquable à la corrosion.</p>	<p> Tubes de condenseurs. Distributeurs de vapeur. Ailette de turbines. Industrie chimique. Teinturerie. Installation de décapage. Industrie alimentaire. Arbres d'hélices et hélices pour navires. Pâte à papier. Industrie textile, Mines, Pétrole. Pointeaux de carburateurs. Matériel d'hôpital et de chirurgie. Installations sanitaires. Buanderies, Cuisines. Décoration métallique.</p>
<p><i>Cupro-nickel à l'aluminium</i> (Monel K) Ni = 68 Cu = 28 Al = 4</p>	<p>Alliages susceptibles de durcissement structural.</p>	<p>Pièces laminées et forgées à haute résistance mécanique et résistance à la corrosion élevée.</p>
<p><i>Cupro-nickels à l'étain et au silicium</i> <i>Platnam et Monel S</i> Sn = 4 à 16 Si = 3 à 4</p>	<p>Grande dureté obtenue par durcissement structural se conservant jusqu'à 450°.</p>	<p>Pièces coulées: Obturateurs à vapeur. Sièges de soupapes.</p>

(1) Marque déposée.

ALLIAGES	PROPRIÉTÉS CARACTÉRISTIQUES	APPLICATIONS PRATIQUES
<i>Mallechorts</i> (Ni = 6 à 30 %)	Couleur blanche, facilité de travail: laminage, étirage, emboutissage.	Orfèvrerie, quincaillerie, robinetterie. Résistances électriques. Décoration. Soudo-brasure blanche.
<i>Laitons au nickel</i>	Bonnes propriétés mécaniques; Bonne résistance à la corrosion.	Pièces en contact avec de la vapeur ou de l'eau de mer.
<i>Bronzes divers au nickel</i>	Bronzes à l'étain: grain plus fin et résistance améliorée aux essais de pression. Bronzes au plomb: solubilité augmentée du plomb dans les bronzes, et suppression des ségrégations. Bronzes d'aluminium: amélioration des propriétés mécaniques.	Graisseurs, injecteurs, aspirateurs, organes de compresseurs, soupapes et pièces soumises à l'action érosive et corrosive de la vapeur. Bronzes de frottement: coussinets. Garnitures de tiges de pistons. Pièces de forge. Frettes de rotors. Pièces de robinetterie pour vapeur surchauffée. Industrie chimique. Pièces de pompes. Sièges de soupapes pour moteurs à grande vitesse.
<i>Inconel</i> (1) (Ni = 80 % Cr = 14 % Fe = 6 %)	Résistance à la chaleur et à de nombreux agents corrosifs. Caractéristiques mécaniques élevées.	Collecteurs d'échappements. Gânes pour éléments chauffants Calrod. Pasteurisation et transport du lait. Manutention du vinaigre et des épices. Conserverie. Installations de vinification.
<i>Hastelloys</i> Alliages à hautes teneurs en nickel (55 à 85 %) contenant divers autres métaux (Mo, Fe, Cr, Tu, Si, Cu ou Al).	Résistance à l'acide chlorhydrique et à l'acide sulfurique à diverses concentrations.	Industrie chimique.
<i>Alliages légers au nickel</i> (Aluminium au nickel) Alliage Y. Alliages R. R.	Amélioration des propriétés mécaniques et de la tenue à chaud.	Pistons de moteurs d'aviation. Culasses de cylindres. Bielles et carters pour moteurs d'aviation et moteurs marins.
<i>Alliages précieux au nickel</i>	Alliages d'argent, couleur blanche dans les alliages économiques (500/1000**). Alliages d'or: couleur blanche imitant le platine.	Bijouterie. Pièces de monnaie d'argent. Bijouterie.
<i>Nickel-manganèse</i> (Mn = 4 %)	Résistance aux gaz oxydants chauds et légèrement sulfureux.	Electrodes de bougies d'allumage. Boulons d'ancrage de fours.
<i>Nickelage</i>	Nickelage rapide à forte densité de courant dans des bains chauds et agités. Nickelage brillant et semi-brillant. Anodes dépolarisées (1) se dissolvant régulièrement dans le bain.	Nickelage industriel, en particulier des pièces en série. Dépôts brillants sans avivage. Nickelage rapide dans les bains chauds pour l'obtention de dépôts adhérents et sans rugosités.

(1) Marque déposée.

PRINCIPAUX EMPLOIS INDUSTRIELS DU NICKEL ET DE SES ALLIAGES

On trouvera ci-dessous des exemples d'emplois du nickel pur, et d'aciers, de fontes et d'alliages non ferreux, dans les Chemins de Fer, automobiles, Aviation, industries minière et chimique, construction navale, travaux publics, etc. ; cet exposé n'est pas limitatif : il a pour but, en citant des utilisations confirmées par l'expérience, de montrer tout le parti que l'industrie en général peut tirer du nickel pur ou en alliage.

CHEMINS DE FER

Dans les chemins de fer, le nickel et ses alliages trouvent de larges débouchés dans la construction des locomotives, que celles-ci soient à vapeur, Diesel ou électriques. Ils sont également employés pour les voitures légères de voyageurs et ils commencent même à l'être, aux États-Unis, dans certains wagons de marchandises.

Aciers de construction forgés. — Dans la construction des locomotives, on trouve d'importantes applications d'aciers au nickel. Ces aciers, en effet, ne sont pas fragiles aux hautes températures de vapeur adoptées sur les locomotives modernes et ils supportent parfaitement les pressions élevées qui correspondent à ces températures. Ils permettent, pour un même coefficient de sécurité, un allègement par rapport aux aciers au carbone. Au Canada et aux États-Unis, de nombreuses locomotives ont leurs *viroles de corps de chaudières* en acier à 3 % de nickel, qui, avec 50 kgs. de charge de rupture, présente un allongement de 20 %. En Angleterre, plus de cinq cents locomotives ont leur chaudière en acier de même alliage. L'Allemagne a également des locomotives, soit en acier au nickel (5%), soit au nickel-chrome (type Löffler). Enfin, les récentes locomotives belges ont leur corps de chaudières en acier à 2 % de nickel. On trouve encore les aciers au nickel dans les *tubes*, les *entretoises*, etc.; toutefois, il semble que ce soit pour les corps de chaudières que son emploi soit le plus généralisé.

Les aciers au nickel, au nickel-chrome, au nickel-chrome-molybdène sont utilisés sous forme d'*organes de transmission* dans les locomotives à vapeur puissantes. On peut citer parmi ces organes : les *bielles motrices* et *bielles d'accouplement*, les *bielles de tiroirs* et de *coulisses*, les *glissières*, les *tiges de piston*, les *tourillons de manivelles*, etc.

Dans les locomotives à Diesel, dont le nombre croît sans cesse (automotrices, michelines, paulines, etc.), ces mêmes aciers se retrouvent dans les *vilebrequins*, les *bielles*, les *arbres et engrenages de boîtes de vitesses*, les *boulons de moteurs*, etc. Sur les locomotives électriques et les tramways, les *engrenages et pignons* sont également réalisés avec ces mêmes aciers. Leur intérêt dans la fabrication de ces divers organes est bien connu; il découle surtout de la haute limite élastique et de la bonne résilience qui peuvent être obtenues par un traitement thermique approprié. De plus, la pénétration de trempée de ces aciers au nickel et au nickel-chrome, très supérieure à celle des aciers au carbone, permet d'obtenir ces caractéristiques à cœur, même pour les pièces les plus massives.

On a aussi parfois recours aux aciers au nickel-chrome pour les *essieux coulés de locomotives*, pour les *bandages de roues* des locomotives soumises à de forts freinages. Dans ces cas, les aciers en question sont intéressants en raison de leurs excellentes résistances à la fatigue et à l'usure. En Amérique, on fait un large emploi sur les locomotives, et même sur les wagons, de *roulements à rouleaux* dont les parties vitales, *rouleaux* et chemins de roulement, sont en acier au nickel-molybdène.

Tout ce qui précède a trait aux locomotives, mais ce ne sont pas là les seules applications des aciers forgés au nickel dans les chemins de fer. Ces derniers sont de plus en plus utilisés dans la construction des voitures légères, dans lesquelles il est de toute nécessité de réduire le poids mort sans diminuer le coefficient de sécurité. C'est ainsi que ces aciers, sous forme de profilés, sont largement employés dans la construction des *voitures à étages* du réseau de l'Etat et dans les *châssis de bogies*, les *balanciers compensateurs de bogies* et les *triangles de freins* des nouvelles rames légères à trois voitures de la Compagnie du Nord. Ces mêmes

aciers servent à faire *diverses pièces d'attelages* dans les chemins de fer.

Il faut signaler que l'on commence à utiliser sur une grande échelle, aux Etats-Unis, les aciers semi-inoxydables soudables au nickel-cuivre dans la construction des *wagons de marchandises*, dans lesquels on cherche de plus en plus à réaliser une réduction notable du poids mort.

Il convient, enfin, de signaler une application récente mais susceptible de prendre un très grand développement : *les rails* en acier nickel-chrome-molybdène traité. Ces rails, qui sont utilisés dans les points où l'usure est la plus grande (courbes parcourues par des trains de grande vitesse — arrêts aux postes d'eau, etc.) ont la composition approximative suivante : C = 0,4 %, Ni = 1,5 %, Cr = 0,8 %, Mo = 0,2 %. Ils sont traités pour $R \geq 100$ kg., et du fait de leur grande dureté superficielle, on obtient une plus grande durée de service.

Aciers coulés. — En Amérique, où la technique de la construction ferroviaire est parfois très différente de celle à laquelle nous sommes accoutumés en Europe, les *châssis de locomotive* sont souvent en une seule pièce d'acier coulé pesant jusqu'à 20 tonnes. Lorsque les châssis ne sont pas d'une seule pièce, ils comportent des *longerons*, qui pèsent environ 6 tonnes et demie chacun. Les châssis et longerons en question sont généralement coulés en acier au nickel à bas carbone ou en acier au nickel-vanadium ou au nickel-molybdène-vanadium.

Parmi les autres pièces coulées en acier au nickel ou au nickel-chrome, utilisées dans la construction du matériel roulant des chemins de fer, on peut citer les *traverses de châssis*, les *attaches de tendeurs*, certains *bogies*, des *moyeux de roues*, etc.

Enfin, en dehors du matériel roulant, ces aciers moulés se rencontrent dans maintes pièces de voie pour lesquelles ils concurrencent fortement les aciers au manganèse : *aiguilles et pointes de cœurs, traversées*, etc. L'acier à 4 % de nickel, 1 à 1,5 % de chrome, 0,3 à 0,6 % de carbone résiste mieux aux chocs que l'acier à 13 % de manganèse et présente l'avantage de pouvoir se souder sans difficulté. On adopte aussi quelquefois les aciers au nickel ou au nickel-chrome, mais sous formes forgées, dans d'autres pièces telles que les *semelles et boulons de fixation des voies*.

Aciers inoxydables. — Ces aciers, dont le plus connu et le plus employé est l'acier à 18 %

de chrome et 8 % de nickel, sont aujourd'hui largement employés dans les chemins de fer.

Ils ont d'abord été utilisés pour leurs propriétés de résistance à la corrosion atmosphérique et leur aspect décoratif, soit dans le matériel roulant (*maîns-courantes, poignées, plaques de propreté*, etc.), ou dans les installations fixes des gares.

La technique de l'élaboration et du travail se perfectionnant, on songe à utiliser les remarquables propriétés mécaniques de ce métal qui, à l'état écroui possède une résistance supérieure à 100 kg./mm² avec un allongement de l'ordre de 20 %.

Cette haute résistance mécanique, ainsi que la mise au point des procédés de soudure par points, ont permis de construire des *voitures d'un poids mort très réduit*, ce qui les rend particulièrement intéressantes pour les longs trajets à grande vitesse, comme pour le service de banlieue où les arrêts successifs et rapprochés imposent de fortes accélérations.

Les premières voitures de ce type ont été construites en Amérique (procédé Budd), il y a quelques années déjà ; en France, la Compagnie des Chemins de Fer de l'Etat a commandé 20 *rames automotrices* de deux voitures de ce type ; les premières de ces rames viennent d'être mises en service.

Fontes au nickel. — Dans les locomotives à vapeur, les fontes perlitiques au nickel, qui ont une excellente résistance à l'usure, sont utilisées pour les *cylindres*, les *chemises de cylindres* et de *tiroirs*, les *fournures pour tables de tiroirs*, les *segments de pistons*, les *paliers et patins*, etc.

Dans le cas des automotrices à Diesel, les fontes au nickel du type perlitique et, depuis quelque temps, du type martensitique, servent à la coulée des chemises de cylindres. D'autre part, on emploie, de plus en plus, des fontes réfractaires au Ni-Cr. pour culasses, cylindres et pistons.

Alliages légers et alliages cuivre-nickel. — Ces alliages, genre « Y » et « R.R. », sont utilisés sous forme de *carters*, de *blocs-cylindres*, de *culasses* et de *pistons* dans les moteurs Diesel d'automotrices.

Certains bronzes au nickel servent à la coulée des *tiroirs plans* de locomotives à vapeur. Les maillechorts (alliages de nickel, cuivre et zinc) trouvent de larges emplois en tant qu'accessoires coulés (*serrures, supports de filets, poignées de portes, marque-places, ferrures d'accoudoirs, cendriers*, etc.) utilisés dans les

voitures de voyageurs. D'une façon générale, ces alliages sont intéressants en raison de leur belle couleur variant du rosé au jaune paille, suivant leur composition.

En Angleterre et en Allemagne, on utilise des tôles de foyer en cuivre, additionné de 2 % de nickel.

Certains cupro-nickels spéciaux se sont montrés supérieurs aux autres alliages industriels dans la fabrication des *clapets* et *sièges de clapets* de locomotives utilisant de la vapeur à forte surchauffe.

Enfin, dans les locomotives électriques on utilise les cupro-nickels à 45 %, dans les *résistances coulées* ou autres.

Monel. — Cet alliage trouve d'intéressantes applications dans les chemins de fer. Tout d'abord, il est employé conjointement à l'acier inoxydable dans la *décoration et l'installation des wagons-restaurants*. Un grand nombre de wagons-restaurants américains sont entièrement décorés en Monel; il est également utilisé dans l'installation des *cuisines de ces restaurants*.

Mais le Monel ne se trouve pas seulement dans la décoration : il sert dans la fabrication des pièces vitales de locomotives, par exemple dans les *entretoises de foyers*; en Angleterre ces entretoises sont employées de plus en plus. D'autre part, des types spéciaux de Monel, appelés « S » et « H » servent à fabriquer des *chemises pour pompes d'alimentation* de locomotives.

Nickel pur et nickelage. — Le nickel pur est employé sous forme d'*ustensiles de cuisine* dans les wagons-restaurants.

Les applications du nickelage dans les chemins de fer sont très nombreuses pour la *décoration* des voitures de voyageurs, wagons-restaurants et wagons-lits. Le développement du nickelage a amené récemment les Compagnies françaises de Chemins de fer à établir, pour les pièces nickelées, un Cahier des Charges qui impose une forte épaisseur de nickel, aussi bien pour le nickelage seul que pour le nickelage suivi de chromage.

Divers. — Les alliages à haute teneur en nickel, du type « Invar » ont trouvé, en raison de leur faible dilatabilité, une application particulière dans les chemins de fer sous forme de *fils de signalisation*, qui vont d'un bout à l'autre des trains, fils qui ne doivent pas changer de longueur lorsque la température varie même sensiblement.

Dans les appareils de signalisation, on trouve également des aimants en nickel aluminium.

Enfin, pour terminer, on peut mentionner les *batteries d'accumulateurs* électriques aux fer-nickel ou nickel-cadmium dans l'éclairage des trains.

AUTOMOBILE

Aciers de construction. — Ces aciers sont de plus en plus employés dans la construction automobile parce qu'ils permettent de donner une solution facile au problème fondamental : réduire le poids mort pour augmenter la charge utile. On peut dire que c'est dans la construction automobile que les aciers spéciaux de construction ont trouvé, au moins au début, leur principale application et que c'est de là qu'ils se sont développés dans les autres industries. Leur intérêt réside dans leur résilience plus élevée que celle des aciers ordinaires pour une limite élastique et une dureté données. Ces aciers possèdent aussi le grand avantage d'avoir une pénétration de trempe qui facilite considérablement le traitement thermique des pièces massives. Les principales pièces faites avec les aciers au nickel sont les suivantes : les *châssis, essieux avant et arrière, fusées de roues, roulements à billes, mécanismes de direction, leviers de braquage, vis et écrous de direction*, etc. Dans le moteur : les *vilebrequins et bielles*; dans la boîte de vitesse, les *engrenages*; dans le mécanisme de transmission : l'*arbre, les pignons et couronnes du différentiel, le carter du pont arrière*, etc.

Ces catégories d'aciers utilisées dans l'automobile sont très nombreuses, elles vont des aciers au nickel aux aciers au nickel-chrome-molybdène, ces derniers aciers étant de plus en plus employés pour la fabrication des pièces très résistantes et très tenaces. Ces aciers (C \leq 0,2 %, Ni = 2 à 5 %, Cr = 0,6 à 1,5 %) peuvent être du type de cémentation, ou du type ordinaire employé pour traitement thermique (C = 0,3 à 0,5 %, Ni = 1,5 à 3 %, Cr = 0,8 à 1,5 %) ou encore du type autotrempeant (C \geq 0,3 %, Ni > 3,5 %, Cr > 1,2).

L'emploi des aciers de construction au nickel dans les pièces ci-dessus ne se rencontre pas seulement dans la construction des voitures de tourisme mais aussi dans celle des *autobus, autocars* et des *véhicules industriels* de toute nature. A signaler à ce sujet que, dans certains pays, les constructeurs de *camions* et *camions-citernes* se sont récemment ralliés à l'emploi des aciers dits semi-inoxydables au nickel-cuivre.

Aciers inoxydables. — Ces aciers, dont le type le plus connu contient 8 % de nickel et 18 % de chrome, sont utilisés dans la décoration de certaines voitures sous forme de *calandres de radiateurs, enjoliveurs de roues, poignées de portes, ferrures diverses, etc.*

Récemment, on a sorti des autocars entièrement construits en tôles d'acier inoxydable assemblées par le procédé de soudure « par points » ; dans ces voitures, les *lavabos* sont également en acier inoxydable.

A côté de l'acier 18/8, il y a de nombreux types d'aciers de la même catégorie qui contiennent des proportions plus élevées de nickel, en même temps que du tungstène, du cobalt, etc., et résistent très bien à l'action corrosive des gaz d'échappement à températures élevées. On utilise de plus en plus ces aciers pour faire les *souppes* des moteurs d'automobiles poussés.

Fontes au nickel. — Les fontes au nickel sont adoptées, dans la construction automobile, depuis plus de dix ans. Les pièces qui sont actuellement coulées en fontes au nickel sont les suivantes : *blocs-cylindres, chemises de cylindres, segments de pistons, collecteurs d'échappement, sièges de soupapes, guides de soupapes, poussoirs de soupapes, tambours de freins.*

Les fontes utilisées sont de quatre types différents :

Fontes perlitiques, qui ont des caractéristiques supérieures à celles des fontes perlitiques ordinaires.

Fontes martensitiques, qui ont une grande dureté et conviennent pour les pièces devant avoir une grande résistance à l'usure : c'est grâce à la présence de nickel et autres éléments spéciaux que ces fontes peuvent présenter la structure à martensite après un traitement thermique qui permet d'obtenir une dureté élevée, soit à l'état brut de coulée, soit consécutif à l'usinage par trempe.

Fontes austénitiques, qui ont une grande résistance à la corrosion et à la chaleur et qui conviennent particulièrement bien aux pièces soumises à ces actions, telles que certaines *chemises de cylindres, les collecteurs d'échappement, etc.*

Fontes blanches au nickel, qui ont une extrême dureté et commencent à être utilisées pour les *sièges de soupapes sertis*.

Signalons que, depuis quelques années, on fait aux Etats-Unis des vilebrequins en fonte qui ont donné en service des résultats satisfaisants.

Alliages légers. — Certains alliages légers, par exemple ceux du type « Y » et « R.R. », contenant du nickel, servent au forgeage ou à la coulée de *pistons* et de *carlers*.

Un dispositif particulièrement intéressant a été mis au point récemment qui consiste, pour obtenir un jeu constant, à monter un piston d'alliage d'aluminium au nickel à bas coefficient de dilatation, dans un cylindre en fonte austénitique au nickel, à coefficient de dilatation élevé.

Alliages divers. — Le *Monel* est utilisé dans la décoration et les lavabos de certains *autocars de luxe*. Il l'est également, en raison de sa bonne résistance à la corrosion et à l'érosion à chaud, sous forme de sièges de soupapes d'échappement. D'autres cupro-nickels sont de plus en plus employés à la place du cuivre dans les joints métal-aimanté.

On a tiré parti de la non-dilatabilité des ferromnickels du type *Invar* pour faire, avec ces derniers, des *prisonniers noyés* dans les pistons d'alliages légers aux endroits où la dilatation serait nuisible.

Depuis peu, on utilise un tonnage relativement important d'alliages de nickel dans les *thermostats* qui servent à régler la température de l'eau du carburateur, des réchauffeurs d'eau, de l'huile, etc. Ces thermostats, encore limités en France aux voitures très perfectionnées, sont d'usage courant aux Etats-Unis et en Angleterre, où on les trouve dans toutes les voitures de tourisme.

Parmi les applications diverses du nickel, on peut encore citer les *alliages de frottement* au cuivre-plomb-nickel et nickel-cadmium, qui conviennent pour les *paliers* travaillant dans de dures conditions.

Des *accumulateurs* au nickel-cadmium sont utilisés pour les parcours auxiliaires et l'éclairage des autocars et autobus à trolley qui existent en grand nombre dans certains pays.

Nickelage. — De nombreuses parties de carrosseries d'automobiles sont nickelées. Dans toutes les parties chromées, le chrome est appliqué sur une sous-couche épaisse de nickel déposé électrolytiquement qui, seule, est capable de protéger le métal sous-jacent contre la corrosion.

AVIATION

Plus encore que dans le cas des autres moyens de transports (chemins de fer, automobile, marine), le problème de la réduction du poids mort est d'importance capitale en aviation. Mais il

ne faut pas croire que seul l'emploi des alliages légers permette des réductions convenables de poids ; les aciers à haute résistance sont aussi intéressants que les alliages légers pour diminuer le poids mort car, en raison de leur résistance mécanique élevée, ils permettent de réduire la section des pièces. En fait, ce qui importe, c'est la « résistance spécifique » des matériaux, c'est-à-dire le rapport de la résistance à la densité ; or, il se trouve que les aciers spéciaux modernes à caractéristiques mécaniques élevées sont quelquefois supérieurs aux alliages légers, quand la comparaison est faite sur la base de cette résistance spécifique.

A peu près tous les types d'alliages au nickel sont utilisés en aviation. Nous allons les passer succinctement en revue.

Aciers de construction. — Ces aciers trouvent en aviation deux sortes d'applications bien différentes : d'une part, dans les *moteurs d'avions*, d'autre part, dans la *construction aéronautique*, c'est-à-dire dans l'*ossature* des carlingues, *fuselages*, *ails*, etc. On peut dire que, dans la fabrication des moteurs, les aciers au nickel plus ou moins complexes se sont fait une place importante et définitive, alors que dans la construction proprement dite ils ne font que commencer à conquérir un terrain, sans cesse plus étendu.

Moteurs. — Il ne saurait être question de passer en revue les différentes compositions d'aciers adoptés, qui vont des aciers de cémentation à basse teneur, aux aciers auto-trempants en passant par les aciers de cémentation à haute teneur et les divers aciers à vitesse critique de trempe décroissante. Nous nous contenterons d'énumérer les principales pièces de moteurs faites avec ces aciers.

Ce sont, tout d'abord, les *boulons*, *goujons* et *axes* de toutes natures (de carters, culasses, pistons, etc.), puis les *arbres* tels que ceux des pompes et surtout les *arbres porte-hélices* y compris les *moyeux d'hélices*. Ce sont ensuite les *engrenages de réducteurs* et *démultiplicateurs*, de *ventilateurs*, de *compresseurs*, etc. Dans les organes de distribution, on emploie beaucoup d'aciers au nickel, au nickel-chrome à bonnes résistances à la rupture et à l'usure dans l'exécution des *arbres à cames*, *cames*, *poussoirs*, *galets de poussoirs*, *guides de tiges de soupapes*, *culbuteurs*, *soupapes d'admission*, *vis de réglage de soupapes*, etc.

Nous arrivons plus au cœur du moteur pour y trouver les applications les plus répandues des aciers au nickel-chrome et au nickel-chrome-

molybdène dans les *vilebrequins*, *bielles*, *embiellages*, *fournures de bielles*, etc. Souvent les *cylindres* eux-mêmes sont faits avec ces aciers et quelquefois même (moteurs américains « Murray Atlas » et Hudson Hawk ») les *carters* sont moulés en acier au nickel-chrome.

On voit, d'après cette énumération, le rôle important que les aciers au nickel jouent dans les moteurs d'avions. Précisons que ces aciers sont d'autant plus indispensables que les moteurs sont plus puissants et plus poussés ; par exemple, le plus grand avion de transport du monde, le *China Clipper*, de la Pan American Airways, qui réalise les liaisons transpacifiques et peut contenir 53 personnes, fait un très large emploi des aciers au nickel (moteur Pratt et Whitney « Wasp » avec vilebrequins, bielles, cames, engrenages, broches et pièces soumises à des efforts importants, en aciers au nickel).

Construction. — Dans certaines parties des aéronefs, l'application des aciers au nickel est tout à fait classique, par exemple dans les *mâts fuselés*, les *haubans* et *chapes de haubans*, les *ferrures d'attache de ces haubans* et autres éléments de voilure.

Dans les *trains d'atterrissage* également, l'emploi des aciers au nickel seul (à pourcentage relativement élevé : 6 %) ou des aciers plus complexes au nickel-chrome-molybdène est maintenant courant (essieux et trains proprement dits). Dans ces parties, les aciers en question sont retenus pour leur haute limite élastique et leur grande résistance au choc.

Enfin, on tend à utiliser de plus en plus dans les avions, des longerons d'ails, des charpentes de coques et fuselages en aciers au nickel-chrome autotrempants. Nous précisons bien toutes les possibilités que présentent ces aciers dans ce type d'emploi lorsque nous aurons rappelé que le Bréguet 27 « tout acier » avait été réalisé grâce à ces aciers.

Aciers inoxydables. — De même qu'en matière de chemins de fer on note une tendance vers la réalisation des trains « tout inoxydable », de même on s'oriente en construction aéronautique vers l'emploi sans cesse plus étendu des aciers 18/8 bien connus. Le premier avion amphibie de tourisme Budd « Pioneer », entièrement en acier inoxydable, est sorti depuis un certain nombre d'années déjà, mais le premier amphibie de transport, également tout en inoxydable, le « Sea Bird », vient d'être mis en service il y a quelques mois. La raison des progrès des aciers inoxydables se trouve, d'une part, dans les perfectionnements apportés dans

la production des tôles très minces qui ont une résistance très élevée par un écrouissage convenable et, d'autre part, dans la mise au point des procédés de soudure par points (Budd, Sciaky, etc...) qui permettent de réaliser des assemblages solides sans aucune altération de la résistance à la corrosion de l'acier.

On arrive à faire aujourd'hui des avions exclusivement en acier inoxydable. Les *poutres* et *longerons* qui constituent la charpente des fuselages et ailes sont chaudronnés en tôles rivées et soudées. Ces éléments chaudronnés ont une bonne résistance mécanique et, grâce à leur forme plus ou moins tubulaire, une rigidité suffisante. Les *nervures* et *cadres portetôles* sont faits en emboutis d'inoxidable assemblés, et la tôle constituant la carapace est fixée à la charpente constituée comme il vient d'être dit. Les accessoires de voilures : *mâts*, *haubans*, *ferrures*, etc..., sont eux aussi en acier inoxydable. Pour les autres parties des avions, on a recours aux aciers spéciaux de construction. Quand il s'agit d'hydravions, les *flotteurs* sont évidemment eux aussi en inoxydable; toutefois, on verra plus loin qu'on peut également les réaliser en Monel.

Enfin, les *collecteurs d'échappement*, qui doivent résister à l'oxydation aux températures élevées, sont souvent exécutés en acier 18/8.

L'intérêt des aciers inoxydables dans la construction des avions découle de leur résistance à la corrosion; cette résistance chimique n'est pas seulement utile dans les hydravions qui doivent résister à l'action de l'eau de mer et du brouillard salin, mais aussi dans les avions terrestres qui doivent voler dans les atmosphères de villes chargées de poussières et vapeurs souvent très corrosives.

Alliages à hautes teneurs en nickel. — La principale application de ces alliages est dans les *souppes* et *sièges de soupapes d'échappement* de moteurs. Ces soupapes, qui doivent résister à température élevée à l'action très corrosive des gaz d'échappement sont faites presque exclusivement aujourd'hui en austénites complexes qui contiennent 6 à 36 % de nickel avec des additions de silicium jusqu'à 3 %, de chrome jusqu'à 22 %, de tungstène jusqu'à 10 %, de cobalt jusqu'à 3 % et de molybdène jusqu'à 1 %.

Les alliages du type *Invar*, à très faible dilatabilité, sont utilisés sous forme de prisonniers dans des pistons ou des culasses d'alliages légers.

L'*Inconel* sert à faire des *collecteurs* et *pipes d'échappement*, des *silencieux pare-flammes*

et des *dispositifs de réchauffage*. Cet alliage est particulièrement intéressant pour ses résistances à la chaleur et à la corrosion et aussi pour son amagnétisme qui le rend apte à la fabrication d'appareils de bord placés à proximité des compas.

Les *bronzes au nickel* servent à fabriquer des *coussinets*, des *roues tangentés*, et les *bronzes d'aluminium au nickel* des guides de pièces mobiles.

Certains *cupro-nickels spéciaux à l'étain* et *au silicium* conviennent, en raison de leur grande dureté, pour faire des *sièges de soupapes*.

Les alliages d'aluminium des types « *R.R.* » et « *Y* » sont couramment utilisés pour faire des *carters*, *culasses* et *pistons* de moteurs d'aviation.

Monel. — Cet alliage trouve, pour ses bonnes propriétés mécaniques et sa résistance à la corrosion, un certain nombre d'emplois dans l'aviation: il convient pour construire des *réservoirs* d'eau, d'huile ou d'essence. Les *radiateurs* en Monel sont particulièrement intéressants en aviation. L'inoxidabilité du Monel est mise à profit dans la construction des *flotteurs* et surtout de *ballonnets*. Le Monel est également utilisé pour des *réservoirs* d'appareils producteurs de fumées, des *réservoirs* à insecticides pour arroser les récoltes du haut des avions, etc...

Le Monel S, alliage au silicium coulé, sert à faire des *chemises de cylindres*. — Le Monel K, à l'aluminium, qui acquiert des caractéristiques mécaniques très élevées par un traitement thermique convenable, convient, grâce à son amagnétisme, pour faire des parties d'*instruments de bords*, et des *postes automatiques de pilotage*, etc...

Nickel pur. — Le nickel pur est employé, concurrentement à l'*Inconel*, pour faire des *collecteurs d'échappement*: c'est ainsi que le Ministère de l'Air Belge l'a spécifié pour tous les collecteurs.

INDUSTRIE MINIÈRE

L'*acier au nickel* est officiellement recommandé par le *Comité Central des Houillères de France* pour les attelages de *cages de mines*, et un large emploi en est fait en France et en Belgique pour cette application. A la suite d'essais récents, cet organisme préconise pour les *griffes de parachute* un acier au nickel-chrome trempé à l'huile. Enfin, quelques charbonnages

ont mis en service des *cages* dont les principaux éléments sont en acier nickel-chrome. Il en est résulté une notable diminution du poids mort. Dans la construction des *skips*, les pièces les plus fortement sollicitées sont maintenant faites en acier nickel-chrome. Le gain total prévu grâce à l'emploi de ces skips est très élevé en raison de l'augmentation de rendement de l'installation et de sa plus longue durée. L'emploi d'acier au nickel, à hautes caractéristiques mécaniques, permettant d'obtenir la même sécurité avec des sections plus faibles, peut jouer un rôle extrêmement important dans des houillères, et même, dans certains cas spéciaux, être pour la mine un cas de vie ou de mort. Si, en effet, la machine d'extraction est suffisamment forte, l'allègement de poids, réalisé par l'emploi d'acier au nickel, permet d'augmenter le nombre de berlines ou les charges des skips. Dans le cas où la machine d'extraction se trouve à l'extrême utilisation de sa puissance et où il faut chercher le charbon à un étage inférieur, on peut, grâce à l'allègement de poids réalisé sur les cages et attelages, imposer à la machine d'extraction le poids d'un câble supplémentaire pour atteindre un niveau plus bas.

Des *chaînes sans soudure* en acier nickel-chrome demi-dur, obtenues par laminage d'un profilé cruciforme, sont depuis plusieurs mois en service dans une houillère française pour la suspension des cages.

Les aciers au nickel sont de plus en plus utilisés dans le matériel de roulage. Les *sabots d'engageurs* attaquent généralement les berlines par l'essieu : celui-ci se déforme, se fausse et se casse. Etant donné l'importance du problème de roulage et le capital considérable immobilisé que représente ce matériel, il est naturel qu'on ait cherché à en accroître la solidité en utilisant des aciers au nickel pour la construction des essieux. Signalons encore l'emploi d'*aciers moulés au nickel-chrome-molybdène*, tant pour des *roues de berlines et de locomotives*, que pour des *croisements de voies* au fond. De nombreux *essieux de berlines* dans les Mines de Charbon du Nord sont en acier à 6,5 % de nickel. Les *engrenages des locomotives* de mines sont souvent faits en acier nickel-chrome. Celui-ci est presque toujours employé dans la construction des *rotors de moteurs*, de *turbines à air* et de *hauveses* ripantes.

D'autre part, l'outillage pneumatique, qu'il s'agisse de *marteaux piqueurs*, *perforateurs* ou *bosseurs*, fait un large emploi des aciers au nickel. Grâce à ceux-ci, on a, dans la construc-

tion des treuils, considérablement réduit le poids et l'encombrement de ces engins. Ces aciers sont utilisés pour les engrenages, les arbres et les tambours. Enfin, certains *treuils* sont faits en grande partie en fonte au nickel.

Les aciers inoxydables et la fonte austénitique doivent à leur résistance à la corrosion d'être employés pour des *pompes d'exhaure*. En raison de sa belle tenue à la corrosion, l'*Inconel* est parfois employé pour les *aubages de pompes*.

Rappelons l'intérêt que présentent les alliages de nickel dans la *préparation mécanique des charbons et minerais*, qu'il s'agisse de broyeurs ou de *concasseurs à mâchoires* exécutés en fonte « Ni-Hard », ou des *presses à agglomérer* faites en acier au nickel. Les *chutes, couloirs, plaques de chargement* et de déchargement sont de plus en plus fréquemment faits en fonte « Ni-Hard » qui résiste remarquablement à l'abrasion. Notons l'emploi du Monel et du Monel K dans la construction des *pompes à schlanms et de reprise des eaux de lavage de charbon*. Dans les lavoirs, il est fait très souvent usage de *cribles* en Monel.

Le nickel entre, enfin, dans la construction des *accumulateurs alcalins*, les seuls employés dans les mines, soit pour la traction des locomotives, ou pour les lampes individuelles.

CONSTRUCTIONS NAVALES

Comme dans l'automobile et les chemins de fer, l'intérêt des alliages de nickel réside dans la possibilité qu'ils offrent de réduire le poids mort pour diminuer le coefficient de sécurité. Mais à cet avantage s'en ajoute un autre non moins important : l'excellente résistance à la corrosion par l'eau de mer d'un certain nombre d'alliages à teneur plus ou moins élevée en nickel, tels que le Monel et les aciers inoxydables.

Aciers au nickel de construction. — Ces aciers sont adoptés pour leur grande résistance mécanique sous des efforts statiques ou dynamiques. (On ne citera que pour mémoire, les aciers au nickel à haute résilience et à grande dureté pour blindages.)

Les aciers au nickel de construction sont utilisés pour faire des pièces mécaniques travaillant sous fortes charges, par exemple, des *engrenages de réduction*, des *arbres de roues à aubes*, des *arbres de couche*, des *arbres coudés*, des *vilebrequins de Diesel*, des *pales d'hélices*. Bien entendu, il s'agit le plus souvent d'aciers au nickel-chrome ou au nickel-chrome-molyb-

dène et ils ne sont utilisés qu'après traitement thermique convenable. On commence à adopter les aciers à 2,5 % de nickel dans la construction des *coques de navires* pour alléger ces dernières.

Les aciers complexes au nickel-chrome-molybdène sont de plus en plus employés dans la *boulonnerie pour conduites de vapeur surchauffée* en raison de leurs excellentes caractéristiques mécaniques à chaud. On utilise aussi les aciers à 5 % de nickel dans les *joint de dilatation*.

Pour montrer l'intérêt des aciers au nickel de construction nous citerons leurs principaux emplois dans le « Normandie » : les *collecteurs de chaudières* sont en acier forgé à 2 % de nickel, les *plaques tubulaires* sont en acier au nickel à 5 %, la *boulonnerie* est en acier au nickel-chrome-molybdène; l'acier demi-dur au nickel-chrome est employé pour les *arbres et frettes de moteurs synchrones*, etc.

Aciers inoxydables. — Les aciers inoxydables au nickel-chrome, surtout du type 18/8, sont intéressants dans la marine pour les *pièces qui doivent*, dans certains cas, *résister à l'eau de mer*. Ils sont adoptés pour faire des pièces utilitaires telles que des *haubans*, des *drisses*, des *serre-câbles*, des *bittes d'amarrage*, des *agrafes*, qui doivent être résistantes à la corrosion; mais, de plus, on fait appel à ces aciers pour exécuter des pièces ayant plutôt un but décoratif : c'est ainsi qu'on exécute avec ces aciers, la *lustrerie*, l'*ameublement des cabines* (couchettes, etc...) et des *fumoirs*, les *accessoires de ponts*, les *porte-manteaux*, *hublots*, *mains-courantes*, *plaques de propreté*, *accessoires de salles de bains et lavabos*, etc.

Dans le « Normandie », le nom du navire est inscrit en lettres d'acier inoxydable, qui montrent bien la résistance de cet alliage aux embruns et à l'atmosphère saline.

Fontes au nickel. — Certains types de fontes au nickel commencent à trouver d'intéressantes applications dans la marine.

Jusqu' alors, c'est surtout dans les moteurs Diesel marins (*cyndres*, *chemises*, *culasses*) et dans les *pompes* que ces fontes ont montré leur supériorité sur les fontes ordinaires : les chemises de Diesel sont faites en fonte perlitique ou martensitique au nickel; on a recours, de préférence, à la fonte austénitique, lorsque les pistons sont en alliage léger (la fonte austénitique a, en effet, un coefficient de dilatation à peu près égal à celui des alliages légers).

Les fontes austénitiques au nickel-cuivre-

chrome sont très utiles dans les *pompes à mazout* en raison de leur bonne résistance à la corrosion. Ces mêmes fontes sont adoptées, cette fois en raison de leurs qualités réfractaires, dans les *supports de tubes de surchauffeurs*. Des fontes austénitiques du type Nomag, au nickel-manganèse, sont employées dans les *carcasses de dynamos* pour leur aimantisme.

Dans les ports, l'emploi de la fonte austénitique au nickel-cuivre-chrome se développe dans les *installations de pompage pour la vidange des bassins de radoub* et pour la *mise des ferry boats* au niveau des docks (Douvres).

Alliages à haute teneur. — La principale application de ces alliages se trouve dans les *ailetages de turbines* travaillant en vapeur surchauffée, dans les *turbo-alternateurs* et *turbo-dynamos*. Dans ce cas, l'alliage ferreux le plus utilisé est l'A.T.V. qui contient 34 % de nickel et 12 % de chrome, le reste étant du fer.

Les alliages du type nickel-chrome, contenant le plus souvent 80 % de nickel, servent, sous forme de résistances chauffantes, particulièrement dans les cuisines.

Alliages légers. Alliages cuivreux. — L'alliage « Y » est assez largement utilisé pour faire des pistons de *moteurs Diesel marins*.

La principale application des alliages cuivreux se rencontre dans les *condenseurs* ou les *cupro-nickels*, et particulièrement celui à 30 % de nickel, se sont révélés comme les meilleurs alliages pour tubes de condenseurs. Le « Normandie », dans son condenseur auxiliaire, et le « Queen-Mary », par exemple, utilisent des tubes à 70 % de cuivre et 30 % de nickel. Les cupro-nickels trouvent également des emplois dans les *réservoirs d'essence*, les *vannes* et *raccords*, etc... Les cupro-nickels spéciaux à l'étain et au silicium servent à couler des *pièces de vannes* ayant une excellente résistance à la corrosion et à l'érosion.

Les bronzes et surtout les laitons au nickel sont utilisés dans la marine; ils servent en particulier à faire des *hélices* dont la résistance à la corrosion est supérieure à celle des autres alliages cuivreux. Ces alliages sont également adoptés, pour leurs bonnes caractéristiques mécaniques, dans la fabrication de pièces diverses soumises à des efforts. On peut citer également les *raccords de tubulures d'eau*, etc.

Les mailechorts trouvent de très nombreuses applications sous forme de *robinetterie de salles de bains* et *lavabos de paquebots*, également sous forme de *pièces de serrurerie* et *d'huissierie*.

Monel. — Cet alliage a des emplois extrêmement nombreux dans la marine. Nous allons en énumérer quelques-uns : *réservoirs d'eau douce et de provisions sur les canots de sauvetage, parois de frigidaires, arbres d'hélices, cales de chalutiers pour la conservation du poisson* (on emploie aussi des cales en nickel pur), *robinetterie, pompes d'alimentation, etc.*

Mais c'est dans les appareils de vapeur que le Monel trouve ses emplois les plus caractéristiques. On fait très fréquemment en Monel les *aubages de turbines* : la vapeur, même chargée de sel, est sans effet sur le Monel qui est à l'abri du phénomène de corrosion fissurante et conserve bien ses caractéristiques mécaniques aux températures élevées. Le Monel est employé pour *boulons, prisonniers, etc.*, dans les chaudières et surchauffeurs. Il est parfois utilisé sous forme de *tubes dans les réchauffeurs d'air*. Dans les conduites de vapeur, les *joints ondulés* et métalloplastiques sont souvent en Monel; ils sont de forme ondulée pour les basses pressions et striée pour les pressions élevées. Les *tiges de vannes* en Monel donnent d'excellents résultats. On fait également en Monel des *clapets et sièges de robinets à soupape*. Toutefois, les cupro-nickels spéciaux sont, dans cette application, des concurrents sérieux au Monel. Les *purgeurs de vapeurs* utilisent des *flotteurs, pointeaux, sièges* et différentes autres pièces en Monel; il est également adopté dans les *appareils de manœuvre et de régulation des turbines*, sous forme de *chemises, pistons et clapets*. On peut encore citer les parties suivantes des installations de vapeur qui sont réalisées en Monel : *collecteurs de condenseurs, diffuseurs, etc.*

Un type particulier de Monel, le Monel K, qui acquiert des caractéristiques mécaniques très élevées par traitement thermique, sert à faire des *douilles de frottement, des arbres de pompes centrifuges, des tiges de pompes alternatives, des coussinets de pompes d'alimentation, des arbres de turbines légères à grande vitesse, des arbres de rotors de moteurs électriques*, reliés directement aux pompes centrifuges d'incendie.

Une autre nuance du Monel, le Monel S, qui s'obtient à l'état de moulages prenant une grande dureté après traitement thermique, est utilisée dans la marine pour faire des *garnitures de soupapes, des buses de souffleurs de suie, etc.* Les cupro-nickels à l'étain sont maintenant largement employés pour *sièges de soupapes*. Ils résistent bien à l'érosion par la vapeur surchauffée.

Inconel. — Cet alliage de mise au point récente est intéressant pour ses caractéristiques mécaniques élevées et son excellente résistance à la corrosion par les saumures. Il est employé sous forme de *ressorts, de maillons* dans les mécanismes qui actionnent les vannes et aussi sous forme de *tiges de soutien* des garnissages réfractaires des chaudières.

Nickel pur et acier plaqué de nickel. — Aux Etats-Unis, le nickel pur et surtout l'acier plaqué de nickel sont utilisés pour faire des *cales de chalutiers* dans lesquelles le poisson peut être conservé. Il se trouve à l'abri du contact des bactéries qui existent inévitablement dans le bois des cales ordinaires. Ces cales représentent évidemment des frais élevés de première installation, mais elles sont d'un entretien facile et d'une durée indéfinie.

Toujours en raison de sa propreté et sa résistance à la corrosion par les denrées alimentaires, le nickel pur est largement employé dans les *appareils de réfrigération, les marmites et les cuiseurs* installés à bord des navires, etc..

Nickelage. — On trouve évidemment sur les paquebots des pièces nickelées courantes avec, toutefois, un dépôt épais, pour pouvoir résister à l'atmosphère saline. Nous n'insisterons pas sur ce point et signalerons simplement une application toute nouvelle du nickelage très épais (dépôt de l'ordre du millimètre et même plus dans certains cas) par le procédé « Fescol », en Angleterre, « Pival » et « Bozel-Malétra », en France — pour ne citer que les principaux — : le *revêtement des hélices marines* de fonte ou acier, afin de les rendre incorrodables, le *rechargement* de dents d'engrenages ou d'arbres détériorés, etc..

TRAVAUX PUBLICS

Dans la construction des barrages, ponts, routes et dans les travaux publics en général, on a de plus en plus recours aux alliages contenant du nickel. Les aciers et fontes au nickel, trouvent une multitude d'applications nouvelles dans les parties exigeant une grande résistance mécanique, alors que le Monel et les autres alliages résistant à la corrosion sont adoptés dans nombre d'emplois spéciaux.

Mentionnons, tout d'abord, les *aciers de construction au nickel* dans le *nouveau pont d'Oakland à San Francisco* où plus de 3.700 tonnes d'acier au nickel à 3,50 % ont été utilisées. Egalement aux Etats-Unis, les *ponts*

Queen's Borough et de Manhattan contiennent pour des portes respectives de 350 et 500 mètres, le premier : 6.000 tonnes, et le second : 8.000 tonnes d'acier au nickel. Le pont de Saint-Louis en contient 8.000 et le pont de Québec, à poutres cantilever, 16.000 tonnes d'acier au nickel pour une portée de 650 mètres.

En Belgique, à la passerelle suspendue de Salzines, on a remplacé les câbles par des chaînes de suspension en acier au nickel demi-dur contenant 2,60 % de nickel. Ces chaînes sont moins coûteuses que les câbles et, bien que le taux de travail soit le même, la sécurité est accrue en raison de l'absence des efforts secondaires difficilement calculables qui se produisent dans les câbles et de la facilité de contrôle de ce mode de suspension.

Mentionnons que sur les grandes dragues des ports, les axes sont souvent faits en acier au nickel. Les fontes au nickel sont, en raison de leur grande résistance à l'abrasion, utilisées pour la construction des pompes à béton.

Dans les pelles mécaniques on utilise de plus en plus des tambours de freins en fonte au nickel-chrome et au nickel-chrome-molybdène.

L'acier inoxydable et le Monel trouvent un large emploi dans les parties métalliques d'ouvrages d'art d'un entretien ou d'un contrôle difficile; citons les boulons en 18/8 des joints d'étanchéité sur les écluses suivantes qui se trouvent en Belgique : écluse de Wynegham, sur le canal Albert; écluse d'Hérenthals, sur la Nèthe; barrages et écluses sur la Sambre à Monceau, Marcinelle et Auvélais.

Ce métal a servi également à constituer des articulations à mouvement lent et intermittent constamment noyées, comme les axes de rotation de vannes-papillons existant à la base des portes. Ces vannes exécutent un quart de tour en cinq ou dix secondes, chaque fois qu'il y a lieu de remplir ou de vider le sas de l'écluse, soit par exemple une trentaine de fois par jour à l'écluse de Marcinelle, sur la Sambre. Les vannes en acier moulé ordinaire sont montées sur des axes en acier inoxydable : ces axes ont 60 mm. de diamètre et tournent sur des bagues également en acier inoxydable de 70 mm. de longueur; les vannes ferment une ouverture de 1,40 x 0,70 mètre et travaillent sous une chute qui reste inférieure à 2 m. 50. Aux barrages à grandes vannes, les articulations des clapets de hausse sont placées du côté aval des vannes, sous la nappe d'eau passant par-dessus les hausses; elles se trouvent dans une atmosphère saturée d'humidité par le brouillard de la chute d'eau et sont difficilement accessibles

pour le graissage. Des articulations de ce genre paraissent préférables à celles qui sont constituées par un axe en acier tournant dans une bague en bronze dont les surfaces frottantes sont sujettes à la corrosion électrolytique, surtout dans les eaux de rivières ou canaux traversant les régions industrielles.

On peut signaler qu'au barrage de Tygart-River, en Amérique, les vannes sont actionnées par 18 tiges en Monel K : ce sont les plus grosses pièces forgées qu'on ait réalisées jusqu'à ce jour en Monel K. Au Boulder Dam les grandes pièces de vannes sont en acier coulé à 1,5-2 % de nickel.

Citons encore l'emploi en grande quantité (1.200 tonnes) de l'acier inoxydable dans le barrage sur le Nil établi à Assouan : ce métal a servi à séparer divers éléments de la masse du béton de ce barrage de façon à faciliter le jeu élastique de ces éléments.

Enfin, dans un domaine se rapprochant de plus ou moins près des travaux publics, il faut citer les applications des aciers inoxydables dans le traitement des eaux vannes qui constitue, pour les fortes agglomérations urbaines, un problème sanitaire de la plus grande importance. On peut citer, comme installation la plus moderne, celle de la ville de Milwaukee (Etats-Unis) où l'on a fait un large usage d'aciers doublés de nickel et de Monel : plus de six cent millions de litres d'eau polluée sont traitées annuellement.

MACHINES-OUTILS ET OUTILLAGE

Les besoins de cette branche de l'industrie sont assez sévères, ce qui a conduit à employer de plus en plus des produits de qualité pouvant faire un long usage sans danger de rupture, et peu susceptibles d'usure. Les objets fabriqués avec une machine-outil dont les organes sont usés manquent de précision, ce qui, à notre époque d'interchangeabilité et de tolérances étroites, est un défaut capital; aussi les industries de l'outillage font-elles largement appel aux fontes et aux aciers spéciaux et notamment aux alliages présentant une déformation minimum au traitement, ou une grande résistance à l'usure.

L'acier nickel-chrome trempant à l'air est généralement utilisé pour des pièces de fortes sections soumises à de grands efforts et devant posséder des caractéristiques mécaniques élevées dans toute leur masse. C'est, par exemple,

le cas des *tiges de pilons et de marteaux pneumatiques*. On l'utilise également pour des *pièces de broyeurs à marteaux*; celles-ci sont soumises à des chocs répétés et doivent résister à l'abrasion par les matériaux broyés. Du fait, entre autres, de sa température de trempe relativement basse, cet acier se déforme peu au traitement. De plus, il est susceptible d'acquies une dureté relativement élevée. Il est donc largement utilisé pour la fabrication des *matrices de forgeage, d'emboutissage, poinçons et galets* pour le sertissage ou le profilage, etc...

Les aciers nickel-chrome demi-durs avec lesquels on peut obtenir, par un traitement thermique approprié, une gamme étendue de caractéristiques mécaniques, sont très employés pour des *poupées de tours, des leviers* de toutes natures, des *arbres de transmission, des matrices d'estampage à froid, des spirales de mandrins de tours, des corps d'outils* à mises rapportées.

Les aciers au Ni-Al ont trouvé récemment une application nouvelle dans les *aimants de mandrins automatiques* pour machines-outils.

L'emploi des aciers au nickel pour les *ciseaux à froid* a donné d'excellents résultats en Angleterre. Les lames de *scies à ruban* qui doivent posséder une grande limite élastique pour résister aux efforts alternés, et une dureté suffisante pour conserver leur affûtage sans fragilité, sont très souvent en acier à 0,7 % de carbone, 1,50 % de nickel et 0,25 % de chrome.

Signalons encore les *bêches, pelles, fourches* en acier nickel-chrome traité, qui sont peu fragiles et résistent très bien à l'usure. Nous mentionnerons également l'emploi des *pelles en acier inoxydable 18/8* dans l'industrie chimique pour la manutention de substances très corrosives.

Les aciers au nickel-chrome de cémentation sont employés pour les *mèches à bois* et les *fraiseuses à bois*.

Mentionnons aussi les *bouterolles* en acier nickel-chrome autotrempeant, les *scies et cisailles à chaud* en acier au nickel-chrome dur.

Les fontes au nickel sont utilisées pour la fabrication de pièces devant présenter un degré de poli très élevé, telles que *glissières, bancs de tours et de fraiseuses, des chariots porte-outils* de fraiseuses et de raboteuses, des *bâts de tours*.

Certaines formes de très grandes dimensions, servant à l'emboutissage des tôles de carrosserie, sont en fonte spéciale présentant une très grande dureté.

CYLINDRES DE LAMINOIRS - DÉCAPAGE

Laminaires. — On utilise des aciers spéciaux pour certaines phases de laminage.

Les *cylindres de blooming* destinés à transformer les lingots en blooms ou billettes, sont fréquemment exécutés en *acier dur au nickel-chrome-molybdène*. On utilise également pour des cylindres de blooming des alliages du genre « Adamite » dont la teneur en carbone est comprise entre 1,5 et 2,5 %, celle en chrome entre 0,8 et 1 % et celle en nickel entre 1 et 1,5 %. Ces cylindres coulés au four à réverbère subissent souvent un recuit avant usinage destiné à diminuer les tensions internes.

Dans la catégorie des cylindres à profilés, les *cylindres ébaucheurs* sont souvent en acier coulé ou forgé au nickel-chrome, contenant 2,5 % de nickel et 0,5 % de chrome.

Mais, de plus en plus, les *fontes spéciales* pour cylindres de laminaires se développent. Les fontes « Ni-Hard » (fontes blanches ou trempées en coquilles) contiennent 2 à 5 % de nickel et 0,5 à 2 % de chrome. Ayant un grain fin, de bonnes propriétés mécaniques et une grande dureté superficielle, elles permettent à l'état demi-dur un usinage facile des tourillons. Les cylindres en fonte « Ni-Hard » *demi-dure* conviennent particulièrement bien pour le *laminage à chaud* de l'acier et des métaux non ferreux. On a intérêt à maintenir constante la température superficielle des cylindres par arrosage à l'eau froide. Lorsque cela n'est pas possible, les fontes « Ni-Hard » sont encore avantageuses, car cette fonte est moins sujette à la formation de criques et à l'écaillage.

La fonte « Ni-Hard » *extra-dure* convient bien lorsque l'on veut obtenir un *excellent polissage*, en raison de la très grande dureté et du grain fin de cette fonte. Elle s'applique, par conséquent, plutôt aux cylindres de *laminaires à bandes, à feuillards, etc...*

Décapage. — La résistance du Monel aux solutions sulfuriques chaudes utilisées pour le *décapage des produits semi-finis* rend ce métal particulièrement intéressant pour toutes les opérations de décapage. On l'utilise pour faire des *supports de décapage, des chaînes convoyeuses, des paniers et crochets de décapage*. Les bains sont souvent surmontés de *hottes* qui, par l'intermédiaire de ventilateurs, ramassent les vapeurs acides et permettent leur dégagement à l'extérieur; des planches de Monel sont fréquemment utilisées pour cet usage. On peut également envisager, mais dans certaines

conditions et avec des précautions spéciales, son emploi dans le décapage à l'acide chlorhydrique.

INDUSTRIE CHIMIQUE

Les propriétés exigées d'un métal entrant dans la fabrication d'appareils pour l'industrie chimique sont très diverses. Non seulement ce métal — ou cet alliage — doit résister convenablement à la corrosion, mais il faut aussi que ses propriétés mécaniques lui permettent de supporter les efforts auxquels il sera soumis en service.

Dans la fabrication et le transport des *alcalis* tels que la *soude caustique*, il est indispensable qu'il n'y ait aucune contamination des produits par des impuretés nuisibles résultant, par exemple, du contact avec les matériaux utilisés dans la construction des appareils. Le nickel résiste parfaitement à l'attaque de tous les alcalis. En fait, la soude caustique, qui a été concentrée dans des *évaporateurs* en nickel pur, peut être produite avec une teneur en nickel très inférieure à deux dix millionnièmes; il n'est donc pas surprenant que le nickel soit largement employé dans les appareils de production et de transport des alcalis. Depuis quelques années, on a recours, dans de nombreux cas, à l'acier plaqué de nickel qui possède, côté nickel, la même résistance à la corrosion par les alcalis que le nickel pur et, dans son ensemble, la résistance mécanique de l'acier. Ce produit composite coûte moins cher que le nickel pur, d'où son intérêt dans la construction des appareils pour l'industrie chimique.

Outre la résistance à la corrosion, dans cette application particulière, la résistance à l'abrasion est un facteur important. Dans les évaporateurs de soude caustique, les tubes de chauffage sont soumis à une très forte abrasion. Pour résister à cette action, on utilise des *tubes de nickel* écroui ayant seulement subi un traitement à basse température qui ne diminue pas la résistance, mais supprime les tensions dues à l'étrépage. Quand on emploie des tubes en nickel, on utilise aussi généralement le même métal pour les *plaques tubulaires*. Cette pratique est à recommander car, lorsque les plaques sont en acier ou en fonte, il peut se produire une corrosion électrolytique au point de contact des deux métaux.

Le nickel n'est pas seulement utilisé dans la fabrication de la soude caustique, mais aussi dans de nombreuses industries qui emploient

des alcalis à un stade donné de leur procédé. Par exemple, dans la *fabrication du papier par la méthode au sulfate*.

Dans la *fabrication de la soie artificielle* par le procédé à l'acétate de cellulose, on emploie des tubes de nickel pour conduire les mélanges alcalins de l'endroit où ils sont élaborés jusqu'aux filières de filage.

Dans la fabrication de l'*ammoniaque synthétique* par fixation de l'azote de l'air, on utilise des corps de convertisseurs en nickel, en raison de la résistance de ce métal à l'action de l'ammoniaque.

Parmi les acides minéraux, l'acide chlorhydrique est un des plus difficiles à manipuler parce qu'il attaque plus ou moins tous les métaux, sauf les métaux précieux. Le nickel, bien que légèrement attaqué, est jusqu'ici un des plus intéressants parmi les métaux et alliages courants; ceci le fait utiliser dans les appareils de purification et de récupération du *tétrachlorure de carbone*, par exemple, qui, par hydrolyse, forme de l'acide chlorhydrique.

Le nickel sert à construire les *cornues* et les *chambres de réaction* pour la *préparation commerciale du chlorure d'aniline*. Il entre dans la fabrication des appareils qui sont appelés à être en contact avec l'*acide fluorhydrique*.

Le nickel est employé très largement dans les pièces exposées aux acides organiques. Nous verrons bon nombre de ces applications au chapitre des industries alimentaires.

L'*acide acétique* est certainement un de ceux qui offrent le plus de difficultés. Il intervient dans de nombreuses opérations chimiques, et un certain nombre de pièces d'appareils en contact avec cet acide sont faites en nickel : le nickel est utilisé dans la fabrication de l'acétate de cellulose.

Comme autres acides organiques traités dans des appareils en nickel, on peut citer les acides *citrique, tartrique, stéarique, phénique*.

Dans les produits pharmaceutiques où un grand degré de pureté est nécessaire, on utilise des *crystalliseurs*, des *réservoirs* et des *pompes centrifuges* en nickel pour la manipulation de l'*iodure de potassium*, du *lait de magnésie* et des *parfums*; on emploie des réservoirs en nickel dont la capacité peut aller jusqu'à 5 mètres cubes.

La plupart des métaux troublent les *émulsions photographiques* et sont à éviter dans la préparation des gélatines : le *nickel reste inattaqué* et trouve son emploi dans les tubes d'évaporateurs de ces mélanges.

Dans la préparation des *résines synthétiques*, on utilise des récipients à double enveloppe travaillant sous pression et munis d'agitateurs. Le nickel a, dans cette application, remplacé les autres métaux en raison de sa plus grande résistance mécanique et de sa bonne tenue à la corrosion ; de plus, il ne colore pas les résines.

Signalons, en passant, l'utilisation des alliages de nickel dans l'*industrie du gaz*.

En raison de sa résistance aux acides, le Monel est employé dans un grand nombre d'industries, particulièrement celles utilisant l'acide sulfurique. Le *décapage* fait largement appel aux propriétés du Monel.

Le Monel trouve un grand nombre d'utilisations dans la production de nombreux acides organiques et dans les appareils en contact avec ces acides, en particulier pour les *crystallisoirs d'acide citrique*.

Quand il s'agit d'obtenir des produits extrêmement purs, le Monel est, de même que le nickel, largement employé. Mentionnons, tout d'abord, la *fabrication des teintures* où l'on rencontre de nombreux appareils ou parties d'appareils en Monel : *revêtements intérieurs d'autoclaves, tuyaux de chauffage, agitateurs, arbres, etc.*

Parmi les produits qui ne doivent pas être altérés, on peut citer encore les *réactifs photographiques*. Bien que l'on emploie beaucoup le Monel et le nickel dans cette industrie, l'*Inconel* est certainement le plus indiqué grâce à son excellente résistance à la corrosion par les *solutions photographiques de fixation et de développement*. En effet, le dépôt d'argent qui se produit lors du fixation à l'hyposulfite s'accompagne de corrosion avec formation de piqûres au-dessous des dépôts adhérant faiblement à sa surface. L'*Inconel* est le seul des métaux sur lequel l'argent ne se dépose pas ; après rinçage des récipients, la surface de ce métal présente un aspect intact.

En distillerie, on utilise des *arbres* et des *rouets en Monel* pour des pompes à jus acidulés. Il a également remplacé le cuivre et le bronze pour les serpentins de chauffage employés dans la production des encres d'imprimerie.

En raison de leur résistance à de nombreux agents corrosifs, les *aciers inoxydables au nickel-chrome* ont été adoptés dans l'industrie chimique pour de nombreuses applications, en particulier de la *fabrication des autoclaves, filtres-presses, bassines d'évaporation, calendres, soupapes de pompes*, et, dans certains cas, dans la construction d'appareils chimiques complets.

Dans les nombreuses branches utilisant l'*acide nitrique* (fabrication des *explosifs*, du *celluloïd*, de la *soie artificielle*, du *papier*, du *caoutchouc*, *des teintures*, etc.) ces aciers austénitiques au nickel-chrome sont largement employés. Ils sont pratiquement *inattaquables par l'acide bouillant* aux teneurs comprises entre 30 et 70 % : c'est pourquoi, outre les applications ci-dessus, on les retrouve dans le procédé de *transformation d'ammoniac en acide nitrique par oxydation*.

Par suite de leur bonne tenue aux *solutions de sulfites*, les aciers austénitiques au nickel-chrome se rencontrent dans la *fabrication du papier*, les *industries de teinturerie*, de la *brasserie* et dans les récipients à sulfite des usines productrices de *cellulose*. Enfin, ces mêmes aciers jouent un rôle particulièrement utile dans l'*hydrogénation du charbon* par le procédé Bergius où il est nécessaire d'avoir un métal résistant à la pénétration intercrystalline des gaz : dans ce procédé, le gaz est soumis à l'action de l'hydrogène comprimé sous des pressions allant jusqu'à 200 atmosphères à des températures atteignant 500°.

À côté des aciers austénitiques, les *fontes austénitiques* trouvent également des débouchés dans l'industrie chimique sous forme de corps de *pompes*, de *vannes*, etc... Les fontes perlitiques elles-mêmes, contenant de faibles quantités de nickel, sont couramment utilisées pour *bacs à soude*, dont la durée en service se trouve beaucoup augmentée.

INDUSTRIES ÉLECTRIQUES

Les alliages de nickel trouvent deux sortes d'applications bien différentes dans ces industries : 1° celles où sont mises à profit les caractéristiques électriques ou magnétiques des alliages ; 2° celles où ils sont utilisés, en raison de leurs bonnes caractéristiques mécaniques, ou de leur résistance élevée à la corrosion, dans la construction des appareillages ou centrales électriques. Nous ne traiterons que des premières ici, nous contentant de rappeler, comme nous l'avons déjà exposé, que les secondes comportent surtout l'emploi des aciers au nickel à haute résistance mécanique pour la construction des turbo-alternateurs, l'utilisation de l'acier A.T.V. et du Monel dans les centrales, sous forme d'ailettes, et du Monel pour les joints d'étanchéité, les vannes, les soupapes, les tiges de pompes, etc. Nous mentionnerons aussi, en passant, que les fontes au nickel telles

que la « Ni-Resist » et la « Ni-Hard » commencent à trouver des débouchés dans les centrales électriques, la première en raison de sa résistance à la corrosion (vannes), la seconde pour son excellente résistance à l'usure (broyeurs et transporteurs de cendres).

Nous allons passer en revue les alliages de nickel à propriétés électriques ou magnétiques spéciales, en suivant autant que possible l'ordre adopté en traitant des autres industries.

Aciers. — Les aciers de construction au nickel et les aciers inoxydables n'ont pas de caractéristiques électriques spéciales. Toutefois, les aciers 18/8 sont amagnétiques, tout au moins tant qu'ils ne sont pas trop écrouis, et ont une résistivité relativement élevée, ce qui les fait utiliser pour fabriquer certaines résistances de démarrage pour moteurs de traction; leur tenue à la corrosion et leur non-fragilité sont alors des avantages.

L'acier austénitique au nickel et, surtout, au nickel-manganèse, est souvent adopté pour les frettes de rotors d'alternateurs, en raison de son amagnétisme joint à des caractéristiques magnétiques très élevées ($E = 140 \text{ kg.}$).

Les aciers à aimants permanents sont de différents types : au Ni-Al (Ni = 10 à 40 %, Al = 5 à 20 %), au Ni-Al-Co (Ni = 20 %, Al = 10 %, Co = 10 %), au Ni-Co-Ti (Ni = 10 à 25 %, Co = 15 à 30 %, Ti = 8 à 25 %), au Ni-Ti (Ni = 10 à 25 %, Ti = 8 à 25 %), etc...

Fontes. — Il existe deux types de fontes au nickel qui sont utilisés dans la construction électrique :

Fonte « Nomag » qui contient 5 % de manganèse et 10 % de nickel ;

Fonte « Ni-Resist » qui contient 6 % de cuivre, 14 % de nickel et 2 % de chrome.

Ces fontes à structure austénitique sont amagnétiques et ont une résistivité élevée (de l'ordre de 140 microhms/cm²/cm). La seconde est plus intéressante que la première quand la corrosion entre en ligne de compte. Ces fontes servent à faire des résistances et des pièces diverses placées dans des champs alternatifs.

Alliages à haute teneur en nickel. — De nombreux alliages entrant dans cette catégorie sont des plus intéressants pour les industries électriques.

Alliages nickel-chrome et nickel-chrome-fer. — Le plus connu et le meilleur des alliages nickel-chrome est le 80/20, contenant 80 % de

nickel et 20 % de chrome, dont l'emploi est absolument général dans la fabrication des résistances électriques utilisées dans les appareils de chauffage électrique, allant du simple fer à repasser aux gros fours métallurgiques de traitement thermique. Les résistances en 80/20 peuvent fonctionner normalement à 1050°C. Quand elles sont utilisées à l'abri de l'air sur des supports spéciaux, elles peuvent travailler à des températures allant jusqu'à 1200°C. Les alliages de nickel-chrome sont employés pour faire des résistances, sous forme de fils, bandes et moulagés.

Lorsque les conditions de service sont moins sévères, on peut avoir recours aux alliages de nickel-chrome-fer qui sont moins coûteux que les précédents. Ils répondent en général à la composition suivante : Ni = 65 %, Cr = 15 %, Fe = 20 %. Ils peuvent travailler normalement jusqu'à 900° et, sur un support spécial, ils peuvent être employés jusqu'à 1100°.

L'alliage « Inconel », qui contient 80 % de nickel, 14 % de chrome et 6 % de fer, est surtout employé pour constituer les enveloppes protectrices de corps de chauffe utilisant des résistances en alliage nickel-chrome 80/20.

Ferro-nickels. — Les ferro-nickels ont des propriétés magnétiques particulièrement intéressantes. D'autre part, ces mêmes alliages ont des caractéristiques de dilatabilité très curieuses : certains d'entre eux (Ni = 36 %) ont une dilatabilité pratiquement nulle (Invar), d'autres, au contraire, une dilatabilité très élevée. Ces caractéristiques sont mises à profit dans les bilames utilisées dans les thermostats électriques dont l'emploi se développe de plus en plus dans tous les domaines de l'activité humaine.

Le ferro-nickel contenant 50 % de nickel et 50 % de fer est utilisé dans les transformateurs téléphoniques et de T.S.F., les relais ultra-rapides, les appareils de mesure, la protection magnétique des appareils sensibles, les écrans protecteurs, les appareils d'élimination des parasites en T.S.F.

Les ferro-nickels à 78 % de nickel et 22 % de fer sont largement utilisés pour le chargement des câbles sous-marins et des lignes téléphoniques.

Certains ferro-nickels (Dilver) dont la teneur en nickel est voisine de 30 % sont adoptés comme alliages de scellement avec le verre pour faire des lampes de T.S.F., parce que ces alliages ont le même coefficient de dilatation que le verre.

Alliages complexes. — Parmi les alliages complexes utilisés dans les industries électriques, on peut citer les suivants :

Le « Fernico » contenant 54 % de fer, 28 % de nickel et 18 % de cobalt, qui a également le même coefficient de dilatation que le verre, auquel il peut être scellé dans la fabrication des lampes de T.S.F. ou autres tubes thermo-ioniques.

Le « Konel », dont la composition est : Ni = 70 %, Co = 19,5 %, Ti = 2,8 %, qui est employé pour les anodes à oxydes dans les valves de T.S.F.

L'« Alumel » (Ni 94 % — Al 2 %) qui sert comme élément de couples thermo-électriques.

D'autres alliages, sans noms spéciaux, font encore partie de la présente classe des matériaux à haute teneur en nickel. Citons, par exemple, l'alliage contenant Ni = 50 %, Fe = 45 %, W = 5 %, employé comme support de parties chaudes en T.S.F.; l'alliage à 95 % de nickel et 5 % de manganèse couramment utilisé pour faire des électrodes de bougies.

Alliages cuivreux. — Plusieurs catégories de ces alliages sont utilisées dans les industries électriques, les principales sont :

Maillechorts. — Ce sont des alliages de cuivre, nickel et zinc dont la teneur en cuivre est généralement de 60 %, le pourcentage de nickel s'échelonne entre 5 et 30 % et le reste étant du zinc.

Ces alliages sont surtout utilisés sous forme de fils de rhéostats en raison de leur résistivité élevée et leur résistance à l'oxydation à des températures moyennes. Ils servent également à faire des ressorts et diverses autres pièces de téléphones automatiques.

Cupro-nickels. — Ces alliages dont les types les plus connus sont le « Constantan », l'« Euréka », le « Ferry », contiennent environ 50 % de nickel. Ils sont utilisés dans les rhéostats parce qu'ils ont à la fois une résistivité élevée et un très faible coefficient de variation de résistivité, en fonction de la température.

Un cupro plus complexe, le « Manganin », qui contient 4 % de nickel et 12 % de manganèse est également très employé dans les rhéostats.

A côté des cupro-nickels indiqués ci-dessus, on peut citer celui à 10 % de Ni qui est utilisé pour faire des anneaux de frottement dans les moteurs à charbon et balais.

Monel. — Le Monel n'est pas utilisé pour ses caractéristiques magnétiques ou électriques, mais il est employé sous forme de boulons et

vis d'appareillages électriques extérieurs (disjoncteurs, transformateurs, etc.) et également sous forme de câbles, tresses, fiches de contact, de gaines de thermostats, etc., dans les appareils électro-domestiques, etc...

Nickel pur. — Le nickel pur est très largement utilisé en fil et bande pour la fabrication des lampes de T.S.F. en verre ou en métal. Certaines anodes de ces lampes sont en nickel carboné. D'autre part, on fait des cathodes à chauffage indirect en nickel dégazé recouvert d'une couche d'oxydes alcalino-terreux.

A la suite des travaux du métallurgiste japonais Mishima, on a mis au point des alliages contenant environ 20 % de nickel, 12 % d'aluminium et 3,5 % de cobalt qui permettent de fabriquer les aimants permanents les plus puissants que l'on connaisse actuellement. Ces aimants trouvent de très nombreuses applications dans les haut-parleurs, les microphones, les magnétos à haute tension, les galvanomètres sensibles, les appareils de mesure, les embrayages magnétiques, etc.

Mentionnons, enfin, l'emploi du nickel dans les accumulateurs alcalins ; il en existe deux types : ceux au nickel-fer et ceux au nickel-cadmium. Ces derniers sont aujourd'hui les plus utilisés, ils servent dans les batteries fixes et mobiles. 40 % des autobus parisiens sont équipés avec ces accumulateurs. On les emploie aussi sur les locomotives Diesel électriques, dans les lampes de mineurs, etc.

PETROLE

L'extraction et le raffinage du pétrole exigent l'emploi de matériaux de haute qualité dans presque tous les détails d'installation. En raffinerie, il faut, en effet, réunir une grande stabilité chimique dans les milieux corrosifs les plus divers et des propriétés mécaniques supérieures, dans les conditions les plus défavorables de température et de pression. C'est pourquoi le raffinage offre un considérable champ à l'emploi de nombreux alliages de nickel.

La production du pétrole brut ne pose pas moins de problèmes et à l'heure actuelle où l'on fore couramment des puits de pétrole de 2.000 et 2.500 mètres de profondeur, il est indispensable de recourir aux aciers spéciaux pour les outils de forage qui doivent résister à une abrasion intense, à la torsion, au cisaillement et aux chocs.

Les outils de forage, carottage, alésage sont en acier moulé à 1,5-2 % de nickel ; les cou-

teaux sont en acier forgé à 3-4 % de nickel. Pour les *tiges de sondages* qui doivent surtout résister à la torsion, on emploie un acier à 1-1,5 % de nickel. Le plus souvent, d'autres éléments : chrome, molybdène, etc., sont ajoutés au nickel. Il en est de même pour les *coupe-tubes, outils de repêchage, manchons d'accouplement* des tiges.

La méthode moderne de sondage par injection d'eau se complique dès qu'on atteint de très grandes profondeurs, car la pression sous laquelle travaille la pompe augmente rapidement ; outre cet effort de pression, la pompe est soumise à une abrasion par le sable et les débris terreux. Les *tiges de pistons* sont en acier contenant 1,5 à 3 % de nickel ; ce même acier étant utilisé pour le *chemisage* des cylindres. Les corps et sièges de *clapets* sont également en acier au nickel.

La fonte à 1,5-2 % de nickel, coulée par centrifugation et traitée thermiquement, est de plus en plus utilisée pour des *cylindres* ou des corps de *pompes d'injection*.

Au cours du pompage de l'huile, apparaît un phénomène de fatigue sous corrosion qui détériore peu à peu les installations. Alors que dans la saumure des puits saturés d'hydrogène sulfuré, la limite de fatigue d'un acier au manganèse tombe au 1/5^e, de sa valeur dans l'air, *cette limite n'est réduite que de moitié quand il s'agit d'acier contenant de 1,75 à 3,50 % de nickel*. Ceci explique l'utilisation croissante de ces alliages dans la fabrication des *tiges de pompage* des puits de pétrole.

En raffinerie, les alliages de nickel n'occupent pas une moindre place. Le problème le plus important est celui des *tubes de cracking*. Pour ceux-ci, l'acier inoxydable 18/8 est à peu près universellement employé. D'autre part, un large emploi de ce même acier est fait pour des tuyauteries fonctionnant sous pression et haute température en cours des opérations de distillation et de cracking. Enfin, c'est ce même acier qui s'est révélé supérieur à tous les autres pour les *gaines de thermo-couples* destinés au contrôle de la température des fours.

Dans les fours, les aciers réfractaires contenant 25 % de chrome et 12 % de nickel sont à peu près les seuls employés pour la fabrication des *supports de faisceaux* tubulaires.

La fonte austénitique se répand de plus en plus dans la fabrication des plateaux et cloches de fractionnement, pour les *corps de pompes à huile chaude, les calandres de condenseurs, les compresseurs, les vannes à boues acides*. Les *tiges de pompes* en Monel K et les

vannes en Monel sont aussi très employées, que ce soit pour manipuler des essences froides ou des huiles.

Le Monel et le nickel pur tendent de plus en plus à remplacer le bronze dans les garnitures de réservoirs à huiles sulfonées.

Le chemisage en Monel ou en acier inoxydable des chambres de réaction et des tours de fractionnement fait également de très grands progrès. Enfin, la plaque bi-métallique, l'acier plaqué de nickel en particulier, se développe rapidement en Amérique.

Mentionnons, enfin, l'utilisation des aciers au nickel, du fait de leur *bonne résilience à basses températures*, pour la construction des grands récipients de déparaffinage qui doivent travailler sous des pressions élevées et à des températures pouvant descendre jusqu'à -70°.

Pour terminer, indiquons que si en Europe les boulonneries sont le plus souvent en acier au nickel, les raffineries américaines font un très large emploi des *boulons* de Monel, en particulier pour les *joints de condenseurs* refroidis à l'eau de mer.

INDUSTRIE ALIMENTAIRE

Les alliages de nickel ont pris une place capitale dans la préparation, la conservation et la manutention des aliments et des boissons : l'acier inoxydable, le Monel, l'Inconel et le nickel pur, ce dernier sous forme de dépôts électrolytiques ou de plaqué, se répandent de plus en plus.

Dans les pays de grandes concentrations urbaines et agricoles, souvent très éloignées les unes des autres, l'industrie laitière doit résoudre de sérieux problèmes de transport et de distribution : aussi a-t-on dû pousser aussi loin que possible la recherche des meilleurs alliages pour la manutention du lait. L'Inconel, le nickel, l'acier inoxydable, par suite de leur bonne tenue en présence de l'acide lactique et du lait acide ou sucré, ont été utilisés pour les récipients destinés au *transport* et aux appareils de *manutention*. Les fabricants de *lait condensé* emploient pour la préparation et la mise en boîte, des machines où entrent de notables quantités de ces alliages. L'Inconel est l'alliage qui convient le mieux pour la fabrication de tous les appareils de laiterie, car il *reste absolument inaltéré* sous l'action du lait, quelles que soient les conditions de service ; il ne modifie donc pas la saveur et les qualités du lait. *Réservoirs d'emmagasinage du lait brut, tubu-*

lures de conduites entre les réservoirs, parties internes et externes des *réfrigérateurs* sont très souvent en Inconel. Dans les régénérateurs et refroidisseurs, cet alliage est exposé à l'action corrosive du lait pendant le refroidissement, aussi bien qu'à l'action du liquide ammoniacal utilisé comme réfrigérant. Dans les *machines à beurre*, nombre de pièces sont en Inconel.

Pour la préparation des *conserves de viande et de légumes*, on utilise aussi très largement tous ces alliages en raison de leur bonne résistance aux jus acides ou salés. Les *marmites à viande* ou à légumes et les *cuisières à fruits* sont souvent en Inconel ou en nickel pur. Enfin, tout l'appareillage, tels que les *laveurs, trieurs, séparateurs, calibreurs, machines à remplir les boîtes*, comprend du Monel ou du nickel pur. D'essais faits dans des installations pour la préparation des *conserves de pois* et des *conserves de tomates*, il résulte que les alliages de nickel ne donent aucun goût ni aucune coloration et, qu'en outre, ces alliages ne sont pas altérés.

Dans la préparation du *sel de cuisine*, le Monel convient parfaitement. Il résiste bien à l'action de ce produit, soit en saumure, soit à l'état de cristaux : dans cette fabrication, la résistance à l'érosion est un facteur important. De nombreux producteurs de sel ont remplacé, dans les *sécheurs rotatifs* et les *installations de purification*, les revêtements d'acier par du Monel. Enfin, en raison de son inaltérabilité par le chlorure de sodium et les saumures, le Monel se répand en plus en plus pour le revêtement et l'aménagement des *cales à poisson* sur les bateaux de pêche, ainsi que pour les *étagères de poissonneries*.

Le Monel et l'acier inoxydable sont très largement employés pour la *fabrication de la glace alimentaire* et dans les glacières destinées à la conservation des produits.

De remarquables progrès ont été faits au cours des dernières années dans le *transport* et la *distribution de la bière* et des *vins*. Le Monel n'est pas attaqué par la bière et ne l'altère pas; d'où son utilisation très fréquente pour les tuyauteries et les pompes de distribution. Les vins ne prennent aucun goût au contact de l'Inconel. Celui-ci est appelé à rendre d'importants services dans les *installations de vinification*. Qu'il s'agisse de *pompes, des appareillages de remplissage* ou de *cuves de stockage*, il convient parfaitement, en raison de son excellente tenue en présence des vins et du tannin. Il se nettoie, d'autre part, avec la plus grande facilité.

PAPETERIE ET FABRICATION DE LA PÂTE A PAPIER

Dans cette industrie, se posent des problèmes de corrosion et d'abrasion; il importe donc d'utiliser des matériaux bien résistants, dans le but d'éviter une usure rapide et l'introduction d'impuretés dans la pâte, qui nuiraient à sa blancheur et la rendraient impropre à certaines applications (papiers photographiques). On conçoit l'intérêt présenté par l'utilisation des alliages de nickel.

Dans la fabrication mécanique de la pâte de bois, la fonte au nickel est utilisée pour les *engrenages décortiqueurs* et des *broyeurs*.

Dans la fabrication chimique de la pâte de bois, les problèmes de corrosion les plus importants se rencontrent dans la *recupération de la soude*; la fonte Ni-Resist est utilisée sous forme de *corps de pompes, tuyauteries, etc...* en contact avec la liqueur noire; elle est également utilisée dans les fours de récupération, en raison de sa bonne résistance au feu et aux alcalis. Pour la construction des *évaporateurs de soude*, on fait appel au nickel et au Monel. Dans la filtration de la *boue de chaux*, qui constitue un des sous-produits de la régénération de la soude, on emploie des *filtres-tambours rotatifs* en Monel.

Dans les deux précédentes fabrications, le Monel est largement utilisé, principalement à l'étranger, dans la confection des épaisseurs de pâte.

Le *procédé au sulfite* pose de délicats problèmes de corrosion, dus à l'action de la liqueur acide chaude, contenant généralement de l'acide sulfureux et du bisulfite de calcium; les meilleurs résultats sont donnés par l'acier inoxydable à 18 % de chrome et 8 % de nickel.

D'autres problèmes de corrosion se posent dans les opérations de *blanchiment, défibrage* et *raffinage*. La liqueur de blanchiment est très corrosive, en raison des composés chlorés qu'elle contient; le Monel, sous forme de *fils et toiles métalliques*, rend de grands services dans les machines qui lavent la pâte après son blanchiment. Le défibrage et le raffinage sont réalisés dans des machines spéciales dites « piles », le broyage de la pâte se faisant sous l'action de *lames* qui doivent avoir une bonne résistance à la corrosion et de bonnes propriétés mécaniques pour ne pas se déformer, ni s'user rapidement; dans ce cas, le Monel laminé à froid donne d'excellents résultats. Le *Monel K*, avec lequel on peut obtenir de grandes duretés et de hautes limites élastiques, s'est révélé comme

particulièrement intéressant pour cette dernière application. On peut signaler aussi l'utilisation du Monel pour les *dessus de boîtes de succion* et les *rouleaux de table* de machines à papier; dans ce dernier cas, le laiton, sujet à la dézincification, est avantageusement remplacé par le Monel.

Signalons encore l'utilisation de l'acier inoxydable et du Monel pour la confection des *lames de docteur* ou ramasse-pâtes.

Les *cylindres-sécheurs* en fonte au nickel donnent toute satisfaction en raison de leur structure compacte et du beau fini qu'ils peuvent prendre et conserver. La fonte au nickel, par sa résistance, permet de réduire le poids de ces cylindres et son grain serré réduit la corrosion lorsque celle-ci est susceptible de se produire.

Les dépôts électrolytiques épais de nickel sont très employés sur les *cylindres enrouleurs*, afin d'éviter les taches sur le papier.

Enfin, les fontes blanches au nickel-chrome trouvent leur application dans les *cylindres de calendres*.

ARCHITECTURE ET DÉCORATION ART MÉNAGER

L'architecture moderne s'est nettement orientée vers l'emploi des métaux polis dans la décoration, non seulement pour l'ornementation des intérieurs, mais aussi pour la présentation artistique des devantures de boutiques, étalages, enseignes, etc... Grâce à leur grande résistance à la corrosion atmosphérique et la facilité avec laquelle ils se travaillent, le nickel et ses alliages ont pris la première place dans la décoration métallique. Celle qu'ils occupent dans l'aménagement du home moderne n'est pas moins importante, que ce soit dans la salle de bains, à la cuisine ou à la salle à manger.

Le *nickel pur*, en raison de son bel aspect blanc, est employé depuis longtemps soit en pièces massives, soit en revêtement de métaux communs. Le nickel utilisé dans les cuisines ajoute aux qualités de l'aluminium et du cuivre, celle d'un poli durable qu'il est susceptible de prendre et qui demande très peu d'entretien. Son inattaquabilité, la non-toxicité de ses sels, recommandent particulièrement son emploi dans la préparation des aliments. Mentionnons parmi les ustensiles couramment fabriqués en nickel pur : les *casseroles*, *marmites*, *assiettes*, *plats*, *beurriers*, *bols*, *cafetières*, *théières*, *coquetiers*, *cuillères à pot*, *à sauce*, *écumoirs*, *pas-*

soirs, *plateaux*, *services à thé et à café*, *sucriers*, etc.

Les *cupro-nickels* trouvent une intéressante application dans la décoration intérieure. Leurs applications sont si nombreuses qu'il ne saurait être question de les examiner toutes. Citons seulement les *mouleurs*, les *cornières*, employées à l'intérieur des magasins.

Le *Monel*, à haute teneur en nickel, est très employé pour la *décoration métallique* des comptoirs de bars, *distributeurs de bière* sous pression, pour les *revêtements de tables*, *tables-chaudes*, *réchauds de cuisine* et d'office, *plonges* pour laveries de vaisselle. Le Monel, en raison de sa résistance à la corrosion, ne tache pas le linge. C'est pourquoi il est de plus en plus utilisé pour la fabrication des machines à laver.

Signalons également les *chauffe-eau* par accumulation en Monel. Ces appareils peuvent supporter la pression et le contact permanent de l'eau chaude sans corrosion du métal et sans altération de l'eau.

Enfin, un large emploi du Monel est fait en ferronnerie.

Les *maillechorts* ont une belle couleur variant du jaune pâle au blanc franc. Ils demandent peu d'entretien pour conserver leur aspect brillant. Se prêtant bien à l'obtention de laminés, profilés, pièces coulées, ils sont très en vogue pour la décoration intérieure. Ils conviennent bien pour les *encadrements de vitrines*, *portes d'ascenseurs*. Nous citerons en particulier les portes monumentales en alliage à 45 % de nickel de l'Imperial Chemical House à Londres. En pièces coulées, les maillechorts sont employés sur une grande échelle pour la robinetterie. Les paquebots en particulier en font un large usage.

Les maillechorts argentés sont aussi très employés en *orfèvrerie* pour la fabrication des *couverts*, des *plats*, des *théières*. En effet, leur couleur se rapproche de celle de l'argent, de sorte que l'usure du métal précieux ne se révèle pas d'une manière choquante; en outre, les propriétés mécaniques des maillechorts confèrent à ces objets une plus grande rigidité.

L'*acier inoxydable* a pris une place privilégiée dans la décoration et l'aménagement en raison de sa remarquable résistance à la corrosion : c'est l'alliage blanc idéal pour les revêtements extérieurs. Il résiste parfaitement à l'humidité et aux souillures, aussi son emploi est-il très étendu dans les devantures et les enseignes. Nous signalerons, en particulier, les *devantures* du Bon-Marché, aux Champs-Ély-

sées à Paris, la *décoration* de la salle des Pas Perdus à la Gare Saint-Lazare, les *kiosques* à journaux de Paris, etc... Nous mentionnerons enfin l'emploi de l'acier 18/8 pour la *menuiserie métallique* de l'immeuble de la C. P. D. E., rue de Vienne à Paris, où tous les encadrements de fenêtres ont été faits en acier inoxydable.

En outre, l'acier 18/8 tend à se répandre de plus en plus pour la fabrication des *batteries de cuisine*. La plus grande partie des ustensiles de cuisine du paquebot « Normandie » sont en acier inoxydable. Avec cet acier, on fait également des tables chaudes, des dessus de tables et des fourneaux de cuisine, des couverts, services de table, services à thé et à café, etc.

Fontes au Nickel. — Les fontes inoxydables du type austénitique au Ni-Cu commencent à trouver des applications en *architecture, huisseries de portes et fenêtres*, et dans la *construction des appareils ménagers, encadrements de portes, de cuisinières*, etc.; on les trouve même dans les batteries de cuisine : poêles, casseroles, etc...

LA MONNAIE DE NICKEL

L'emploi du nickel dans les pièces de monnaie remonte à la plus haute antiquité. Plus de vingt siècles avant que le nickel pur n'ait été découvert et isolé, des alliages de nickel et de cuivre étaient déjà utilisés pour la frappe des monnaies. On peut voir à Londres au British Museum une pièce bactrienne datant de 235 ans avant notre ère et contenant 78 % de cuivre et 20 % de nickel, proportion très voisine du titre de nos pièces actuelles en cupro-nickel. La Belgique en 1861, l'Allemagne en 1870, l'Ita-

lie en 1902 adoptèrent des pièces divisionnaires en cupro-nickel. En 1881, la Suisse émit la première pièce de monnaie en nickel pur, exemple suivi par la France en 1903.

Depuis la guerre, nombreux sont les gouvernements qui ont adopté la *monnaie de nickel*. C'est qu'en fait le nickel, en raison de ses qualités mécaniques, *résiste presque indéfiniment à l'usure* d'une circulation intense. Il ne se *termit pas comme les autres métaux* et garde constamment sa *couleur blanche et propre*. De plus, il a l'avantage de *conserver sa valeur* en cas de démonétisation.

Enfin, la monnaie de nickel est, en pratique, impossible à imiter. Les pièces en métal blanc qu'on chercherait à faire passer pour du nickel seraient immédiatement reconnues, sans même besoin de l'analyse chimique : le nickel est, en effet, magnétique, alors que les autres métaux blancs, même les cupro-nickels, sont inertes à l'aimant. Il ne serait pas davantage possible à un faussaire de faire de la « vraie fausse monnaie » en nickel pur, pour profiter de la différence de prix entre la valeur nominale et la valeur réelle des pièces : la fabrication des pièces de monnaie en nickel pur ne peut se faire qu'en partant de planches laminées, ce qui exige d'abord une fonderie pouvant atteindre des températures extrêmement élevées, dépassant le point de fusion de l'acier; il faudrait, ensuite, pouvoir disposer d'un outillage important, nécessaire au laminage des bandes et au découpage des flans. En un mot, il est impossible de faire de la fausse monnaie de nickel en chambre.

A l'heure actuelle, 30 gouvernements ont adopté la monnaie de nickel. Celle-ci circule dans le monde entier sous 80 modules différents.

LES ALLIAGES DE NICKEL EN PRÉSENCE DES PRINCIPAUX AGENTS CORROSIFS

On sait combien il est difficile de donner des chiffres précis sur la tenue des divers alliages, même dans le cas d'un agent corrosif déterminé.

Les phénomènes de corrosion sont, en effet, toujours très complexes par suite des nombreux facteurs qui viennent les influencer; par exemple, la présence d'une impureté, même en faible proportion, dans le milieu corrodant, suffit parfois pour changer complètement les conditions d'attaque. La concentration, la température, le degré d'aération jouent un rôle prépondérant. D'une façon générale, seuls les essais faits dans les conditions mêmes d'emploi peuvent indiquer d'une façon précise la préférence à donner à tel ou tel alliage; toutefois, les essais de laboratoire fournissent auparavant des indications précieuses.

Les renseignements ci-dessous sont simplement donnés à titre indicatif, pour guider dans le choix de l'alliage à essayer.

Corrosion atmosphérique. — Les problèmes de résistance à la corrosion atmosphérique se posent dans la décoration et l'ornementation.

Pour les atmosphères extérieures, les alliages qui conviennent le mieux sont l'acier inoxydable (Cr = 18 %, Ni = 8 %) et l'Inconel (Ni = 80 %, Cr = 14 %, Fe = 6 %); ils résistent très bien et ont l'avantage de conserver leur beau brillant. Le nickel et le Monel (Ni = 68 %, Cu = 27 %) ont une bonne tenue, mais présentent l'inconvénient de se ternir plus ou moins rapidement, d'où la nécessité d'un entretien.

Pour les atmosphères intérieures, l'acier inoxydable, l'Inconel, le Monel et le nickel conviennent bien; le Monel et le nickel peuvent présenter à la longue un ternissement, qu'un entretien facile fait disparaître.

Pour la décoration intérieure, on utilise beaucoup les maillechorts, dont la tenue est d'autant meilleure qu'ils contiennent plus de nickel; d'une façon générale, on emploie les maillechorts contenant un minimum de 18 % de nickel.

Atmosphère thermique. — Dans les atmosphères contenant des vapeurs sulfureuses, l'acier inoxydable et l'Inconel résistent très bien. Le nickel et le Monel ont également une bonne résistance, mais se ternissent plus ou moins.

Eau douce. — Le nickel pur, le Monel, l'Inconel et l'acier inoxydable peuvent être considérés comme équivalents au point de vue résistance. Signalons que les chambres de compresseurs d'eau sont souvent construites en nickel pur; on évite ainsi toute formation de rouille ou de sels de cuivre.

Eau de mer. — L'Inconel a une excellente tenue; le nickel pur et le Monel résistent bien; l'acier inoxydable résiste bien également, mais peut présenter à la longue quelques points de rouille; il est à éviter dans le cas d'eau de mer stagnante. Pour certaines applications, les cupro-nickels à 20 % et surtout 30 % de nickel donnent satisfaction (tubes de condenseurs de machines marines).

Vapeur. — Deux alliages sont particulièrement intéressants : le Monel et l'A.T.V. (acier à 34 % de nickel et 12 % de chrome). On les utilise beaucoup pour la construction des aubes de turbines soumises à l'action de la vapeur surchauffée (400-450°). Pour les sièges de soupapes, on peut noter les cupro-nickels spéciaux (Monel K et cupro-nickels à l'étain et au silicium) qui donnent d'excellents résultats.

Acide sulfurique. — Le Monel résiste très bien jusqu'à la concentration maximum de 85 %. L'acier inoxydable présente une bonne résistance.

Le nickel, l'Inconel et la fonte austénitique ont également une bonne tenue.

Acide nitrique. — L'acier inoxydable résiste bien à toutes les concentrations à chaud et à froid.

L'Inconel a une bonne tenue pour les concentrations moyennes et à froid.

Le nickel et le Monel sont rapidement attaqués, sauf par les solutions très diluées.

Acide chlorydrique. — Le problème de la résistance à l'acide chlorydrique est un des plus complexes, et n'a pas encore reçu de solution complète.

Le nickel et le Monel ont une bonne tenue en présence des solutions très diluées et froides. Pour les faibles concentrations, les meilleurs résultats sont donnés par l'acier inoxydable au molybdène (Cr = 18 %, Ni = 8 %, Mo = 3 %). On a réalisé des aciers contenant 30 à 35 % de nickel et 12 à 15 % de molybdène ou de tungstène, qui résistent bien à l'acide chlorydrique à 50 %. Les alliages américains dits « Hastelloy » (alliages nickel-fer-molybdène) résisteraient bien à l'acide chlorydrique froid à toutes concentrations; citons en particulier l'alliage contenant 58 % de nickel, 20 % de molybdène et 2 % de manganèse.

Acide fluorhydrique. — Le Monel et le nickel résistent bien aux solutions étendues.

Acide phosphorique. — L'acier inoxydable résiste très bien; viennent ensuite le nickel et le Monel. La résistance de ces produits est influencée par les sels de fer dont la présence accélère l'attaque.

Acides oléique et stéarique. — Bonne résistance du nickel, du Monel, de l'Inconel et de l'acier inoxydable.

Acide acétique. — L'alliage particulièrement à retenir est l'acier inoxydable au molybdène, qui résiste bien.

L'Inconel et la fonte austénitique ont aussi une très bonne tenue.

Le nickel résiste très bien aux solutions acétiques, jusqu'à une concentration de 20 %.

Acide citrique. — Bonne résistance du nickel, du Monel, de l'Inconel et de l'acier inoxydable.

Lait (acide lactique). — L'alliage qui convient le mieux en présence du lait est l'Inconel. L'acier inoxydable résiste aussi très bien. Le nickel peut donner satisfaction, quoique présentant l'inconvénient du ternissement.

Vin (acide tartrique). — L'alliage particulièrement à retenir est l'Inconel, qui donne toute satisfaction. Viennent ensuite l'acier inoxydable et le nickel pur.

Soude et potasse caustiques. — Le nickel et le Monel ont une excellente tenue; ils sont pratiquement inattaqués par la soude et la potasse froides ou chaudes à toutes concentrations. L'Inconel et l'acier inoxydable ont une bonne tenue, quoique un peu inférieure, particulièrement aux fortes concentrations et aux températures élevées.

La fonte austénitique a une bonne résistance.

Nitrate et carbonate de soude. — Bonne tenue du nickel et du Monel. L'Inconel et l'acier inoxydable résistent bien, quoique à un degré un peu moindre.

Hypochlorites. — Il n'existe pas encore de solution bien satisfaisante au problème de la corrosion par les hypochlorites. Pour les faibles concentrations, les meilleurs résultats semblent être donnés par les aciers inoxydables au molybdène (Cr = 18 %, Ni = 8 %, Mo = 3 %). Le nickel et le Monel résistent bien jusqu'à une concentration en chlore d'environ 5 gr. au litre.

Essence. — Bonne résistance du nickel, de l'Inconel, de l'acier inoxydable et des fontes austénitiques.

Températures élevées. — Les alliages donnant satisfaction sont les alliages nickel-chrome et nickel-chrome-fer, parmi lesquels on peut noter l'alliage contenant 80 % de nickel et 20 % de chrome, et l'alliage contenant 65 % de nickel, 15 % de chrome et 20 % de fer, qui sont très utilisés comme résistances chauffantes.

Les alliages nickel-chrome-fer sont aussi utilisés pour la confection de boîtes de cémentation, pièces de fours, etc.

Les fontes austénitiques résistent bien à des températures de l'ordre de 800° et ne présentent pas, après chauffages répétés, le phénomène de « gonflement ».



MUSEE ULTIMHEAT®
ULTIMHEAT® MUSEUM



MUSEE ULTIMHEAT®
ULTIMHEAT® MUSEUM

Printed in France.