



HAL
open science

L'EMPLOI DES MÉTAUX DANS L'INDUSTRIE LAITIÈRE. II. LE NICKEL ET SES ALLIAGES

G. Génin

► **To cite this version:**

G. Génin. L'EMPLOI DES MÉTAUX DANS L'INDUSTRIE LAITIÈRE. II. LE NICKEL ET SES ALLIAGES. *Le Lait*, 1938, 18 (178), pp.785-805. hal-00895335

HAL Id: hal-00895335

<https://hal.science/hal-00895335>

Submitted on 11 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LE LAIT

REVUE GÉNÉRALE DES QUESTIONS LAITIÈRES

SOMMAIRE

Mémoires originaux :

- G. GÉNIN. — L'emploi des métaux dans l'industrie laitière. II. Le nickel et ses alliages 785
- Marie-Elise KAYSER. — L'office collecteur de lait féminin à Erfurt. 805
- E. U. ALLARD. — L'hygiène du lait au Canada 813

Bibliographie analytique :

- 1^o Les livres 822
- 2^o Journaux, Revues, Sociétés savantes 830
- 3^o Brevets 859

Bulletin bibliographique :

- 1^o Les livres 860
- 2^o Journaux, Revues, Sociétés savantes 861

XI^e Congrès international de laiterie (Berlin, 21-28 août 1937) :

- G. KOESTLER. — Mesures pour l'amélioration du lait

au siège de production, contrôle des arrivages et contrôle permanent, dans les exploitations du lait et des produits laitiers 867

Documents et informations :

- Arrêté du 13 juin 1938 relatif à l'exportation des beurres sous le couvert d'une marque de qualité 884
- Congrès d'automne de l'American Chemical Society 888
- IV^e Congrès international de Pédiatrie (Rome 26-30 septembre 1937) 894
- Communiqué de la Chambre de Commerce française de Bruxelles 896
- Ecole Supérieure d'Agriculture d'Angers 896
- Ecole Nationale d'Industrie laitière de La Roche-sur-Foron 896
- Erratum 896

MÉMOIRES ORIGINAUX (1)

L'EMPLOI DES MÉTAUX DANS L'INDUSTRIE LAITIÈRE (2)

par

G. GÉNIN

Ingénieur E. P. C. I.

II.

LE NICKEL ET SES ALLIAGES

Depuis déjà plusieurs années, les multiples essais auxquels on a pu procéder, soit dans les laboratoires, soit dans les usines, ont montré que le nickel et ses alliages conviennent à la construction des appareils employés par les industries alimentaires. Rappelons

(1) Reproduction interdite sans indication de source.

(2) Voir *Le Lait*, n^o 172, février 1938, p. 113-131.

en effet à quelles conditions doivent répondre ces métaux pour donner des résultats satisfaisants.

1° Il faut qu'on puisse les obtenir à un prix raisonnable, sous des formes marchandes correspondant aux exigences des procédés de fabrication utilisés dans la construction du matériel des industries alimentaires.

2° Il faut qu'ils n'exercent aucune influence nuisible sur la qualité des produits alimentaires au contact desquels ils sont placés.

3° Il faut qu'ils soient durables et qu'ils résistent en particulier à la corrosion par les différents constituants des produits alimentaires, par les agents de nettoyage, les agents de stérilisation, les saumures réfrigérantes, etc.

4° Il faut qu'ils ne s'opposent pas aux échanges de chaleur.

La question prix est évidemment la principale et il existe de nombreux métaux d'une résistance parfaite à la corrosion dont l'emploi a été rendu jusqu'ici impossible par suite de leur prix excessif. La question de l'usinage, du forgeage, de la soudure des produits, présente également une importance non négligeable et on connaît des produits tels que par exemple les alliages de fer à haute teneur en silicium dont la résistance à la corrosion est remarquable, mais dont les propriétés mécaniques limitent considérablement l'emploi.

Le nickel et ses alliages, dont le Monel et l'Inconel sont les principaux, peuvent s'obtenir sous toutes les formes commerciales les plus courantes : barres, baguettes, laminés, feuilles, plaques, tubes, fils, toiles métalliques et pièces coulées. Ce sont sous ces formes que les métaux sont le plus couramment utilisés dans les industries alimentaires.

En ce qui concerne les échanges de chaleur, opérations fréquentes dans l'industrie laitière, il ne faut pas oublier que la résistance offerte au passage des calories par la paroi métallique d'un appareil ne dépend pas uniquement de la nature de cette paroi, mais de beaucoup d'autres facteurs : présence de pellicules superficielles résultant de la corrosion du métal, formation de croûte et de dépôts divers provenant des produits traités, etc... Cette question a d'ailleurs été remarquablement étudiée par WORTHINGTON dans un article intitulé « la conductibilité thermique des métaux et son importance dans les échanges de chaleur » (*Chem. and Metal. Eng.*, août 1928).

Ceci explique pourquoi lorsqu'on étudie les différences entre les échanges de température qui s'effectuent par l'intermédiaire de parois en métaux extrêmement différents, comme cuivre et argent

d'une part, Inconel, nickel, acier inoxydable d'autre part, les écarts que l'on constate entre ces métaux sont loin d'être dans le rapport de leur conductibilité thermique. Ce n'est que si l'épaisseur de la paroi métallique augmente, que les écarts s'amplifient et à titre d'exemple, des essais pratiques effectués avec des récipients de même dimension, chauffés de la même façon, ont montré que l'eau bout après 6 minutes de chauffage dans une chaudière en cuivre, au bout de 7 minutes dans une chaudière en nickel et au bout de 12 minutes dans des appareils en Inconel ou en acier inoxydable.

Nous allons d'ailleurs étudier plus en détail ces différents points, après avoir rappelé en quelques mots, comme nous l'avons fait pour l'aluminium et ses alliages, l'historique du nickel et sa métallurgie.

Depuis la plus haute antiquité, l'homme a utilisé pour la fabrication de ses outils et de ses armes le nickel sous forme de fer au nickel qu'il trouvait tout préparé dans les météorites. Mais ce n'est qu'au commencement du 19^e siècle, qu'on parvint à réaliser synthétiquement des alliages semblables à ces alliages naturels.

Ce n'est également qu'après de longues recherches qu'on est arrivé à séparer le nickel des minerais cuivreux qui en contiennent et les propriétés du nickel-métal furent alors étudiées par CRONSTEDT en 1751, BERGMANN en 1775 et RICHTER en 1804. Petit à petit, la métallurgie du nickel se développa par l'exploitation des gisements de Saxe, de Cornouailles et d'Ecosse.

Pendant très longtemps, les seuls minerais exploités pour la préparation industrielle du nickel furent des arsénifères et des arsénio-sulfures. C'est alors qu'en 1861 un ingénieur français, J. GARNIER, découvrit en Nouvelle-Calédonie des gisements abondants d'un silicate double de nickel et de magnésium qui reçut le nom de garnierite. C'est cette découverte qui permit de donner à la métallurgie du nickel l'importance qu'elle possède aujourd'hui. On exploite d'ailleurs depuis d'autres minerais : des sulfures de fer nickelifères que l'on trouve au Canada et en Norvège. De 1875 à 1915, il fut exporté de Nouvelle-Calédonie 2.245.354 tonnes de minerai, mais l'importance de ces gisements est devenue de second ordre, depuis la découverte de ceux du Canada dans le district de Sudbury, qui ont fourni depuis leur découverte jusqu'à 1916, 10.322.515 tonnes de minerai.

Les minerais sulfurés et arsenicaux sont grillés, on les débarrasse ainsi de la majeure partie de l'arsenic qu'ils contiennent. On fond le résidu avec du carbonate de sodium et une petite quantité de nitre. L'arsenic passe à l'état d'arséniate de sodium, soluble dans l'eau et il reste un résidu insoluble, l'oxyde de nickel. Ce dernier est dissous dans l'acide sulfurique et pour éliminer de la dissolution

le fer qu'elle contient, on la fait bouillir avec du carbonate de calcium, qui ne précipite que le sesquioxyde de fer. La solution de sel de nickel est alors concentrée et on fait cristalliser. Au lieu de recueillir le nickel sous forme de sel, on peut le précipiter à l'état d'oxyde par un alcali ; le précipité est mélangé avec du charbon, façonné en cube et chauffé dans un creuset fermé. On obtient ainsi un métal aggloméré encore impur qui contient de l'arsenic, du soufre, du cuivre et du fer.

La garniérite est fondue avec du gypse ; on obtient ainsi un sulfure double de nickel et de fer, ce dernier élément étant ensuite éliminé par soufflage au convertisseur ; on opère ensuite deux grillages, avec broyage intermédiaire. Le dernier grillage, particulièrement poussé, donne de l'oxyde de nickel. Cet oxyde de nickel est aggloméré avec un liant d'amidon sous forme de petites rondelles ou de petits cubes qui sont soumis à une réduction par le charbon de bois dans un four à moufle ; on arrive ainsi à transformer l'oxyde en métal, sans atteindre la fusion, les cubes et les rondelles diminuant de volume tout en gardant leur forme première.

Le nickel dit commercialement pur, peut être livré actuellement sous des formes très différentes, suivant les procédés d'élaboration :

1° Le nickel électrolytique, déposé sous forme de cathodes, qui contient généralement un peu de cobalt et de fer. Sa teneur en Ni + Co varie de 99,8 à 99,95, la teneur en cobalt elle-même pouvant varier de 0 à 0,8 %.

2° Le nickel Mond, obtenu sous forme de bille par la décomposition du nickel carbonyle. Cette variété de nickel ne contient pas de cobalt, sa pureté est de l'ordre de 99,8 à 99,9.

3° Le nickel réduit en cubes, rondelles ou en poudre, obtenu par la réduction à température relativement basse de l'oxyde de nickel.

4° Le nickel réduit en lingots ou grenaille, obtenu par la réduction de l'oxyde de nickel au-dessus du point de fusion du métal qui est coulé ensuite, sans être totalement désoxydé.

5° Le nickel dit malléable, en lingot, barre ou tôle, obtenu en faisant subir à l'une quelconque des variétés précédentes un traitement métallurgique au cours d'une refusion (désulfuration et désoxydation). La teneur en Ni + Co est généralement supérieure à 99,2 %, les impuretés étant surtout constituées de fer, de cuivre et de manganèse.

Les grandes usines de traitement de minerai de nickel peuvent fournir ces différentes catégories de métal et elles disposent en outre des installations nécessaires permettant de livrer le nickel malléable

sous ces différentes formes marchandes et de fournir également les principaux alliages de nickel.

Propriétés physiques du nickel.

Dans la construction du matériel pour l'industrie chimique, on utilise largement le nickel malléable, nickel à 99% environ de pureté, dit encore nickel commercialement pur. La découverte de ce métal est due à FLEITMANN qui constata en 1879 que l'addition d'un faible pourcentage de magnésium rend le nickel ductile, permet son forgeage, son laminage et son étirage. Depuis, de grands progrès dans la préparation de ce métal ont été réalisés. Alors que du temps de FLEITMANN, on arrivait rarement à dépasser une pureté de 99%, on parvient aujourd'hui aisément à produire du nickel malléable à 99,5%. Nous avons reproduit ci-dessous les principales propriétés de ce métal :

Densité	8,84
Point de fusion	1.450°
Coefficient de dilatation linéaire :	
De 25 à 100°	0,0000130 par degré
De 25 à 300°	0,0000145 par degré
Résistivité électrique	10,6 microm./cm.
Conductibilité thermique (environ 17% de celle du cuivre)	0,14 un. C. G. S.
Chaleur spécifique	0,130 cal./gr.
Chaleur latente de fusion	73 cal./gr.

Propriétés mécaniques du nickel pur.

MUDGE et LUFF, ont déterminé les propriétés mécaniques du métal commercialement pur. Ils ont trouvé les valeurs suivantes (*Proc. am. Soc. Testing Mater.*, t. XXVIII, 11, 1928) :

	Limite d'élasticité proportionnelle kg./mm ²	Charge de rupture kg./mm ²	Dureté Rockwell échelle B	Striction en %
Laminé à chaud ...	16	54,2	67	59,5
Recuit	13,8	54	60,5	75,9

En ce qui concerne les propriétés mécaniques du nickel fondu, voici quelques indications d'après MERICA (*Trans. Am. Soc. Steel*, juin 1929, p. 1054) :

	Kg./mm ²
Limite d'élasticité	17,5 ± 3,5
Charge de rupture	45,5 ± 3,5
Striction en %	40 ± 10
Dureté Brinell	90 ± 10

Le nickel, ainsi d'ailleurs que différents de ces alliages, a la propriété de conserver des propriétés mécaniques intéressantes jusqu'à des températures relativement élevées. Le tableau ci-dessous montre l'influence de la température sur la résistance à la traction et sur les allongements du nickel pur (*Circ. Bureau des Standards*, n° 100, 1924) :

Température en degrés C.	Charge de rupture kg./mm ²	Allongement % sur 50 mm.
21	56,9	51
93	57,6	51
204	59	52
316	58,3	51
427	58,3	50
538	40,7	50
649	31,6	48
760	21	50
871	11,9	33
982	7,7	36
1.093	5,7	70

L'écrouissage peut élever notablement la limite d'élasticité, jusqu'à 70 kilogrammes environ et la charge de rupture jusqu'à 100 kilogrammes, mais provoque un abaissement des allongements.

Le module d'élasticité est compris entre 21.000 et 23.000 kilogrammes par millimètre carré, il est abaissé assez rapidement lorsque la température s'élève.

La dureté du nickel dépend essentiellement de son degré d'écrouissage et du traitement thermique qui a suivi cet écrouissage :

- 1° Nickel recuit à 900° C. et refroidi lentement. $\Delta = 89$.
- 2° Même échantillon laminé à chaud. $\Delta = 99$.
- 3° Même échantillon laminé à froid. $\Delta = 228$.

Enfin le nickel est un métal particulièrement résilient.

Propriétés chimiques du nickel.

Le nickel résiste à l'attaque d'une très grande variété de produits chimiques, il résiste également, à un très haut degré, à l'oxydation et trouve, de ce fait, de nombreuses applications. En outre, des recherches suivies ont montré que le nickel et ses sels ne sont pas toxiques.

Le nickel n'est attaqué que lentement par les acides sulfurique et chlorhydrique, c'est le métal par excellence pour la manipulation des acides organiques tels que les acides formique, butyrique, acétique, lactique, oxalique, tartrique et citrique. Les alcalis tels que la soude et la potasse caustique n'ont pratiquement aucun effet sur le nickel et on peut employer les ingrédients de nettoyage les

plus énergiques pour la vaisselle de nickel, sans risquer de la détériorer. Le nickel résiste également bien à de nombreux sels tels que les chlorure, nitrate, carbonate et sulfate d'ammoniaque, nitrate et chlorure de potassium, carbonate et chlorure de sodium, etc... Presque tous les sels de nickel sont de couleur verte, ce qui permet immédiatement de déceler les attaques les plus légères sur les récipients en nickel pur.

Voici encore quelques exemples qui montrent la résistance à la corrosion du nickel. Les solutions diluées d'hypochlorite de soude sont sans action pratique sur le nickel ; par contre, les solutions plus concentrées exercent une action corrosive ; aussi dans la stérilisation des appareils en nickel, il est nécessaire d'opérer dans des conditions parfaitement déterminées et d'éviter un contact prolongé de la liqueur contenant du chlore actif sur le métal lorsque la stérilisation est terminée.

L'élimination des dépôts, qui peuvent se former sur les appareils en nickel, au moyen d'un acide, ne présente aucune difficulté puisque nous avons vu que le nickel résiste bien à l'action des solutions diluées et froides d'acide sulfurique ou chlorhydrique ; il est seulement recommandé de faire suivre le traitement par l'acide d'un traitement par une solution de carbonate de soude afin de neutraliser et d'éliminer l'excès d'acide.

Formes commerciales du nickel. Travail du métal.

Les formes les plus courantes du nickel malléable que l'on trouve dans le commerce sont les suivantes :

Lingots.

Feuilles de nickel laminées à chaud ou à froid.

Barres et tiges étirées à chaud ou à froid.

Bandes, clinquants, rubans laminés à froid.

Tubes sans soudure et tubes soudés.

Fils.

Pièces forgées et coulées.

Formes diverses : tamis, toiles, laine de nickel, etc...

Les propriétés mécaniques du nickel, comme on a pu le voir, se comparent favorablement avec celles de l'acier doux. Le nickel laminé et recuit se travaille facilement par emboutissage. Le nickel s'usine sans difficultés spéciales.

Le nickel et ses alliages peuvent servir à la construction de pièces destinées à être assemblées, soit par rivetage, soudure au moyen de soudure tendre, brasure, ou soudure autogène au chalumeau, ou à l'arc électrique. La chaleur dégagée au moment de la soudure du métal ne diminue pas sa résistance à la corrosion, et il

n'est pas nécessaire de faire subir aux pièces soudées un traitement thermique particulier.

Le nickel, et ses alliages, peuvent être polis pour leur donner un bel aspect et une surface absolument lisse et il n'est pas besoin d'insister sur ce point qui facilite considérablement les opérations de nettoyage et de stérilisation. Contrairement d'ailleurs à certains autres métaux, le nickel n'a pas besoin d'être poli afin d'augmenter sa résistance à la corrosion et si, par conséquent, une surface polie vient à être accidentellement légèrement rayée ou dégradée, cela ne diminuera en rien ses qualités de résistance à la corrosion.

Alliages de nickel.

1° *Monel*. — Le Monel est le nom commercial d'un alliage de cuivre et de nickel qui contient environ 67% de nickel, 28% de cuivre et 5% de constituants de moindre importance, principalement du fer et du manganèse. Cet alliage est en quelque sorte un produit naturel ; pour sa préparation en effet, on part directement d'un minerai qui contient les métaux que nous venons d'énoncer dans leur proportion définitive, de telle sorte qu'on n'effectue aucune séparation des métaux utiles au cours du traitement du minerai.

Cet alliage ressemble au nickel par sa coloration, son aspect et ses propriétés ; il bénéficie à la fois de très bonnes propriétés mécaniques, d'une grande résistance à la corrosion et à l'oxydation. Il peut être laminé, étiré, coulé, forgé, usiné, soudé, soit à la soudure autogène, soit à la soudure tendre. On le livre sous la forme de lingots, de feuilles laminées à chaud ou à froid, de baguettes étirées à chaud ou à froid, de profilés, de fils, de tubes soudés, de pièces forgées ou soudées ou encore sous forme de toiles métalliques, boulons et écrous, rivets, câbles, etc...

Dans le tableau ci-dessous, nous reproduisons quelques-unes des propriétés essentielles du Monel :

Densité	8,80
Point de fusion	1.350°
Coefficient de dilatation thermique :	
25 à 100 °	0,000014 par degré
25 à 300°	0,000015 par degré
Résistivité électrique	42,5 microhm/cm.
Conductibilité thermique (environ 7% de celle du cuivre)	0,06 un. C. G. S.
Chaleur spécifique	0,127 cal. par gr.
Chaleur latente de fusion	68 cal. par gramme

Au point de vue mécanique, le Monel, même à l'état recuit, est plus résistant que l'acier doux, puisque sa charge de rupture

à la traction est d'environ 50 kg. par millimètre carré. A l'état laminé à chaud il a une résistance à la traction et une limite élastique qui peuvent atteindre respectivement 60 et 35 kg./mm² et qui dépendent de la température en fin de laminage. Cet alliage a également un allongement assez élevé. Le travail à froid augmente sa résistance, l'allongement se conservant relativement bien. Le Monel résiste bien aux chocs et présente une remarquable ténacité. Les échantillons laminés à froid, ont une résilience de 25 kilogrammètres au centimètre carré, sur éprouvette Mesnager. Ces propriétés mécaniques se conservent bien, même aux températures élevées.

Le Monel a trouvé d'importantes applications par suite de sa bonne résistance aux agents corrosifs. Il résiste à l'ammoniac anhydre à l'état de gaz ou liquéfié, il résiste également aux solutions aqueuses d'ammoniaque. En dehors des alcalis fondus, il résiste également aux carbonates fondus, puis aux produits tels que acides gras et autres acides organiques, eau de mer, solutions de sels neutres, essence et huiles minérales, phénols et crésols, mercure, bains de teinture, bains de blanchiment, boissons alcooliques et autres. Il résiste également remarquablement à l'acide sulfurique, à l'acide phosphorique dilué, aux acides cyanhydrique, fluorhydrique, acétique et citrique, aux cyanures fondus et au chlore sec.

Il est par contre attaqué par les solutions fortement oxydantes, par celles qui contiennent des composés facilement réductibles, ainsi que par le plomb et le zinc fondu. Il résiste bien à l'action des solutions chlorhydriques diluées. Dans les solutions sulfuriques diluées sa tenue est très bonne; dans les solutions sulfuriques moyennement concentrées sa tenue est suffisante. Le Monel ne résiste pas, par contre, d'une façon satisfaisante aux acides nitrique, nitreux, sulfureux, chromique, ainsi qu'aux acides phosphoriques concentrés et aux solutions de sels ferriques.

2° *Inconel*. — L'*Inconel* est un alliage nickel-chrome à basse teneur en fer contenant approximativement 80% de nickel, 14% de chrome et 6% de fer. L'addition de cette proportion de chrome au nickel permet d'augmenter très nettement sa résistance à la corrosion et au ternissement. Ses principales constantes physiques sont les suivantes :

Densité	8,55
Coefficient de dilatation linéaire :	
Entre 40 et 100° C.	0,0000115
Entre 40 et 700° C.	0,0000161
Conductibilité thermique	3,5% de celle du cuivre
Chaleur spécifique (entre 25 et 100° C.)	0,109 cal/gr./degré
Point de fusion	1.388° C.
Module d'élasticité	21,700 kg./mm ²

On aura d'autre part une idée des propriétés mécaniques de ces produits en consultant le tableau ci-dessous :

	Résistance à la traction kg./mm ²	Limite élastique apparente kg./mm ²	Allongement % sur 50 mm.
Feuilles et bandes recuites	56 à 66	21 à 28	45 à 55
Barres :			
Recuites	56 à 66	21 à 28	45 à 55
Etirées à froid	70 à 80	56 à 66	20 à 30
Fils :			
Recuits	56 à 66	21 à 28	45 à 55
Revenus pour ressorts	122 à 140		

Par suite de ces teneurs élevées en nickel et en chrome, l'Inconel résiste bien à l'oxydation à chaud et sa résistance mécanique à ces mêmes températures est excellente. Ses propriétés élastiques sont en général bien meilleures que celles des aciers et on peut utiliser l'Inconel à 100° au-dessus de la température limite d'utilisation des aciers à ressort. Dans les atmosphères simplement oxydantes, l'Inconel peut résister de façon satisfaisante, jusqu'à 1.100°. Sa résistance est bonne dans les atmosphères oxydantes contenant du gaz sulfureux, si celui-ci n'est pas en trop forte proportion.

Au point de vue chimique, l'Inconel possède la plupart des propriétés du nickel pur, mais il résiste en général mieux que ce dernier aux agents oxydants. De plus, il offre une bonne résistance aux saumures même lorsqu'elles sont généralement acides. Les saumures sont utilisées couramment dans certaines industries alimentaires, particulièrement dans la laiterie où elles corrodent la plupart des métaux. L'attaque de certains de ces métaux se produit sous la forme d'une pénétration fissurante profonde, mais des essais de laboratoire confirmés par la surveillance des appareils en service, ont montré que l'Inconel a une résistance considérable à ce mode de détérioration.

Des essais ont été effectués par exemple dans une solution à 16% de chlorure de sodium de pH : 5 pendant 100 jours. L'Inconel était corrodé seulement sur une profondeur de 0,0117 mm., cette valeur est sensiblement du même ordre que pour l'acier inoxydable, mais ce dernier, au voisinage des soudures, est souvent plus corrodé.

Avec des saumures de chlorure de calcium, les observations sont sensiblement les mêmes, mais la pénétration est plus faible.

Dans le tableau ci-dessous, on a donné quelques indications sur l'attaque de l'Inconel par différents réactifs :

Nature du réactif	Conditions de l'essai	Perte de poids en milligramme par dm ² et par jour
Acide acétique	5 %, froid, en mouvement	11
Acide formique	90 %, chaud	120
	90 % froid, immobile	24
Acide lactique	5 à 48 %, chaud, sous vide	23
Acide chlorhydrique	5 %, froid, en mouvement	750
Acide nitrique	5 %, froid, en mouvement	1.300
	65 %, froid, en mouvement	18
Acides gras (stéarique et oléique)	Bouillants sous vide	6
Acide sulfurique	5 %, froid, en mouvement et aéré	750

Ces chiffres montrent que l'Inconel peut être, sans grand danger, mis en contact pendant des temps relativement courts avec différents acides.

Les alcalis caustiques attaquent nettement plus l'Inconel que le nickel pur. La différence est déjà notable à basse température et aux faibles concentrations, elle devient considérable à chaud, en milieu concentré.

Au point de vue corrosion électrolytique, l'Inconel figure dans le groupe des métaux passifs, comme les aciers inoxydables, avec cette différence toutefois qu'il est moins sensible aux corrosions locales, aux piqûres.

En ce qui concerne le travail de l'Inconel, voici quelques indications utiles. Le forgeage s'effectue entre 1.000 et 1.300° C., le recuit à feu nu entre 980 et 1.050°, le recuit en boîte entre 800 et 825°. Le décapage s'effectue dans une solution contenant 3 % d'acide fluorhydrique et 3 % d'acide nitrique. L'Inconel peut s'écrouir par travail à froid, mais l'importance du durcissement n'est pas excessive et à ce point de vue, cet alliage se range entre le Monel et l'acier inoxydable. Dans l'emboutissage profond, l'Inconel se travaille presque aussi facilement que le nickel pur.

La jonction d'éléments d'Inconel peut se faire par soudure à l'étain, par brasage, par soudure à l'arc ou au chalumeau oxy-acétylénique, la soudure à l'arc est plus facile qu'avec le nickel pur. L'Inconel n'est pas sujet à la détérioration qui se produit souvent au voisinage de la région soudée dans le cas des aciers inoxydables.

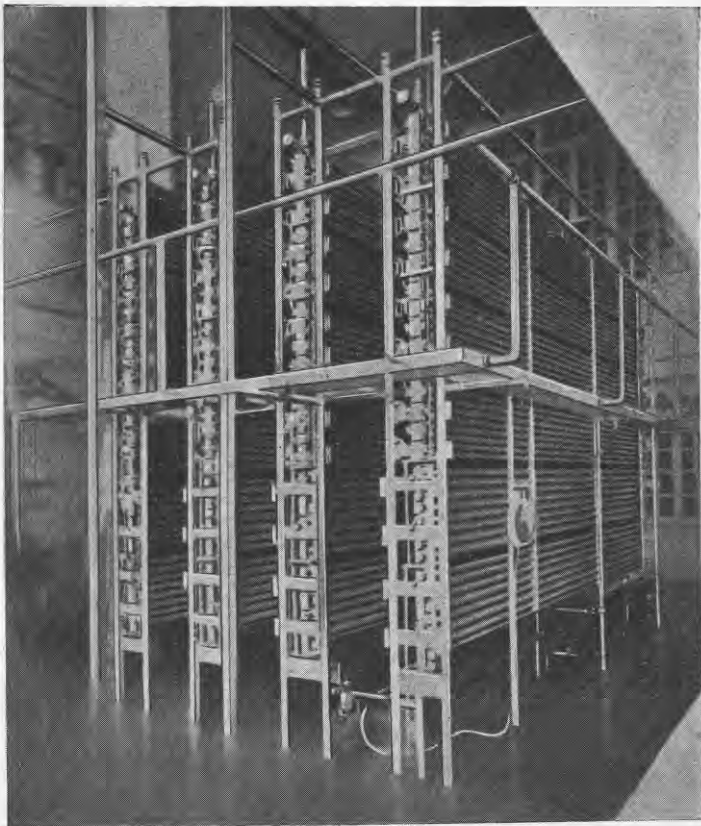


Fig. 1. — Régénérateur et Réfrigérant en Inconel, installé dans la laiterie « Fairfield Western Maryland Dairy Co », Baltimore.

(Cliché fourni par le Centre d'information du nickel.)

La soudure autogène ne présente pas de détérioration intergranulaire, de sorte que le traitement thermique est généralement inutile.

L'ensemble de ces propriétés et les nombreux essais de résistance à la corrosion auxquels on a procédé, qui ont montré que l'Inconel est insoluble dans le lait, quelles que soient les conditions de service et ne modifie donc pas la saveur et les qualités de ce produit, ont fait que ce métal a trouvé d'importantes applications en laiterie.

En général, l'Inconel convient à la fabrication de toutes les parties d'appareils de laiterie : réservoirs de magasinage du lait brut, tubulures de conduites entre les réservoirs et les réchauffeurs, parties externes et internes des réfrigérants dans lesquels circule le lait chaud, tubes des réchauffeurs portant le lait à 62°, refroidisseurs par surface, tubulures diverses, etc...

Une des plus grandes et des plus modernes laiteries d'Amérique la « Fairfield Western Maryland Dairy Company » de Baltimore a été réinstallée complètement au cours de ces dernières années avec des appareils en Inconel. Plus de 5.000 kg. d'alliage ont été utilisés pour la seule construction des régénérateurs et refroidisseurs. Le métal, dans ces appareils, est exposé à l'action corrosive du lait pendant le refroidissement, aussi bien qu'à l'action du liquide ammoniacal utilisé comme réfrigérant.

La « Dairymen's League Cooperative Association » de New-York a également construit en Inconel une machine pour la fabrication du beurre, avec enveloppe contenant de la saumure. Cette machine a résisté pendant plus d'un an à des actions corrosives que peu de métaux auraient pu supporter.

Corrosion du nickel et de ses alliages par le lait.

Le développement des applications du nickel et de ses alliages, dans la construction du matériel utilisé en laiterie, a incité de nombreux chercheurs à entreprendre l'étude de la corrosion du nickel et de ses alliages par le lait et les différents produits que l'on traite dans une laiterie ou dans une beurrerie. On a donc vu se multiplier au cours de ces dernières années ces travaux, entrepris avec un très grand soin, et dont les conclusions sont en général assez concordantes, en ce sens que les auteurs estiment que le nickel, et surtout certains de ses alliages, se caractérisent par une très bonne résistance à la corrosion par le lait.

Il ne nous est pas possible d'entrer dans le détail de ces nombreux travaux, et nous nous contenterons donc de signaler ce qui a caractérisé chacun d'entre eux, en rapprochant ensuite, dans un court résumé, leurs conclusions essentielles.

F. L. LAQUE et H. E. SEARLE (*Bull. T. S. 1 du Development and Research Department de l'International Nickel Co*) ont étudié la résistance du nickel commercial pur et de l'Inconel à la corrosion par le lait. Ils ont tout d'abord constaté que dans certains cas, il peut se former sur le nickel une pellicule ou film protecteur qui joue évidemment un rôle considérable dans la protection contre la corrosion du métal par le lait. La formation de ce film protecteur est favorisée lorsque le métal est légèrement plus chaud que le lait au contact duquel il est placé, lorsque le lait se déplace rapidement au contact du métal et lorsque le lait est complètement aéré. Le mécanisme exact de la formation de ce film protecteur n'est pas complètement connu : il semble constitué par une pellicule de protéine qui s'attache très fermement au métal lorsque certaines conditions sont remplies.

Les mêmes auteurs ont également étudié l'influence de l'oxygène

sur la corrosion du nickel par le lait, celle de la température, de l'agitation du liquide, de l'acidité, ils ont également examiné certains phénomènes galvaniques qui peuvent se produire lorsque à côté du nickel, se trouvent d'autres métaux. Ces différentes recherches ont été effectuées non seulement en laboratoire, mais également sur des appareils industriels : réchauffeurs, réservoirs, échangeurs de température, tuyauteries, réfrigérants, cuves de pasteurisation, etc...

Robert J. MCKAY, O. B. J. FRASER et H. E. SEARLE (*Techn. Publ.*, n° 192 de l'*Amer. Inst. of Mining and Metallurg. Engineers*) ont également publié les résultats de leurs recherches sur la corrosion du nickel et du Monel par le lait. Confirmant les résultats de l'étude précédente, ils ont trouvé que de petites quantités de nickel

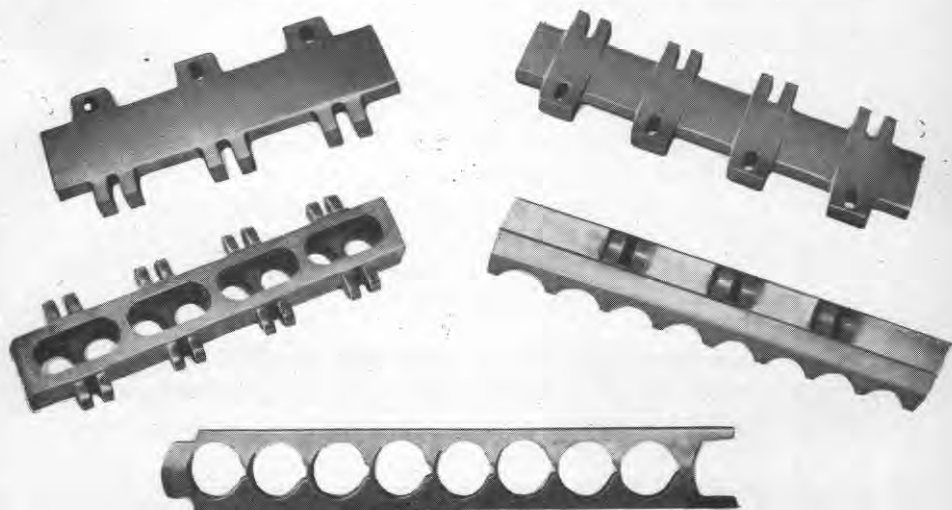


Fig. 2. — Pièces coulées en Inconel, utilisées dans la fabrication de régénérateurs pour l'industrie du lait.
(Cliché fourni par le Centre d'information du nickel.)

se dissolvent dans le lait doux, le lait sur et le lait écrémé. Mais la quantité de métal dissous est trop faible pour agir sur la qualité du lait et d'ailleurs, le Monel est légèrement moins attaqué que le nickel.

Des essais pratiques ont montré que, dans les conditions les plus défavorables (dans le pasteurisateur en particulier), la quantité de nickel qui peut se dissoudre est de 12 parties par million de parties de lait. L'agitation augmente la dissolution du nickel ; si l'acidité augmente, la dissolution croît légèrement. La solubilité du nickel

dans le petit-lait aux basses températures, dans le lait doux et petit-lait aux températures élevées augmente lorsque le liquide est plus aéré. Au contraire, dans le cas du lait doux aux basses températures, l'aération diminue l'attaque du métal.

La solubilité des deux métaux dans les solutions pures d'acide lactique est plus grande que dans le lait contenant la même quantité d'acide. Il faut donc en déduire que la dissolution du métal doit être réduite par les autres constituants du lait : albumine, matière grasse, lactose.

Ces observations ont été faites au cours d'essais de laboratoire, et également au cours de recherches faites dans des installations industrielles. On a en particulier étudié la corrosion du nickel et du Monel dans les cuves de pasteurisation, dans les réservoirs, dans les condenseurs, ainsi que dans les récipients employés pour l'ensemencement du petit-lait.

O. F. HUNZIKER, W. A. CORDES et B. H. NISSEN, dont nous avons déjà cité les recherches concernant la corrosion de l'aluminium par le lait, ont également étudié le cas du nickel (*Journ. Dairy Science*, t. XII, 1929, p. 140). D'après ces auteurs, le nickel et les alliages de cuivre et de nickel ne doivent pas être employés au contact de produits laitiers acides ; dans ces conditions, en effet, ils sont légèrement corrodés, ils se ternissent et ils mettent en liberté dans le lait des traces de cuivre qui risquent de diminuer la qualité du produit. Il ne faut pas oublier, d'autre part, les phénomènes galvaniques qui peuvent se produire ; le nickel immergé dans le lait en même temps que divers métaux augmente la corrosion de ceux qui sont plus électropositifs que lui, comme l'aluminium et le zinc ; au contraire, c'est lui dont la corrosion se trouve augmentée lorsqu'il est immergé en même temps que des métaux plus électro-négatifs, comme le cuivre, l'acier inoxydable, le Monel, la soudure d'argent. La conclusion de ces auteurs est qu'il faut apporter certaines restrictions à l'emploi du nickel en laiterie, l'alliage de nickel et de chrome étant au contraire d'un emploi beaucoup moins limité par suite de sa meilleure résistance à la corrosion.

Enfin, nous rappellerons les études plus récentes de H. A. TREBLER, W. A. WESLEY et F. L. LAQUE (*Ind. Eng. Chem.*, t. XIV, 1932, p. 339) dont les conclusions, en ce qui concerne la question du nickel et de ses alliages, semble faire le point de toutes les études publiées jusqu'alors.

Ces auteurs estiment que le nickel peut être utilisé pour la construction de tout le matériel utilisé pour le transport et le stockage du lait à la température ordinaire. Il peut être également employé pour la construction du matériel destiné au chauffage, à la pasteurisation du lait. Enfin, on peut également l'employer pour la construction

des appareils destinés au refroidissement et à la conservation du lait au-dessous de 18°. Si, dans ces appareils, la corrosion du nickel est peu importante, cela tient à la formation d'un film protecteur. Mais en l'absence de cette pellicule de protection, la vitesse de corrosion du nickel est augmentée et soumise à certains facteurs tels que aération, température, etc...

En aucun cas, le nickel ne doit être utilisé pour la construction d'appareils qui risquent d'être placés au contact du lait, lorsque celui-ci est refroidi de 63 à 18°.

Si l'on veut obtenir dans l'emploi du nickel une plus grande sécurité, il y a avantage à ajouter à ce métal une certaine proportion de chrome (Inconel). Dans ce cas, l'alliage résiste par exemple à l'action du lait doux dans toutes les conditions et les résultats les meilleurs seront obtenus par l'emploi d'un alliage contenant 12 à 15% de chrome. Cet alliage a la même conductibilité calorifique que certains aciers spéciaux, il résiste, comme nous le verrons plus loin, aux agents de nettoyage alcalins, aux agents de stérilisation à base de chlore, aux hypochlorites dilués, il résiste également aux saumures et enfin se soude mieux que le nickel pur.

Influence du nickel en solution dans le lait sur la valeur alimentaire de ce dernier.

Le nickel, qui risque de se dissoudre dans les produits alimentaires lors de la préparation de ces derniers dans des appareils en nickel ou en alliage de nickel, n'est pas toxique, à condition évidemment que sa proportion ne soit pas excessive. Une excellente étude de cette question a d'ailleurs été faite par DRINKER, FAIRHALL, RAY (*Journ. Ind. Hygiene*, t. VII, 1924, p. 307). La question a été également étudiée par FRASER et SEARLE (*loc. cit.*) et il résulte des conclusions de ces derniers auteurs que la présence dans le lait de 100 parties de nickel par million de parties de lait est absolument sans inconvénient ; il est même probable que l'on pourrait accepter une concentration beaucoup plus grande sans risque d'inconvénient. Or, les prélèvements effectués dans des usines dont l'appareillage est entièrement en alliage de nickel, ont montré que la teneur maximum constatée sur certains échantillons était de 15,6 parties par million. Mais c'était là un chiffre maximum, le chiffre moyen étant de 1,3 partie par million.

La question toxicité n'est pas la seule importante ; on a aussi étudié l'influence éventuelle de la présence de traces de nickel sur le goût, l'aspect, la coloration et l'odeur du lait. Il n'a pas été possible de montrer une action néfaste quelconque du nickel sur les laits qui en contiennent des traces.

Nous avons dit plus haut que le cuivre contenu dans le Monel

risque de passer dans le lait par suite de la corrosion de ce métal, et entraîne alors l'apparition de goût et d'odeur défectueux. Cette observation n'est d'ailleurs pas générale, et il faut pour que ces inconvénients apparaissent que certaines conditions aient été remplies. Il faut par exemple qu'il y ait eu accélération de la corrosion du métal par suite de phénomènes galvaniques, par exemple immersion simultanée dans le lait d'objets en nickel et en cuivre étamé, il faut également que le cuivre ait pu catalyser le développement des bactéries qui sont la cause de l'apparition de goûts défec-

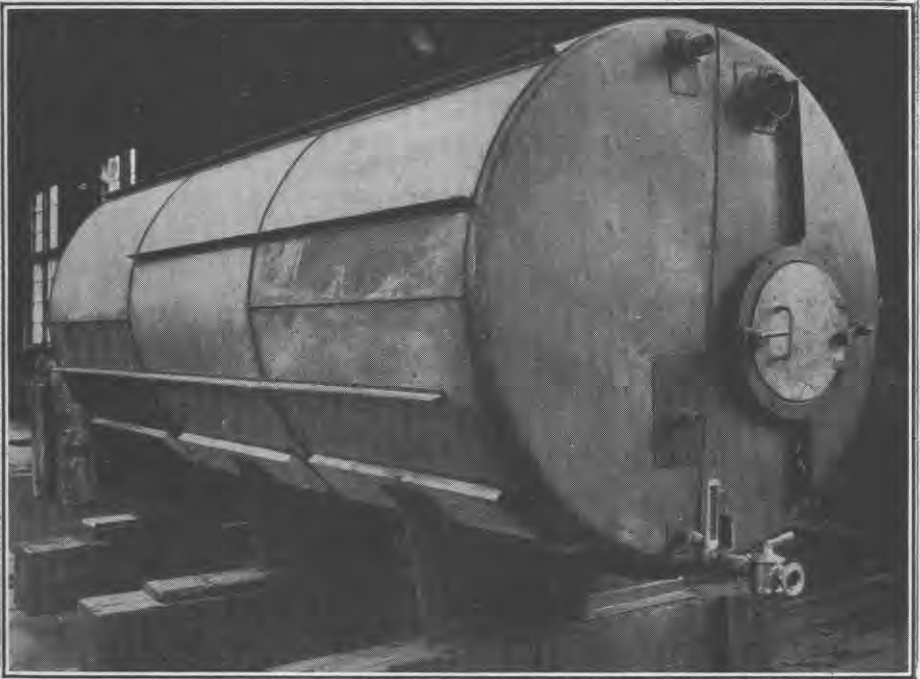


Fig. 3. — Réservoir à lait en Inconel, prêt à recevoir une couche d'isolant thermique.

(Cliché fourni par le Centre d'information du nickel.)

teux. Ces conditions sont heureusement très rarement remplies, de sorte qu'il est peu fréquent d'observer des phénomènes du genre de ceux que nous décrivons.

Enfin, on a examiné le point de savoir si le nickel était susceptible, lorsqu'il est en solution dans le lait et les produits laitiers, de détruire les vitamines de ces derniers. A. D. PRATT (*Journal of Nutrition*, t. III, 1930, p. 141) a étudié l'action possible du nickel

qui se dissout dans le lait au cours de la pasteurisation dans les récipients en nickel sur les vitamines du lait. A cet effet il a comparé un lait absolument exempt de nickel et un autre qui en contenait 15 parties par million. Sa conclusion essentielle est que le nickel dissous ne détruit pas les vitamines A, B ou C du lait au cours de la pasteurisation, pas plus qu'il ne catalyse la destruction de ces vitamines par d'autres corps.

Action des agents de nettoyage et des désinfectants chimiques sur le nickel et ses alliages.

Nous avons donné dans la première partie de cette étude la description assez complète des recherches entreprises par O. F.

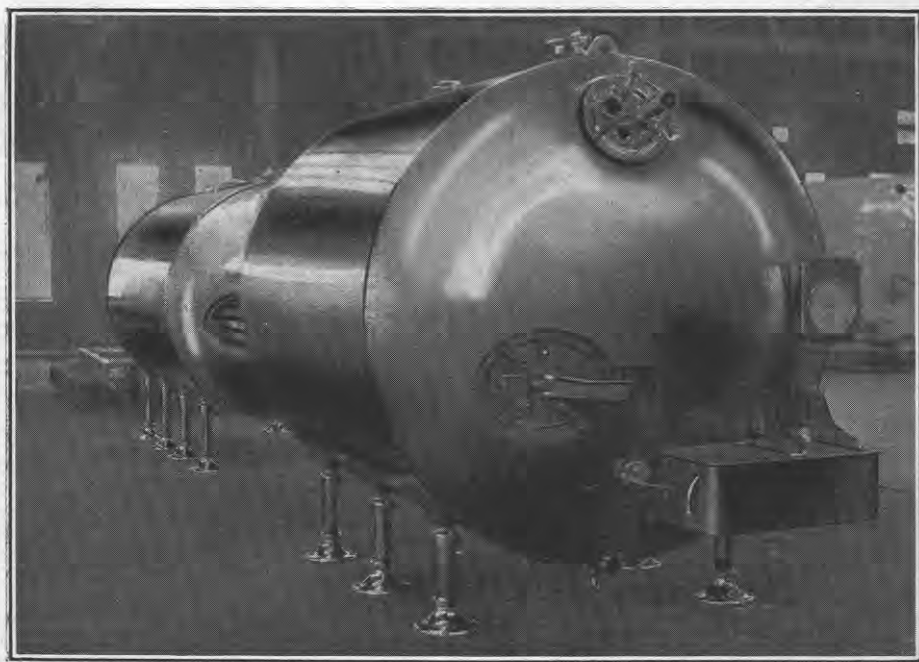


Fig. 4. — Réservoir à lait en Inconel terminé, l'isolant mis en place.

(Cliché fourni par le Centre d'information du nickel.)

HUNZIKER, W. A. CORDES et B. H. NISSEN (*Journal Dairy Science*, t. XII, 1929, p. 252) sur la corrosion des métaux par les agents de nettoyage alcalins et par les agents de désinfection.

Nous ne reviendrons donc pas sur le détail du mode opératoire adopté par ces différents auteurs et nous nous contenterons de reproduire les tableaux qui figuraient déjà dans la première partie de cette étude et qui montrent que le nickel et le Monel résistent

d'une façon satisfaisante d'une part aux agents de nettoyage alcalins, et d'autre part aux agents de stérilisation à base de chlore.

Perte de poids d'une bande de métal de 35 cm² 58 immergée dans le liquide.

	Solution de soude à 0,5%		Solution carbonate de soude à 0,5 % 5 h. à 65° C. (mgr.)	Solution phosphate trisodique	
	5 h. à 65° C. (mgr.)	5 j. à 20° C. (mgr.)		à 0,5 % 5 h. à 65° C. (mgr.)	à 0,16 % 5 h. à 65° C. (mgr.)
Aluminium ..	317,4	453,0	35,3	52,6	13,4
Nickel	0,6	1,1	0,6	0,0	+ 0,5
Etain	19,7	0,4	10,9	0,2	9,1
Monel	0,3	0,8	0,6	+ 0,7	+ 0,2
Alliage d'aluminium et de manganèse ..	187,0	1.622,0	27,6	51,6	12,5

Note. — Le signe + signifie que les échantillons ont augmenté de poids.

Perte de poids d'une bande de métal de 35 cm² 58 immergée dans le liquide.

	Solution hypochlorite de soude 5 j. à 20° C. (mgr.)	Solution ehloramine T 5 jours à 20° C. (mgr.)	Solution de chaux 5 jours à 20° C. (mgr.)
Aluminium	0,8	0,2	+ 149,0
Nickel	7,0	+ 0,4	+ 0,3
Etain	29,8	+ 2,5	0,4
Monel	8,2	0,6	+ 1,1
Alliage d'aluminium et de manganèse	5,6	0,4	+ 185,0

Note. — Le signe + signifie que les échantillons ont augmenté de poids.

F. L. LAQUE (*Food Ind.*, t. VII, 1935, p. 582) dans une étude sur le choix des matériaux destinés à l'industrie laitière donne également les renseignements qui suivent :

Etant donné que le nickel et le Monel résistent complètement à la corrosion lorsqu'on les fait bouillir avec de la soude caustique concentrée, il n'est pas étonnant qu'ils résistent parfaitement.

à l'action des agents de nettoyage alcalins. Une expérience prolongée a montré par exemple qu'en immergeant une plaque de nickel dans une solution de soude caustique à 70 % portée à 130° environ, l'attaque du métal ne représente qu'une usure superficielle qui ne dépasse pas 0,0001 mm. par an dans le cas du nickel et 0,0025 mm. dans le cas du Monel. Cet auteur indique également que ces deux métaux résistent aux solutions diluées de chlore employées normalement pour la stérilisation des appareils, mais ne résistent pas par contre à l'attaque des solutions concentrées de produits contenant du chlore.

Nous avons également indiqué précédemment les résultats des études de HUNZIKER et ses collaborateurs sur l'attaque de l'aluminium et de ses alliages par les saumures réfrigérantes. En conservant le même mode opératoire que nous avons décrit, ces auteurs ont aussi examiné l'action de ces saumures sur le nickel, le Monel et différents autres métaux. Dans le tableau ci-dessous, nous avons indiqué la perte de poids de bandes métalliques de 35 cm² 58 de surface, immergées partiellement dans différentes saumures réfrigérantes pendant 10 jours à la température de 0° C.

Saumure au chlorure de calcium — densité : 1,17				
	Neutre	Additionnée de 0,05% de Ca (OH) ²	Additionnée de 0,17% de CrO ⁴ Na ²	Additionnée de 0,13% de SiO ² Na ²
	(mgr.)	(mgr.)	(mgr.)	(mgr.)
Aluminium	0,4	+ 15,6	+ 0,4	0,8
Cuivre	16,0	14,9	9,8	12,2
Fer.....	14,4	16,3	11,0	11,5
Nickel	0,0	0,2	0,7	0,5
Etain	3,6	4,7	2,0	2,8
Zinc	11,9	9,0	7,6	8,7
Monel	0,5	+ 0,2	1,4	10,2
Saumure au chlorure de sodium — densité : 1,17				
	(mgr.)	(mgr.)	(mgr.)	(mgr.)
Aluminium	3,3	40,6	0,0	+ 1,0
Cuivre	13,9	0,7	7,3	12,4
Fer.....	29,5	20,9	21,9	11,0
Nickel	0,9	0,0	0,4	0,0
Etain	2,9	6,7	1,7	2,5
Zinc	17,7	43,0	2,5	35,1
Monel	2,9	+ 0,6	0,9	+ 0,7

Ces chiffres montrent l'excellente résistance à la corrosion du nickel et de ses alliages par les saumures réfrigérantes. On notera

toutefois que contrairement au cas de l'aluminium, il y a intérêt à utiliser des saumures neutres et surtout à éviter de les additionner de chromate.

Ces observations sont confirmées par LAQUE qui indique que la pénétration du nickel par une solution de chlorure de calcium est inférieure à 0,025 par an. La résistance est du même ordre vis-à-vis des solutions de chlorure de sodium.

En résumé, il ressort comme conclusion de toutes ces recherches que le nickel, le Monel et plus encore l'Inconel constituent d'excellents matériaux de construction pour l'aménagement des laiteries. On notera uniquement dans le cas du nickel que certaines précautions doivent être prises dans l'emploi de ce métal et si on veut avoir une sécurité parfaite, il sera préférable de recourir à son alliage, l'Inconel.

L'OFFICE COLLECTEUR DE LAIT FÉMININ A ERFURT

par

le Docteur MARIE-ELISE KAYSER

La misère rend ingénieux, et c'est souvent en des temps pénibles que naissent les bonnes idées. C'est ainsi que les difficultés alimentaires au milieu desquelles on se débattait en Allemagne pendant la guerre et pendant l'inflation, m'ont poussée à fonder en 1919, à Magdebourg, le premier Office collecteur de lait féminin.

On savait depuis de longues années que la mortalité et les maladies infantiles sont en rapport étroit avec l'alimentation des nourrissons. Pour diminuer cette mortalité, on avait entrepris depuis longtemps une propagande en faveur de l'allaitement naturel et ramené ainsi plus d'une maman ignorante ou insoucieuse à la conscience de ses devoirs. Cependant, le danger n'était pas entièrement écarté. 10 à 20% des nourrissons, ne pouvant, pour une raison ou pour une autre, être nourris par leur mère, restaient encore exposés aux multiples dangers que comporte toujours l'allaitement artificiel.

On avait essayé d'obvier à cette situation par trois moyens : 1° en confiant les enfants à des nourrices — femmes en général non mariées — soit dans les cliniques, soit à la maison même (méthode dont on connaît les inconvénients) ; 2° en tenant en permanence, dans des œuvres de bienfaisance et des dispensaires, des femmes dont le lait devait être consommé sur-le-champ et sur place — ce qui n'était pas toujours possible, de sorte que le lait était souvent perdu ; 3° en collectant le lait féminin dans certaines cliniques d'accouchement, comme l'ont fait en particulier MAIERHOFER et