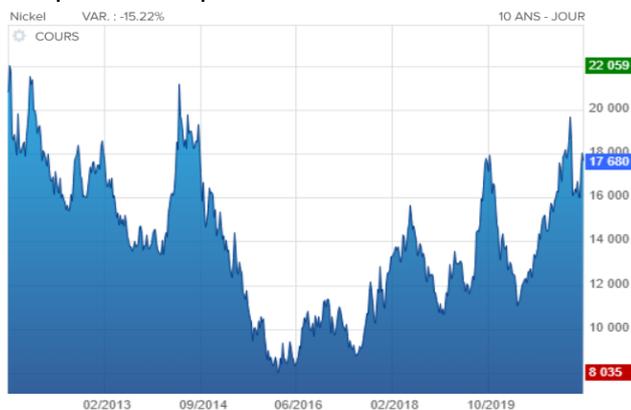


## Pourquoi du nickel dans les alliages de nickel ?

Avant de commencer à répondre à cette question, petite fiche d'identité du nickel :

- Symbole chimique Ni
- Masse volumique 8.9 kg/dm<sup>3</sup>
- Point de fusion +/- 1455°C
- Isolé, c'est un métal blanc-argenté, brillant.
- Il a une excellente ductilité (on peut le plier sans qu'il casse) et une bonne ténacité (il résiste à la traction).
- Il est le 5<sup>ème</sup> élément le plus abondant sur Terre, mais représente seulement 2,4% de la masse terrestre. Et une grande partie n'est pas exploitable (car située dans le noyau terrestre).
- Ses réserves mondiales 'exploitables' sont estimées à 70 Mt, elles se situent principalement en Indonésie (premier pays producteur), France (en Nouvelle-Calédonie, 30% des réserves mondiales), Russie (en baisse), Canada, Etats-Unis, Cuba, Brésil, Australie et Philippines (également en baisse).
- Le nickel est négocié sur le London Metal Exchange (LME), où son prix est fixé en dollars par tonne. Depuis quelques années, il est devenu très spéculatif : son cours est sujet à des variations relativement rapides et importantes.



USD/tonne (source Boursorama)

- Son utilisation remonte au 4<sup>ème</sup> millénaire avant notre ère (dans des bronzes), mais il n'a été isolé qu'à partir du 18<sup>ème</sup> siècle. Et l'utilisation industrielle du nickel commence à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle.

Aujourd'hui, le métal, utilisé d'abord pour fabriquer de l'acier inoxydable, est amené à jouer un rôle crucial dans la décarbonisation et l'électrification de la planète, notamment dans les véhicules électriques. Il fait partie, plus encore peut-être que le lithium, le cobalt ou les terres rares, du pool de ressources naturelles qui entrent dans la composition de nombreuses technologies nécessaires à la transition énergétique. D'après les analystes de Bloomberg NEF, le virage que les leaders du secteur de la batterie sont en train de prendre vers des cathodes à haute teneur en nickel (afin d'accroître la densité de la batterie), pourrait entraîner une multiplication de la demande de nickel par neuf entre 2020 et 2030.

Ce qui nous ramène à la question-titre : pourquoi le nickel dans les alliages de nickel ?

Si dans les aciers inoxydables, le nickel assure la structure austénitique et donc une grande stabilité, la ductilité et une certaine résistance à la corrosion, quel est donc son rôle dans les alliages de nickel ?

Augmenter la résistance mécanique ? Pas vraiment, car le nickel pur ou nickel 201 à l'état recuit est plutôt mou : par exemple, sa résistance à la traction ( $R_m$ ) est de 345 MPa mini., à comparer aux +/- 560 MPa d'un inox 316L.

Améliorer la résistance à la corrosion ? Pas vraiment non plus, sauf dans les milieux alcalins (soude caustique, potasse, ...) ou dans des cas de corrosion localisée (piqûration ou corrosion caverneuse) : dans d'autres milieux dits de corrosion sévère, en particulier quand la température monte un peu, on lui ajoute du cuivre, ou du chrome et/ou du molybdène.

Donc... ?

L'une des grandes qualités du nickel est d'être 'accueillant' : le nickel peut solubiliser à peu près tous les métaux (à l'exception du plomb, de l'argent, du thorium et des métaux alcalins...).

Dans les alliages de nickel, les additifs les plus courants sont le chrome, le molybdène, le tungstène, le cuivre bien sûr, mais aussi le titane, le niobium et l'aluminium, et le cobalt.

Avant d'aborder ces éléments d'alliage, un autre élément doit être mentionné, bien que n'étant pas métallique... c'est le carbone.

A teneur élevée ( $C \geq 0.1\%$ ), les alliages sont résistants à hautes températures, à faible teneur ils sont résistants à la corrosion ( $\leq 0.05\%$ ). Comme, il faut toujours des exceptions, certains alliages peuvent être utilisés dans les deux applications.

Pour illustrer l'influence du carbone, on peut comparer les caractéristiques mini. de barres laminées à chaud et recuites en nickel 200 (haut carbone) et nickel 201 (bas carbone) :

	Ni%	C%	$R_m$ (MPa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	A%
Nickel 200	Mini. 99	0.15 max.	380	105	40
Nickel 201	Mini. 99	0.02 max.	345	70	40

Un peu de carbone en plus permet donc d'élever sensiblement les caractéristiques mécaniques, mais risque de réduire la résistance à la corrosion par la formation de carbures.

Qu'apportent les éléments d'alliage ?

- Le cuivre (Cu) est ajouté pour améliorer la résistance à la corrosion en milieu fluorhydrique ou sulfurique : ce sont les alliages de type Monel®, le plus connu étant l'alliage 400 (63% Ni et 32% Cu)

- Le chrome (Cr) apporte une protection en milieu oxydant, par la formation d'une couche de passivation. On peut citer les alliages Inconel® 600 (72% Ni, 14-17% Cr), 625 (58% Ni, 20-23% Cr, avec un peu de Mo) et 718 (50-55% Ni, 17-21% Cr)
- Molybdène (Mo) et Tungstène (W) permettent d'améliorer la résistance en milieu réducteur :
  - Associés seuls au nickel, on trouve des alliages de type B-2 ou Hastelloy® B-3® (Ni-Mo)
  - Associés au Ni et Cr, on trouve des alliages tels que C-276 et 22 (Ni-Cr-Mo).
- Titane (Ti), niobium (Nb) et aluminium (Al), dans des quantités limitées, permettent d'obtenir un durcissement via un traitement thermique approprié, dans des matériaux comme l'alliage 718 (avec 4.75-5.5% Nb, 0.65-1.15% Ti et 0.2-0.8% Al), qui après traitement thermique ont une charge de rupture de l'ordre de 1300 MPa et une élasticité (0,2%) supérieure à 1000 MPa à température ambiante.
- Le cobalt (Co) permet d'augmenter la dureté de l'alliage, et la température d'utilisation du matériau : si l'utilisation de l'alliage 718 se limite généralement à 650-700 °C, celle de l'alliage C263 qui contient +/- 20% de cobalt peut aller jusqu'à 850-900°C.

Du point de vue mécanique, tous ces éléments viennent augmenter les caractéristiques de la base nickel.

En conclusion, le nickel et ses alliages forment une famille de matériaux métalliques particulièrement utiles pour leur résistance à (très) haute température, et/ou à la corrosion aqueuse avec une solution aux problèmes de corrosion dans pratiquement tous les milieux (basique ou acide ; oxydant ou réducteur). Il est donc particulièrement important de bien connaître leurs propriétés lorsque l'on choisit un matériau pour un équipement spécifique. Outre leur résistance à la corrosion uniforme, ils sont de bons remparts contre la corrosion localisée (piqûres, corrosion par effet de crevasse, corrosion sous contrainte). De nombreuses applications industrielles existent.

Article co-écrit par Stephane BUJEAU, directeur d'ID Alloys, et Patrice HOULLE, docteur en chimie et président de PHCS.

*ID Alloys stocke et distribue des alliages de nickel (tels que 200/201, 400, 600, 625, 718, C-276 et 22, HX, C263 ...) et de cobalt (tels que 188 et L605), principalement sous forme de barres et de tôles. ID Alloys est certifiée ISO 9001 et EN 9120.*

*PHCS (Patrice Houle Corrosion Service) offre ses services pour la préconisation de matériaux ou la réalisation d'études de ruine par corrosion.*

*Monel® & Inconel® sont des marques déposées de Special Metals Corporation,  
Hastelloy® est une marque déposée de Haynes International.*