

## Aciers inoxydables 2023

Ce sont des [aciers](#) alliés présentant une résistance élevée à la corrosion à chaud ou à froid dans de nombreux milieux. Cette résistance chimique est due à la présence de [chrome](#) (à des teneurs supérieures à 10,5 %), qui protège par passivation grâce à la formation d'oxyde  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  à la surface de l'alliage. La résistance à la corrosion atmosphérique est multipliée par cent par rapport aux aciers courants.

### Différents types

#### Aciers au chrome

Contenant de 12 à 27 % de Cr. Ils possèdent l'une ou l'autre des structures suivantes :

**Martensitique** : avec 12 à 18 % de Cr. Cette structure correspond à une sursaturation en carbone dans la structure fer alpha obtenue par trempe à partir de l'austénite (fer gamma). Ils allient une bonne résistance à la corrosion à des caractéristiques mécaniques élevées. Ils sont utilisés pour les instruments chirurgicaux, en coutellerie, etc...

**Ferritique** (de structure fer alpha) : avec une teneur élevée en chrome ou la présence d'éléments alphas (Zr, Ti, Nb), qui ne permettent pas la transformation, à chaud, en austénite et donc ne donnent pas de trempe martensitique. Les plus utilisés, en architecture, dans les ustensiles de cuisine, contiennent 17 % de Cr. Ils sont plus économiques que les aciers Cr-Ni de type 18-10 car le nickel compte pour plus de 40 % dans le coût de production des aciers inoxydables. Les aciers Cr-Ni contiennent aussi du [molybdène](#) dont les cours sont élevés.

Ils représentent 20,8 % de la production mondiale d'aciers inoxydables, en 2021.

#### Aciers au chrome-nickel

La nuance de base contient 18 % de Cr et 10 % de [Ni](#) (nuance 18-10). Ils renferment peu de [carbone](#) : de 0,02 à 0,15 %. Les éléments le plus souvent ajoutés sont [Mo](#) et [Mn](#). Ils possèdent une structure :

**Austénitique** : la structure fer gamma est conservée à la température ambiante. Ils ne prennent pas la trempe et sont amagnétiques. Ils allient une grande résistance à la corrosion à une bonne aptitude à la déformation facilitant la mise en forme. Ce sont les aciers inoxydables les plus utilisés, dans les industries chimiques, alimentaires, les couverts de table de qualité (car les couverts courants, dans les collectivités par exemple, sont en acier inoxydable ferritique).

Ils représentent 56,7 % de la production mondiale d'aciers inoxydables en 2021.

#### Aciers au chrome-manganèse

Pour faire face au coût élevé du nickel, dans des pays asiatiques tels que l'Inde et la Chine, des nuances d'acier ont été développées en remplaçant, en partie, le nickel par le [manganèse](#), avec présence d'[azote](#) et parfois de [cuivre](#). Les teneurs en chrome sont comprises entre 15 et 19 %, en manganèse de 4 à 16 %, en nickel de 1 à 7 %, en cuivre de 0 à 4 %, en azote jusqu'à 0,5 %.

Ils représentent 21,1 % de la production mondiale d'aciers inoxydables, en 2021.

## **Aciers austéno-ferritiques**

Appelés Duplex, ils sont biphasés, 50 % alpha, 50 % gamma pour la nuance la plus répandue. Ils contiennent de 22 à 25 % de Cr et de 4 à 7 % de Ni. Ils sont surtout utilisés pour élaborer des aciers moulés.

## **Rôle des ajouts et du carbone**

Ni : pour des teneurs allant jusqu'à 9 %, il augmente le domaine de stabilité de la phase austénitique (c'est un élément gammagène) et améliore la résistance à la corrosion en milieu acide.

Mo : de 1 à 3 %, il renforce l'action de Cr.

C : forme, aux joints de grains, des carbures de chrome ( $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ), ce qui entraîne une déchromisation dans les zones proches des joints de grains et ainsi facilite la corrosion intergranulaire. On utilise soit de très basses teneurs en carbone ( $< 0,03$  %), soit des ajouts de Ti et/ou Nb qui piègent le carbone.

## **Fabrication industrielle**

La difficulté réside dans la nécessité d'atteindre une décarburation importante tout en évitant des pertes élevées de chrome par oxydation. Les équilibres d'oxydation de Cr et C sont déplacés dans le sens d'une oxydation préférentielle du carbone, en faisant le vide (procédé V.O.D : Vacuum Oxygen Decarburization), ou plus couramment, en diluant le CO formé par un gaz neutre ([argon](#) ou [diazote](#) dans le procédé A.O.D. : Argon-Oxygène-Décarburation).

**Procédé A.O.D.** : utilisé par 70 % des capacités mondiales de production.

Un mélange de [ferrailles](#), de chutes d'acier inoxydable recyclées, de [ferrochrome](#), de [ferronickel](#) et de divers éléments d'alliage est fondu vers 1700°C dans un four à arc électrique (plus rarement à induction), la teneur en carbone est alors de 1,5 à 2,5 %, puis coulé dans un convertisseur dans lequel est injecté du [dioxygène](#) dilué par de l'[argon](#).

Le rapport initial oxygène-argon est de 3 parts de dioxygène pour 1 part d'argon. Au cours de la décarburation, la proportion d'oxygène diminue fortement. La réaction de décarburation étant fortement exothermique, l'ajout de ferrailles froides permet de maintenir la température vers 1700°C. Après la décarburation, l'ajout de [ferrosilicium](#) permet de réduire l'oxyde de chrome formé. Les fours utilisés ont des capacités qui peuvent atteindre 160 t. La fusion dure environ 1 h 30 et la décarburation de 1 h à 1 h 30.

**Procédé V.O.D.** : l'association entre convertisseur et affinage V.O.D. (Vacuum Oxygen Decarburization) qui permet d'atteindre de très faibles taux de carbone représente 18 % des capacités mondiales de production alors que le procédé V.O.D. employé seul en représente 7 %.

## **Recyclage**

On estime que 60 % de la production provient d'acier recyclé (25 % d'aciers en fin de vie, soit un cycle long après usage, 35 % de chutes neuves de production, cycle très court correspondant à une refonte des chutes d'usines).

## **Normes AFNOR**

Dans l'ordre :

**Lettre** : X indique que l'acier est allié avec au moins 1 élément d'addition dépassant la teneur de 5 % en masse.

**Nombre** : indique la valeur multipliée par cent de la concentration en carbone exprimée en % en masse.

**Lettres** : précisent, par leur symbole chimique, les éléments d'addition majoritaires, rangés en teneur décroissante.

**Nombres séparés par des traits d'union** : donnent les concentrations des éléments d'alliages, classés dans l'ordre des symboles préalablement décrits, exprimées en % en masse s'ils sont supérieurs à 5 %.

Exemples avec, entre parenthèse, la norme américaine AISI (American Iron & Steel Institute) :

- X 2 CrNi 18-10 (304L) : C : 0,02 %, Cr : 17 à 19 %, Ni : 9 à 11 %, utilisés en chaudronnerie nucléaire et autres usages civils.
- X 2 CrNiMo 17-12 (316L) : C : 0,02 %, Cr : 16-18 %, Ni : 11-13 %, Mo : 2 %, utilisés dans les industries chimiques, pétrolières, agro-alimentaires, pour les cuves de vins, etc...
- X 8 Cr 17 (430) : C : 0,08 %, Cr : 16-18 % (acier inoxydable ferritique) utilisés pour les articles de ménage, l'électroménager, les éviers, etc...
- X 6 CrTi 12 (409) : C : 0,06 %, Cr : 11-13 %, Ti, utilisé dans les échappements automobiles.
- X 9 CrMnNiCu 17-8-5-2 (série 200) : acier au chrome-manganèse surtout fabriqué en Asie.

## Productions

En 2021. Monde : 58,289 millions de t, Union européenne : 7,181 millions de t.

en milliers de t			
Chine	32 632	Corée du Sud, en 2020	2 199
Inde	3 965	Italie	1 501
Japon	2 865	Taipei chinois	962
Indonésie, en 2020	2 829	Espagne	928
États-Unis	2 368	Allemagne	429

Source : ISSF

En 2021, les productions regroupées de Finlande, Suède, Royaume Uni, Pologne, Slovaquie et République tchèque sont de 2,419 millions de t, celles de Belgique et d'Autriche de 1,632 million de t.

A la fin du XX<sup>ème</sup> siècle, la Chine ne produisait pratiquement pas d'aciers inoxydables, en 2005, elle produisait 12,9 % du total mondial, en 2021, 56 %. Entre 2005 et 2021, la part de l'Union européenne est passée de 34,8 % à 12,3 %.

La production d'aciers inoxydables représente environ 3 % de la production mondiale d'aciers.

Les produits plats représentent 81,7 % de la production, les produits longs, 8,3 %.

Les aciers inoxydables Cr-Ni (série 300) représentent, en 2021, 56,7 % de la production, les aciers au chrome (série 400), 20,8 %, les aciers Cr-Mn (série 200), 21,1 %.

En 2021, le commerce international a porté sur 22,630 millions de t d'aciers inoxydables et 5,469 millions de t de déchets d'aciers inoxydables.

**Producteurs** : capacités de production, en 2022, sur un total mondial de 59,6 millions de t/an, en 2021.

en millions de t/an

<a href="#">Tsingshan</a> (Chine)	13,8	<a href="#">Posco</a> (Corée du Sud)	3,3
<a href="#">Jiangsu Delong</a> (Chine)	5,9	<a href="#">Outokumpu</a> (Finlande)	3,2
<a href="#">Baosteel</a> (Chine)	5,2	<a href="#">Acerinox</a> (Espagne)	3,2
<a href="#">Tisco</a> (Chine)	4,5	<a href="#">Aperam</a> (Luxembourg)	3,0

Sources : *Outokumpu et rapports des sociétés*

- [Tsingshan](#) produit des aciers inoxydables en Chine, à Fuan Bay dans la province de Fujian, Qingtian dans la province de Zhejiang et Yangjiang dans la province de Guangdong et en Indonésie à Morowali dans l'île de Sulawesi. En 2019, la production a été de 10,65 millions de t.
- [Posco](#) produit des aciers inoxydables en Corée du Sud à Pohang et Gwangyang avec, en 2021, une production de 2,984 millions de t et en Chine, avec 82,5 % d'une joint-venture (Zhangjiagang Pohang Stainless Steel) et une production en 2021 de 989 000 t. Le ferronickel utilisé provient principalement de Nouvelle Calédonie.
- [Acerinox](#) possède des unités de fabrication à Palmones, près de Gibraltar, en Espagne, avec, en 2021, 804 202 t, Carroll County dans le Kentucky, aux États-Unis, avec 1,161 million de t, à Middelburg, en Afrique du Sud, avec 76 % de participation et 575 699 t et Johor Bahru, en Malaisie, avec 98 % de participation et 120 478 t. En 2021, la production totale a été de 2,541 millions de t.
- En décembre 2012, [Outokumpu](#) a pris le contrôle d'Inoxum, branche aciers inoxydables du groupe ThyssenKrupp. Les unités de production sont situées à Tornio, en Finlande avec 1,45 million de t/an de capacité de production, à Avesta, en Suède avec 450 000 t/an, à Sheffield, au Royaume Uni avec 450 000 t/an, à Calvert, dans l'Alabama, aux États-Unis avec 900 000 t/an. En 2021, la production a été de 2,395 millions de t.  
L'usine intégrée de Tornio, en Finlande, est proche de la mine de chrome de Kemi, exploitée par Outokumpu, qui produit des concentrés de chromite transformés en ferrochrome à Tornio avec, en 2021, une production de 515 000 t.
- [Aperam](#), filiale d'ArcelorMittal, produit de l'acier inoxydable en Belgique, avec une production, en 2021, de 1,170 million de t, à Genk et au Châtelet et au Brésil, avec une production de 626 000 t, à Timóteo dans l'État de Minas Gerais. En 2021, la production totale a été de 1,82 million de t.

## Situation française

La production d'aciers inoxydables a été, en 2021, de 270 000 t.

- Usinor, fondé en 1948, a fusionné en 2002 avec l'espagnol Aceralia et le luxembourgeois Arbed pour donner Arcelor, puis en 2006, a été absorbé par le groupe néerlandais Mittal pour donner [ArcelorMittal](#). La branche aciers inoxydables d'ArcelorMittal est devenue, fin 2010, Aperam. En France, l'activité du groupe se limite à la transformation de l'acier inoxydable brut en tôles laminées à Gueugnon (71) et Isbergues (62).
- [Industeel](#) (ex Creusot Loire Industrie), filiale d'[ArcelorMittal](#), produit des tôles hyper lourdes (cuves de [centrales nucléaires](#)) et des aciers inoxydables dans les usines du Creusot (71), de Châteauneuf (42) et de St Chamond (42).

- [Ugitech](#), filiale du groupe [Swiss Steel](#) produit de l'acier inoxydable brut à Ugine (73) et le transforme en produits long (barres et fils) à Ugine (73), Imphy (58), Brionne (27) et Bourg en Bresse (01). En 2021, la production est de 187 000 t.
- [Aubert & Duval](#) (filiale du groupe [Eramet](#)) exploite des usines à Gennevilliers (92), Les Ancizes (63), Issoire (63), Imphy (58), Firminy (42) et Pamiers (09).

## Utilisations

**Consommation** : en 2020, la consommation mondiale a été de 42,8 millions de t à 45 % en Chine, 27 % en Asie hors Chine, 13 % en Europe de l'Ouest, 11 % en Amérique.

La consommation mondiale était de 2,3 millions de t, en 1960.

**Secteurs d'utilisation** : en 2021, dans le monde.

Produits métalliques	37,5 %	Véhicules à moteur	8,5 %
Ingénierie mécanique	28,8 %	Équipements électriques	7,8 %
Construction	12,3 %	Autres transports	5,1 %

Source : ISSF

En 2017, les biens de consommation et le secteur médical représentent 49 % de la consommation, la chimie, la pétrochimie et la production d'énergie, 16 %.

## Utilisations diverses :

C'est la présence, à la surface de l'acier, d'une très mince couche passive d'oxyde de chrome ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), de 2 à 5 nm d'épaisseur, qui assure la protection de l'acier inoxydable contre la corrosion.

- Chimie : l'utilisation des aciers inoxydables a débuté en 1920, dans l'industrie de l'[acide nitrique](#).
- Produits ménagers : tambours de lave-linge, éviers, couverts, plats, etc. Nisshin Steel a mis au point un acier inoxydable bactéricide (avec 1,5 % de [Cu](#)) destiné à être utilisé dans les tambours de lave-linge.
- Pièces de monnaie : utilisation d'environ 180 000 t/an, (Brésil...).
- Casseroles : l'inox représente 21 % du marché français des casseroles, l'acier émaillé, 55 %. Producteur n°1 européen : [Sitram](#), qui couvre 70 % du marché français, exporte 40 % de sa production réalisée dans l'usine de St-Benoît-du-Sault (36). Possède également une usine à Shanghai (Chine).
- Bâtiment : en France, 3 millions de  $\text{m}^2$  de toits sont recouverts d'inox. Exemples parisiens : le Palais de Justice et la gare du Nord. Utilisation en architecture : façade de l'Opéra Bastille. En France, le bâtiment représente 10 % de la consommation d'aciers inoxydables.
- Transports : métro de New-York, pots d'échappements.
- Agro-alimentaire : industries du chocolat, des produits laitiers, cuves et fûts des brasseries, cuves viticoles (17 % du vin français est stocké dans de l'acier inoxydable). Pour être reconnu de qualité alimentaire, un acier inoxydable doit contenir plus de 13 % de Cr. En vinification, l'acier AISI 304 (CrNi 18-10) est plutôt employé pour les vins rouges, l'acier AISI 316L (CrNiMo 17-12) pour les vins blancs (contenant du [SO<sub>2</sub>](#)).
- Fûts à bière : 70 % des fûts sont en acier inoxydable, 20 % en [aluminium](#), 10 % en bois. En Europe de l'Ouest, le marché est de 3,7 millions d'unités/an dont 250 000 en France. La consommation mondiale d'acier inoxydable dans ce secteur est de 30 000 t/an.

