

## 2.2 Aciers inoxydables

### Résistance à la corrosion

À l'exception de certains métaux précieux comme l'or ou le platine, les métaux extraits de minerais ont toujours tendance à retourner à un état combiné, s'altérant au contact de l'atmosphère, de l'eau ou de toute substance corrosive industrielle.

Les aciers dits «inoxydables» ne possèdent pas une résistance généralisée et absolue à la corrosion. Ils se présentent sous forme d'alliages ayant des aptitudes à résister à une ambiance particulière pendant une durée donnée. Leur résistance provient de leur capacité à s'auto-protéger par la formation spontanée à leur surface d'un film complexe d'oxydes et d'hydroxydes de chrome, appelé «couche passive» qui protège le substrat métallique de la corrosion généralisée et des attaques localisées. Cette couche extrêmement mince (de l'ordre de 1 à 2 $\mu$ ) rend négligeable la couche de corrosion.

Les types de corrosion les plus sévères pour les aciers inoxydables sont la corrosion par piqûres, la corrosion caverneuse et la corrosion intergranulaire.

La composition chimique des aciers inoxydables détermine leur comportement au regard de ces différents types de corrosion. Les éléments les plus influents sont le chrome (Cr), le nickel (Ni), le molybdène (Mo) et le cuivre (Cu). La faible teneur en carbone est essentielle pour préserver les propriétés mécaniques des éléments de fixation pouvant être utilisées à des températures élevées.

### Alliages fer-carbone-chrome

Le carbone mis en contact à chaud avec le chrome crée une précipitation de carbure de chrome diminuant la tenue à la corrosion. On réduit cette diminution par l'emploi de stabilisants (titane, niobium) et en diminuant le taux de carbone. Selon la composition chimique de l'alliage on obtient différents types d'aciers ayant des comportements différents.

Les aciers inoxydables peuvent être classés en quatre grandes familles possédant chacune leurs propres caractéristiques :

- les aciers inoxydables austénitiques,
- les aciers inoxydables martensitiques,
- les aciers inoxydables ferritiques,
- les aciers inoxydables austéno-ferritiques (aussi appelés «duplex»).

#### Les aciers inoxydables austénitiques (nuances A1 à A5)

Ce sont de loin les plus connus et les plus employés. Ils contiennent, outre une teneur en chrome minimale de 17%, du nickel (à hauteur de 7% ou plus) et des additions éventuelles de molybdène, titane, niobium...

Afin de réduire la susceptibilité à l'érouissage, du cuivre peut être ajouté.

Leurs caractéristiques mécaniques en traction sont généralement modestes

mais peuvent être, pour certaines nuances, considérablement accrues par érouissage. Ils sont par contre très indiqués, de par leur absence de fragilité à basse température, pour les emplois cryogéniques.

Leur tenue à la corrosion augmente avec les teneurs en chrome et molybdène. Leur résistance à l'oxydation croît avec leur teneur en chrome : les standards à 18% de chrome résistent en atmosphère oxydante non sulfureuse jusque vers 800°C. Au-delà, il faut s'orienter vers des nuances dites «réfractaires», nettement plus alliées.

L'introduction d'éléments stabilisants tels que le titane ou le niobium permet d'éviter la corrosion intergranulaire, en particulier sur les soudures, et accroît la résistance mécanique à haute température.

#### Aciers de nuance A1

Les aciers de nuance A1 sont tout spécialement destinés à l'usinage. Du fait du haut taux de soufre contenu, ce groupe d'aciers à une résistance moindre à la corrosion que les aciers au taux de soufre normal.

#### Aciers de nuance A2

Les aciers de nuance A2 sont les plus utilisés, notamment pour les équipements de cuisine, les appareils destinés à l'industrie chimique, les éléments de fixation...

Les aciers de ce groupe ne conviennent pas pour les utilisations en acide non oxydant et comprenant des agents au chlore, comme les piscines ou l'eau de mer.

#### Aciers de nuance A3

Les aciers de nuance A3 sont des aciers inoxydables stabilisés avec les mêmes propriétés que les aciers de nuance A2.

#### Aciers de nuance A4

Les aciers de nuance A4, alliés en molybdène, sont «résistants à l'acide» et donnent une meilleure résistance à la corrosion. Cette nuance est très utilisée dans l'industrie de la cellulose puisque cette nuance d'acier est développée pour l'acide sulfurique porté à ébullition (d'où le nom «résistant à l'acide»). Il convient également dans une certaine mesure aux environnements chlorés. L'A4 est aussi fréquemment utilisé par l'industrie alimentaire et la construction navale.

#### Aciers de nuance A5

Les aciers de nuance A5 sont des aciers stabilisés «résistants aux acides» avec les mêmes propriétés que les aciers de nuance A4.

#### Les aciers inoxydables martensitiques (nuances C1 à C4)

Ces aciers contiennent en général 12 à 19% de chrome, leur teneur en carbone variant de 0,08 à 1,2%. Ils peuvent contenir du nickel et du molybdène ainsi que

certains éléments d'addition tels que cuivre, titane ou vanadium. Ils sont souvent livrés à l'état recuit. Il est évidemment recommandé de les utiliser - au même titre que les aciers pour la construction mécanique - à l'état trempé revenu, représentant le meilleur compromis entre résistance à la corrosion et propriétés mécaniques. Ils présentent un intérêt certain lorsque la température de service n'excède pas 650°C (exemple des turbines de production d'énergie). Dans la pratique, on les utilise :

- soit après trempe et revenu de détente vers 200°C, ce qui permet de conserver la résistance mécanique maximale,
- soit après trempe et revenu entre 55° et 700°C, assurant ainsi un meilleur compromis résistance / résilience / tenue à la corrosion.

Ces aciers permettent d'associer une résistance à la corrosion intéressante à des propriétés mécaniques équivalentes à celles des aciers alliés de haut de gamme. Ils peuvent être écrouis pour l'obtention d'une meilleure résistance et sont magnétiques.

#### Aciers de nuance C1

Les aciers de nuance C1 ont une résistance à la corrosion limitée. Ils sont utilisés dans les pompes, les turbines et la coutellerie.

#### Aciers de nuance C3

Les aciers de nuance C3 ont une résistance à la corrosion limitée, même si elle est meilleure que celle des aciers de nuance C1. Ils sont utilisés dans les pompes et les valves.

#### Aciers de nuance C4

Les aciers de nuance C4 ont une résistance limitée à la corrosion. Ils sont destinés à l'usinage et sont, pour le reste, similaires aux aciers de nuance C1.

#### Les aciers inoxydables ferritiques (nuance F1)

Ce sont des alliages fer-chrome ou fer-molybdène dont la teneur en chrome varie de 10,5% à 28% et dont la teneur en carbone n'excède pas 0,08%. Ces aciers ne contiennent en général pas de nickel.

D'autres éléments d'addition - tels que Ti, Nb ou Zr - peuvent être introduits en vue d'améliorer certaines propriétés telles que soudabilité, résistance à la corrosion ou aptitude au formage à froid.

Les aciers ferritiques à teneur élevée en carbone (>20%) sont essentiellement utilisés pour leur résistance à la corrosion remarquable (super-ferritiques) et à l'oxydation à chaud.

Certaines nuances alliées au molybdène et/ou au titane possèdent une résistance à la corrosion comparable à celle des aciers austénitiques.

Ces aciers ne prennent pas la trempe et sont utilisés à l'état recuit. Ils sont très sensibles au grossissement de grain à haute température mais peuvent cependant être employés jusque vers 800°C en atmosphère oxydante (certains au-delà). A haute température, du fait de l'absence de nickel, ils sont souvent

plus résistants aux atmosphères sulfureuses que les aciers austénitiques. Leur fragilité à basse température les destine peu aux applications cryogéniques. Contrairement aux idées reçues, le fait que cette famille d'aciers soit magnétique n'est en aucun cas corrélé à une mauvaise résistance à la corrosion. Certaines nuances ont dans ce domaine des propriétés comparables, voire supérieures à celles des aciers austénitiques les plus courants.

#### Aciers de nuance F1

Les aciers de nuance F1 ne peuvent pas être écrouis normalement et devraient même dans certains cas, ne pas l'être. Les aciers de nuance F1 sont magnétiques. Les aciers de ce groupe sont normalement utilisés pour des équipements simples, à l'exception des «super-ferritiques» dont le taux de C et N est très bas. Ces aciers peuvent être utilisés dans des environnements très chlorés.

### Désignation

Le système de désignation des nuances d'acier inoxydable et des classes de qualité pour les produits de fixation est illustré dans le tableau 2.2-1. La désignation du matériau se compose de deux groupes de caractères séparés par un trait d'union. Le premier désigne la nuance d'acier, le deuxième la classe de qualité. La désignation des nuances d'acier (premier groupe) se compose d'une lettre qui désigne le groupe d'acier :

- **A** pour l'acier austénitique,
- **C** pour l'acier martensitique,
- **F** pour l'acier ferritique.

Cette lettre est suivie d'un chiffre qui désigne la variation de la composition chimique dans ce groupe d'acier.

La désignation de la classe de qualité (deuxième groupe) consiste en deux chiffres indiquant 1/10ème de la résistance à la traction de l'élément de fixation.

#### - Exemple : A2-70

Désigne un acier austénitique écroui à froid, dont la résistance minimale à la traction est de 700 N/mm<sup>2</sup> (700 MPa).

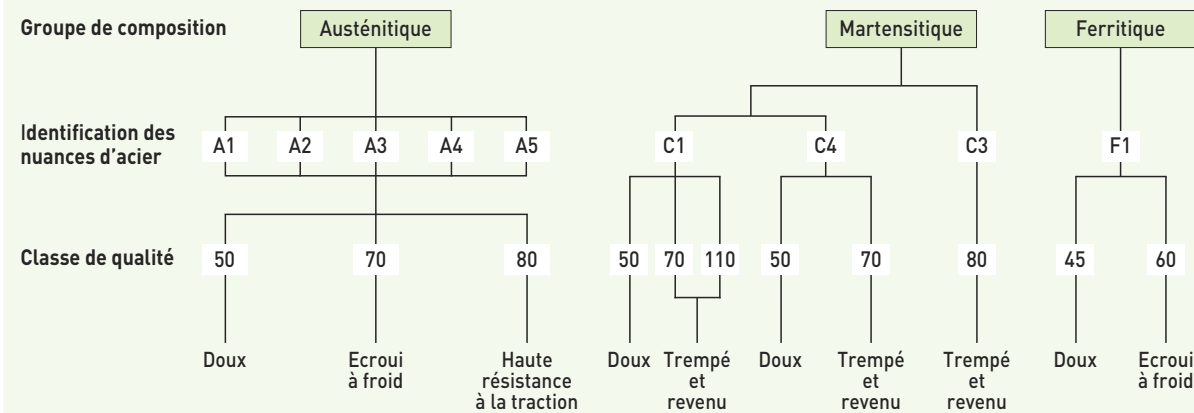
#### - Exemple : C4-70

Désigne un acier martensitique trempé et revenu, dont la résistance minimale à la traction est de 700 N/mm<sup>2</sup> (700 MPa).

**Le marquage des aciers inoxydables à faible teneur en carbone n'excédant pas 0,03% peut être complété par la lettre L : exemple A4L-80.**

**Avvertissement : les normes de référence ISO 3506-1 et ISO 3506-2 sont actuellement en révision. Les nouvelles versions introduiront de nouvelles nuances notamment les aciers "Duplex".**

2.2-1. Système de désignation des nuances d'acier inoxydable et des classes de qualité pour les vis et goujons



Principales caractéristiques des aciers inoxydables

2.2-2

Composition chimique [%]	Austénitiques					Martensitiques			Ferritiques F1
	A1	A2	A3	A4	A5	C1	C3	C4	
C	0,12	0,1	0,08	0,08	0,08	0,09 à 0,15	0,17 à 0,25	0,06 à 0,15	0,12
Si	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mn	6,5	2	2	2	2	1	1	1,5	1
P	0,2	0,05	0,045	0,045	0,045	0,05	0,04	0,06	0,04
S	0,15 à 0,35	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,15 à 0,35	0,03
Cr	16 à 19	15 à 20	17 à 19	16 à 18,5	16 à 18,5	11,5 à 14	16 à 18	12 à 14	15 à 18
Mo	0,7	- [5]	- [5]	2 à 3	2 à 3	-	-	0,6	- [6]
Ni	5 à 10	8 à 19	9 à 12	10 à 15	10,5 à 14	1	1,5 à 2,5	1	1
Cu	1,7 à 2,25	4	1	1	1	-	-	-	-
Notes	[2] [3] [4]	[7] [8]	[9]	[8] [10]	[9] [10]	[10]		[2] [10]	[11] [12]

1. Sauf indications contraires, les valeurs sont maximales.
2. Le soufre peut être remplacé par le sélénium.
3. Si Ni < 8%, le Mn doit être de 5%.
4. Pas de limite de Cu pourvu que Ni > 8%.
5. Le fabricant peut choisir d'inclure du Mo. Toutefois si certaines applications exigent une limitation, elle doit être stipulée à la commande.
6. Le fabricant peut choisir d'inclure du Mo.
7. Si Cr < 17%, le Ni doit être de 12% minimum.
8. Pour les aciers austénitiques au C maximum de 0,03%, la teneur en azote est limitée à 22%.
9. Doit contenir du Ti ≥ 5xC jusqu'à 0,8% maximum pour stabilisation et doit être marqué selon ce tableau ou doit contenir du niobium (colombium) et/ou du tantalum ≥ 10xC jusqu'à 1% maximum pour stabilisation et être marqué selon ce tableau.
10. Le fabricant peut choisir d'augmenter la teneur en carbone lorsque que l'obtention des caractéristiques mécaniques pour les diamètres supérieurs l'exige mais ne doit pas dépasser 0,12% pour les aciers austénitiques.
11. Peut contenir du Ti ≥ 5xC jusqu'à 0,8% maximum.
12. Peut contenir du niobium (colombium) et/ou du tantalum ≥ 10xC jusqu'à 1% maximum.

Aciers inoxydables	Ferritiques et semi-ferritiques	Austénitiques					Martensitiques	A durcissement structural	Réfractaires
		Sans molybdène	Avec molybdène	Stabilisés	A bas taux de carbone	Austéno-ferritiques			
<b>Exemples de nuances d'aciers inoxydables</b>									
NFA	Z8C17	Z6CN18-10	Z6CND17-11	Z6CNT8-10	Z3CN18-10	Z5CND27-05Az	Z20C13	Z7CNU17-04	Z12CN25-20
DIN	1.4016								
AISI	430								
<b>Caractéristiques mécaniques</b>									
Résistance Rm	++	++	++	++	+	+++	+++	++++	++
Résistance Re	++	+	+	+	+	++	+++	++++	++
Dureté	+++	+	+	+	+	+++	++++	-	-
Résilience	+	+++	+++	+++	+++	+++	+	+	++
Usinabilité	++	+	+	+	+	+	+++	+	+
Soudabilité	+	++	++	++	+++	++	-	-	++
Trempabilité	+	+	+	+	-	+	++++	+	+
Amagnétisme	-	+	+++	+	+	-	-	-	-
<b>Résistance à la corrosion</b>									
A froid	+	+++	+	+++	++	++	++	++++	+++
A température ambiante	+	++	+++	+++	++	+++	+++	++++	+++
A chaud	+	+	+	++	++	+++	+++	++++	+++++
Aux piqûres	+	+	+++	+	+	+++	-	+++	+++
Intergranulaire	+	-	-	+++	+++	-	-	+++	+++
Sous contrainte	+	-	-	-	-	+++	-	+++	+++

- mauvais, + faible, ++ modéré, +++ bon, ++++ élevé, +++++ excellent