

# Support de cours pour enseignants d'Architecture et de Génie Civil




## **Module 5 : Résistance à la corrosion des aciers inoxydables**

# Contenu

1. La plupart des matériaux se dégrade avec le temps
2. Pourquoi est-ce que l'acier inoxydable résiste à la corrosion ?
3. Types de corrosion des aciers inoxydables
4. Comment choisir l'acier inoxydable adapté au niveau de résistance à la corrosion recherché ?
  - Applications structurales
  - Autres applications
5. Références

1. La plupart des matériaux se dégrade  
avec le temps




# La plupart des matériaux se dégrade avec le temps

Matériau	Bois	Acier	Béton
			
Types de dégradation	Champignons Insectes Soleil & pluie	Rouille	Fissures/Écaillage
Mesures correctives	Chimiques Peintures/vernis	Galvanisation Peinture	Armatures résistantes à la corrosion

# La plupart des matériaux se dégrade avec le temps

Matériau	Pierre	Verre	Polymères
			
Types de dégradation	Usure Dommages dus à la pollution	Bris	Deviennent fragiles sous les UV
Mesures correctives	Généralement aucune n'est prise	Verre trempé	Polymères plus résistants

# La plupart des matériaux se dégrade avec le temps

Matériau	Aluminium*	Cuivre	Acier inoxydable
			
Types de dégradation	Piqûres avec le temps, corrosion galvanique possible	Forme une patine verte avec le temps	Aucune dégradation
Mesures correctives	La corrosion galvanique peut être empêchée	Aucune	Inutile

\* Les aluminium forment une mince couche d'oxydes protectrice, exactement comme l'acier inoxydable, mais avec une résistance à la corrosion beaucoup plus faible

# La corrosion du béton armé

(les problèmes de corrosion ne sont pas limités aux surfaces extérieures !)



Image courtesy of Arminox Stainless



Les aciers inoxydables fournissent à la fois résistance mécanique et résistance à la corrosion au sein du béton, assurant une longue vie à la structure et cela sans entretien.

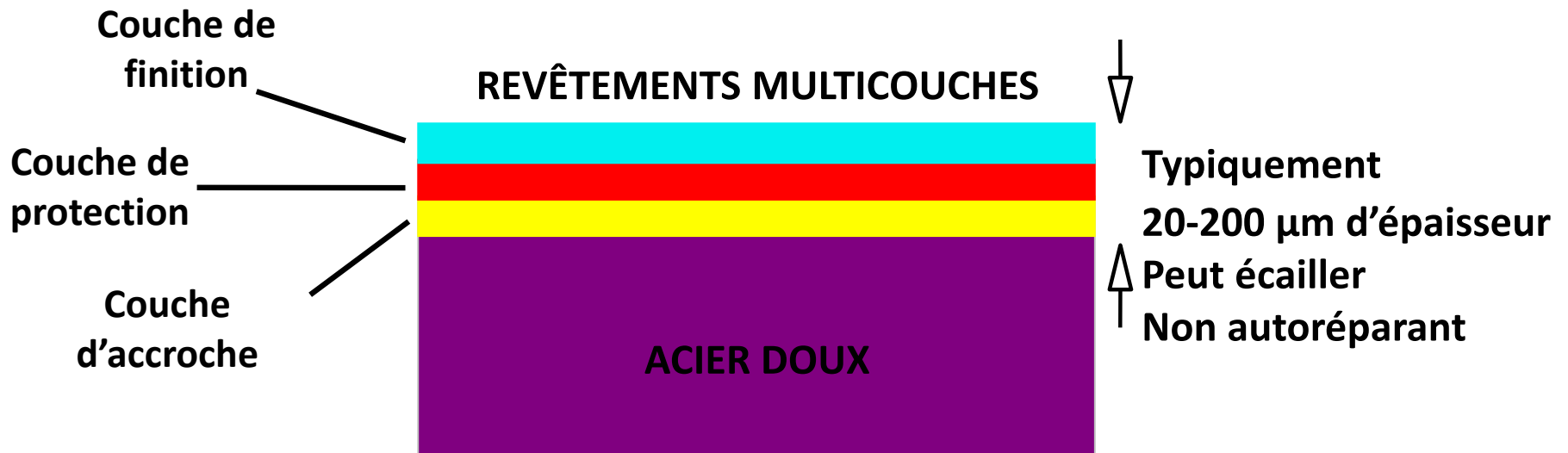
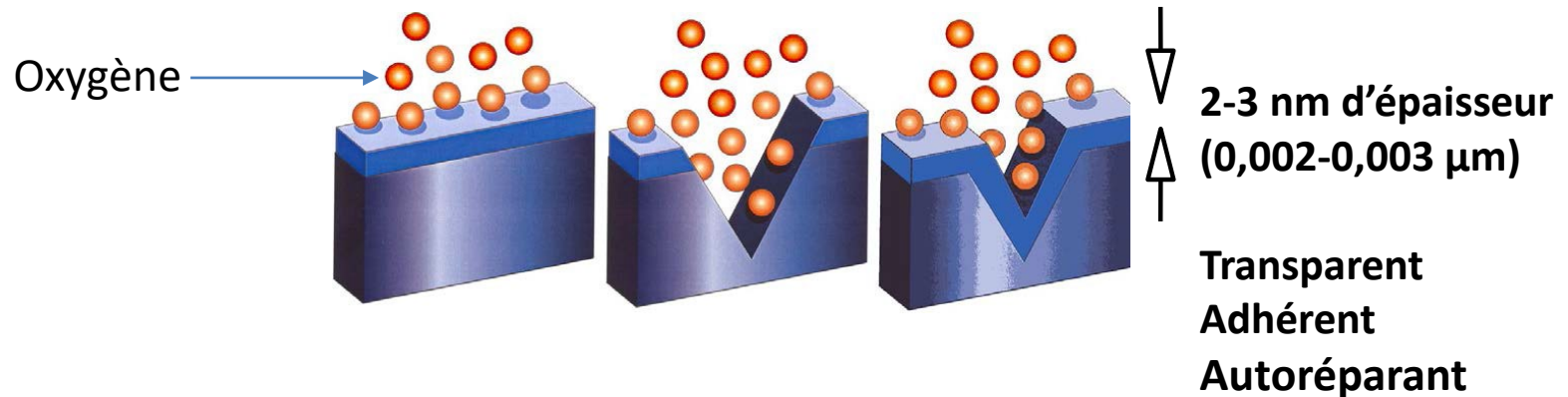
- La corrosion de l'acier au carbone non protégé se développe à l'intérieur même des structures en béton armé car les chlorures présents dans l'environnement (sels marins/sels de déverglaçage...) diffusent à l'intérieur du béton.
- Le volume des produits de corrosion (rouille) est plus grand que celui du métal lui-même, créant, en gonflant, des contraintes de traction qui provoquent un écaillage de la peau du béton.
- Il faut donc essayer d'atténuer la corrosion des armatures dans le béton.
- Des techniques variées sont utilisées : enrobage plus épais, protection cathodique, membranes, revêtements époxy... et **le recours à l'inox** plutôt qu'à l'acier au carbone.

2. Pourquoi est-ce que l'acier inoxydable résiste à la corrosion ?



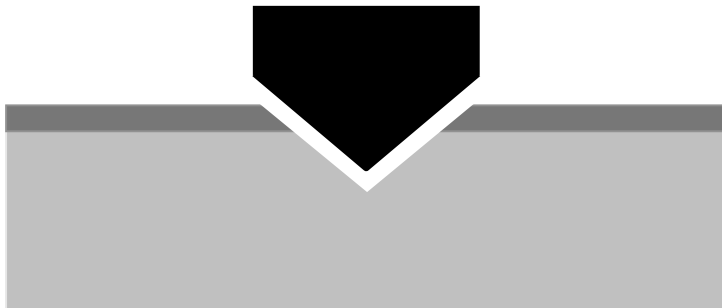
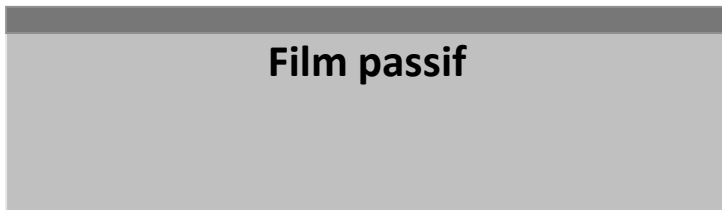
# Couche passive ou revêtements

## FILM PASSIF sur L'ACIER INOXYDABLE : Oxyhydroxydes de Fe et de Cr

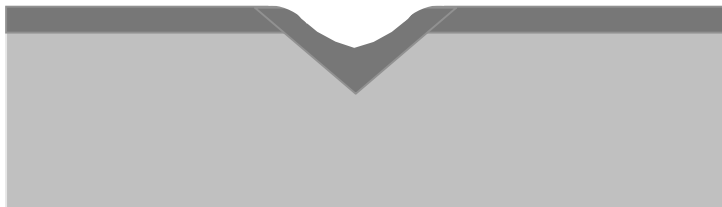


# Dommmages de la couche protectrice

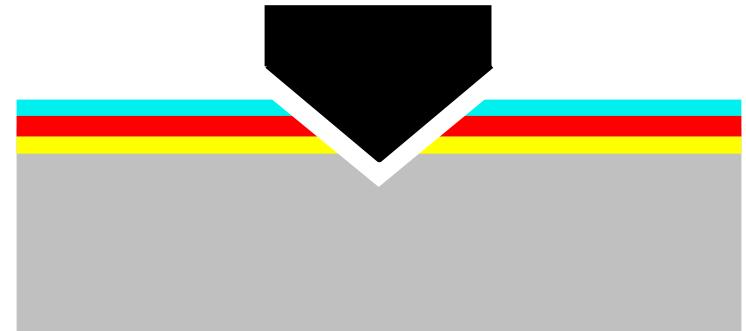
## Acier inoxydable



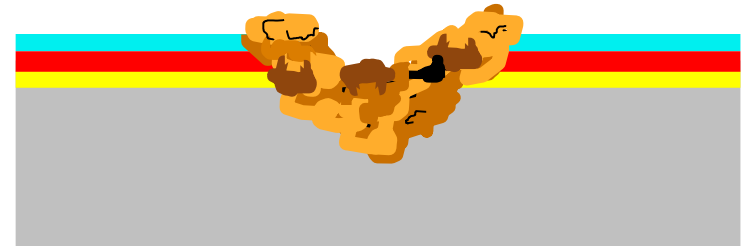
## Autoréparant



## Acier doux



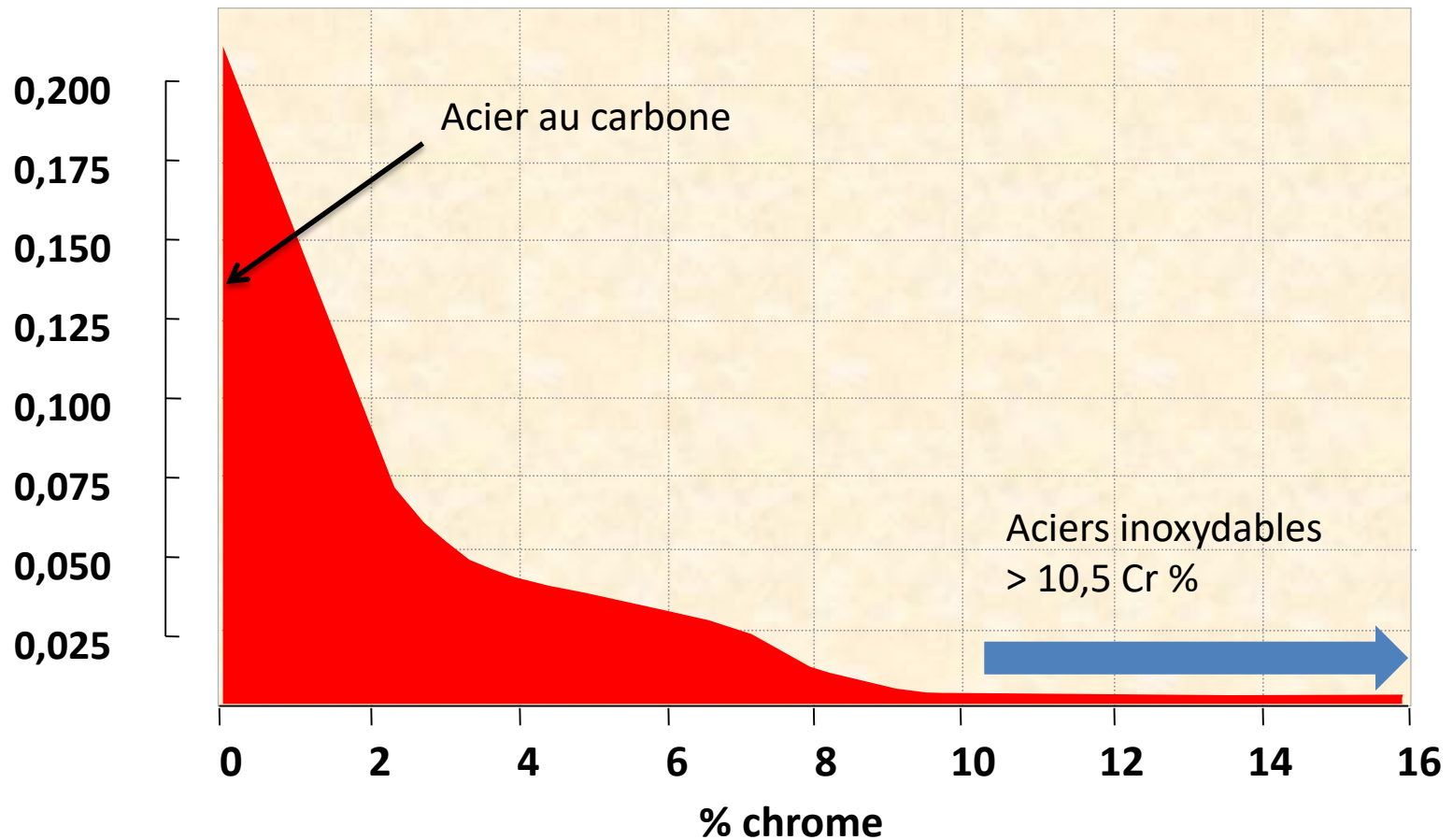
## Produits de corrosion



### 3. Types de corrosion des aciers inoxydables

# Effets de la teneur en chrome sur la résistance à la corrosion atmosphérique (corrosion uniforme)

Perte de masse (mm/an)



Lorsque le choix de la nuance d'acier inoxydable n'a pas été fait correctement, la corrosion peut se produire

... aucun matériau n'est parfait !

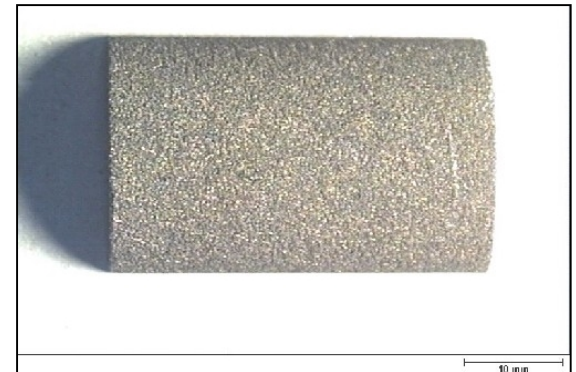
Pensez-y comme pour choisir un véhicule adapté à une utilisation donnée

# Types de corrosion des aciers inoxydables

- a) Généralisée
- b) Par Piqûres
- c) Caverneuse
- d) Galvanique
- e) Intergranulaire
- f) Corrosion sous Contrainte

## a) Qu'est-ce que la corrosion généralisée ?

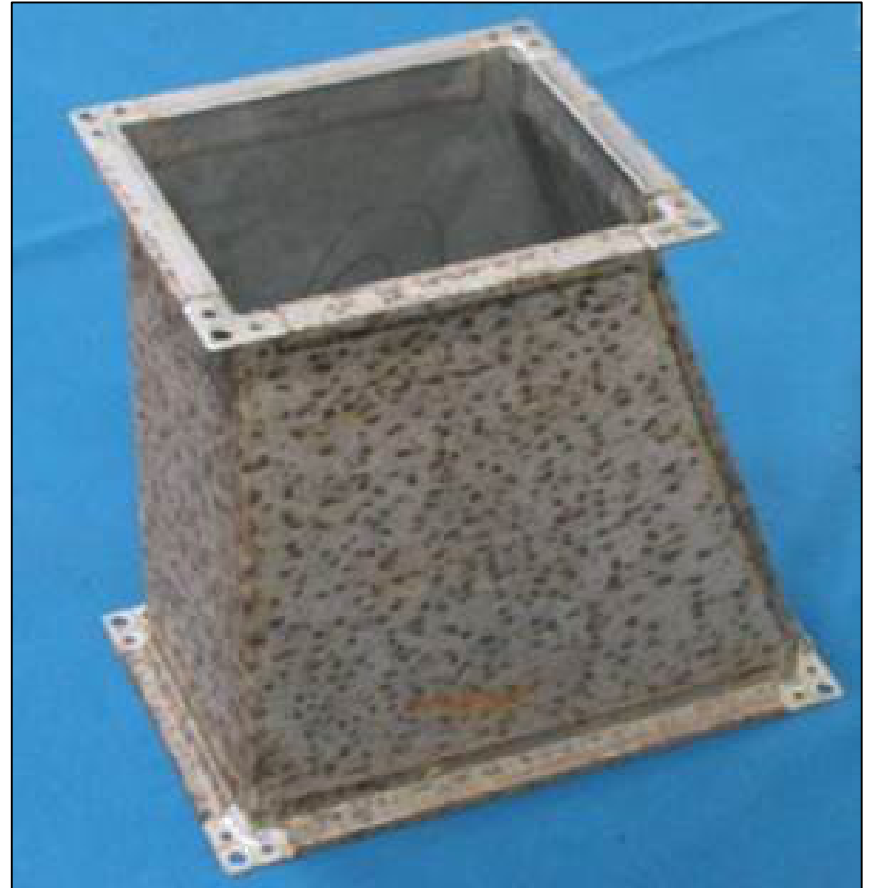
- Lorsque le film passif est détruit par un environnement agressif, l'ensemble de la surface se corrode uniformément et la perte d'épaisseur de métal peut s'exprimer en  $\mu\text{m}/\text{an}$
- C'est typiquement le cas des aciers au carbone non protégés.
- Dans l'industrie du bâtiment, cela ne se produit pas avec les aciers inoxydables car les conditions de corrosion ne sont jamais suffisamment agressives (il faudrait une immersion dans un acide fort)



## b) Qu'est-ce que la corrosion par piqûres<sup>1,2,3,7</sup> ?

La corrosion par piqûres (ou piqûres) est une forme de corrosion extrêmement localisée qui conduit à la création de petites perforations dans le métal.

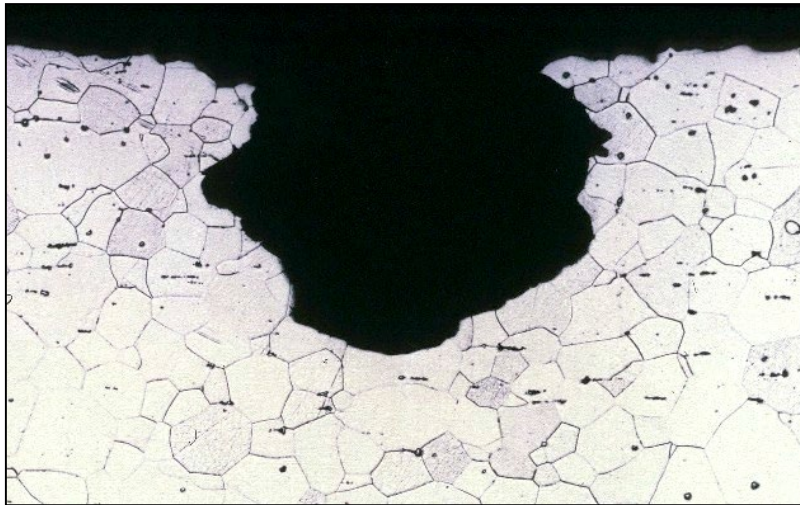
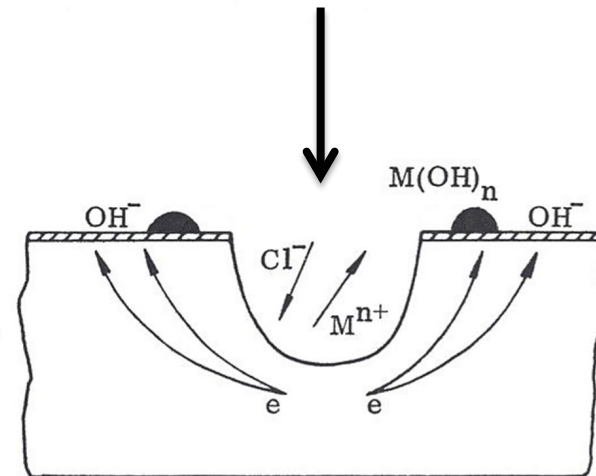
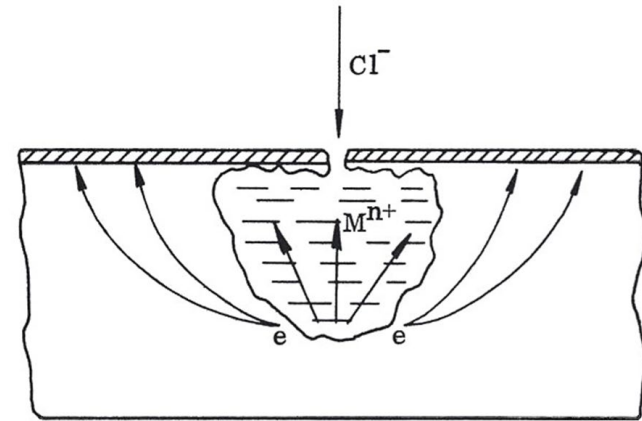
Cette image montre des piqûres sur un acier inoxydable EN 1.4310 (AISI 301) résultant d'une résistance à la corrosion insuffisante en environnement chloré très agressif.





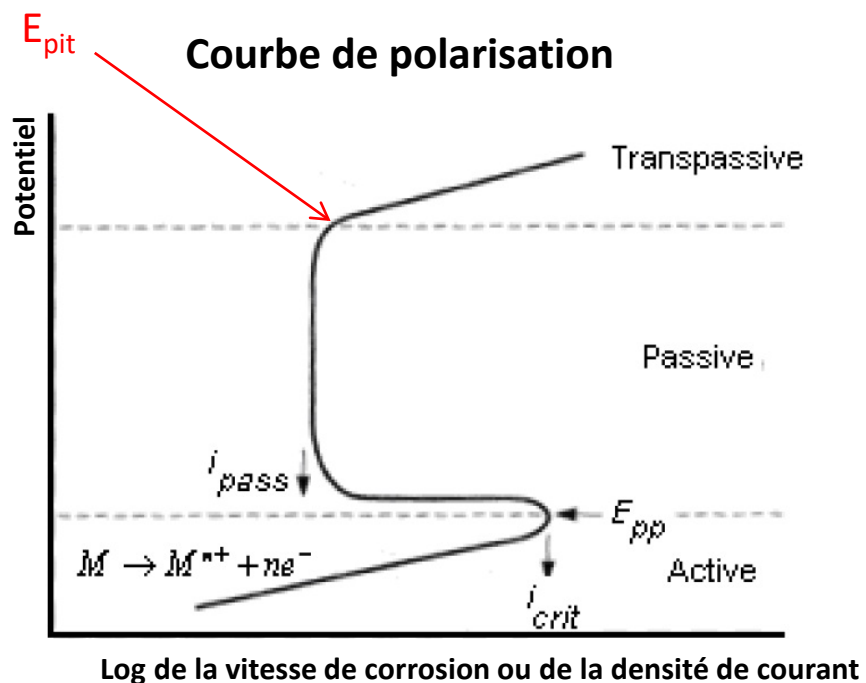
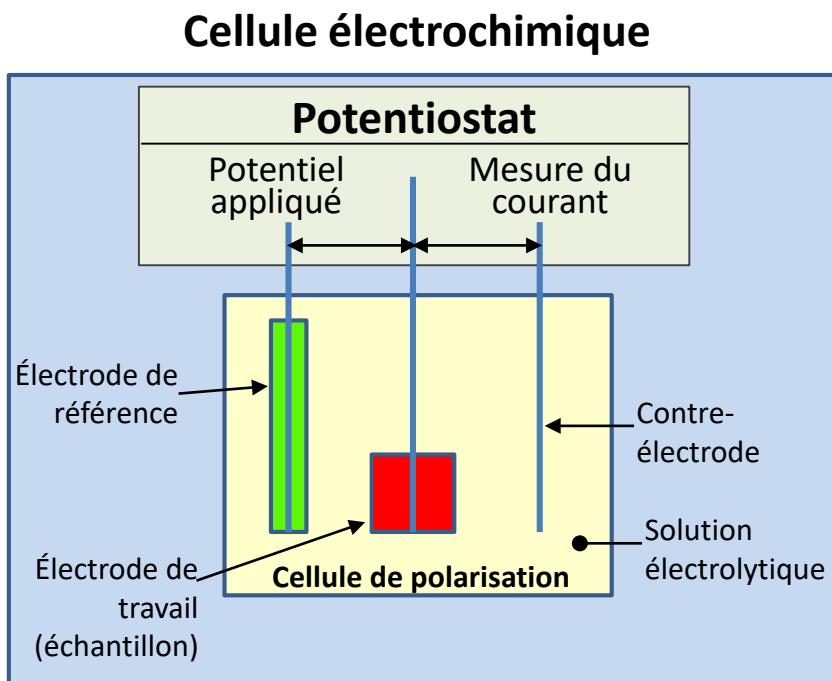
# Mécanismes de corrosion par piqûre

1. Déclenchement à partir d'une très petite surface sur des irrégularités ou des inclusions non métalliques
2. La corrosion se propage en fond de piqûre du fait de réactions électrochimiques qui ne sont pas bloquées par la repassivation



# La piqûration peut être reproduite dans une cellule électrochimique<sup>4</sup>

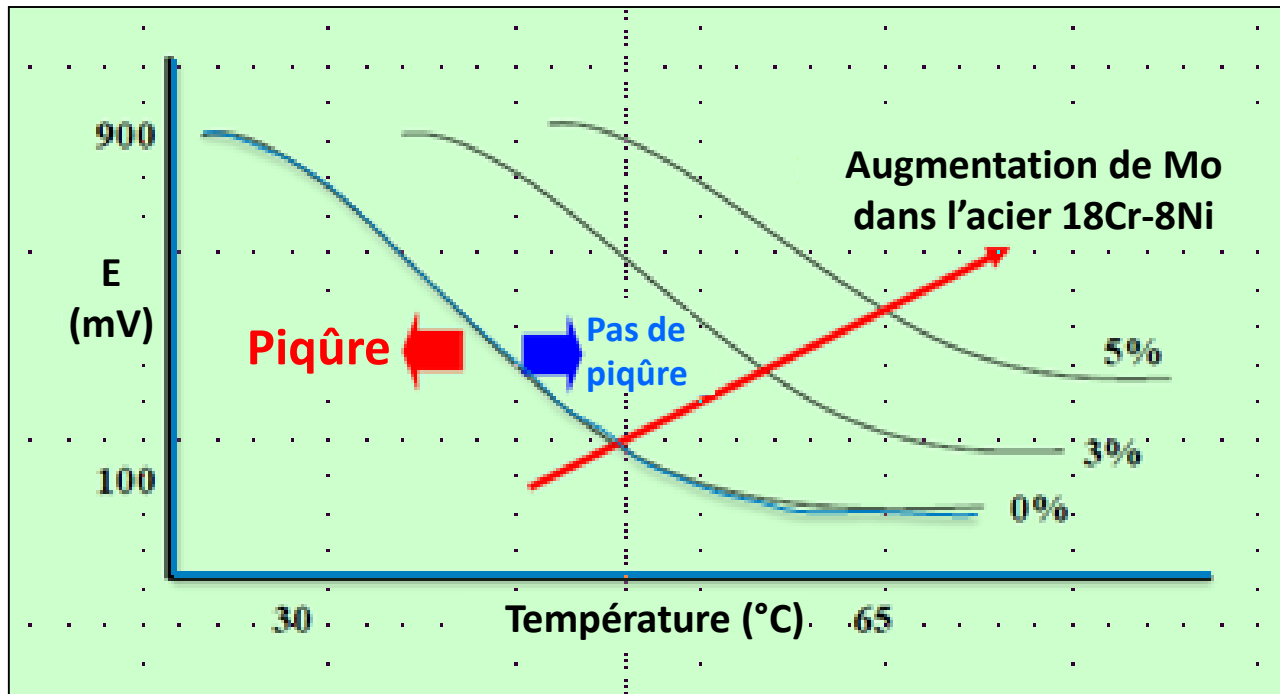
- La corrosion entraîne la dissolution du métal, c'est-à-dire un processus avec :
  - a) des réactions électrochimiques à la surface métal
  - b) Un courant électrique entre le métal corrodé (l'anode) et une partie cathodique
- Ces phénomènes peuvent être simulés dans une cellule électrochimique, un appareil qui permet d'étudier les processus de corrosion



# Facteurs principaux influençant la corrosion par piqûres<sup>1</sup>

(le potentiel de piqûre  $E_{pit}$  est généralement utilisé comme critère de déclenchement)

## 1. Température



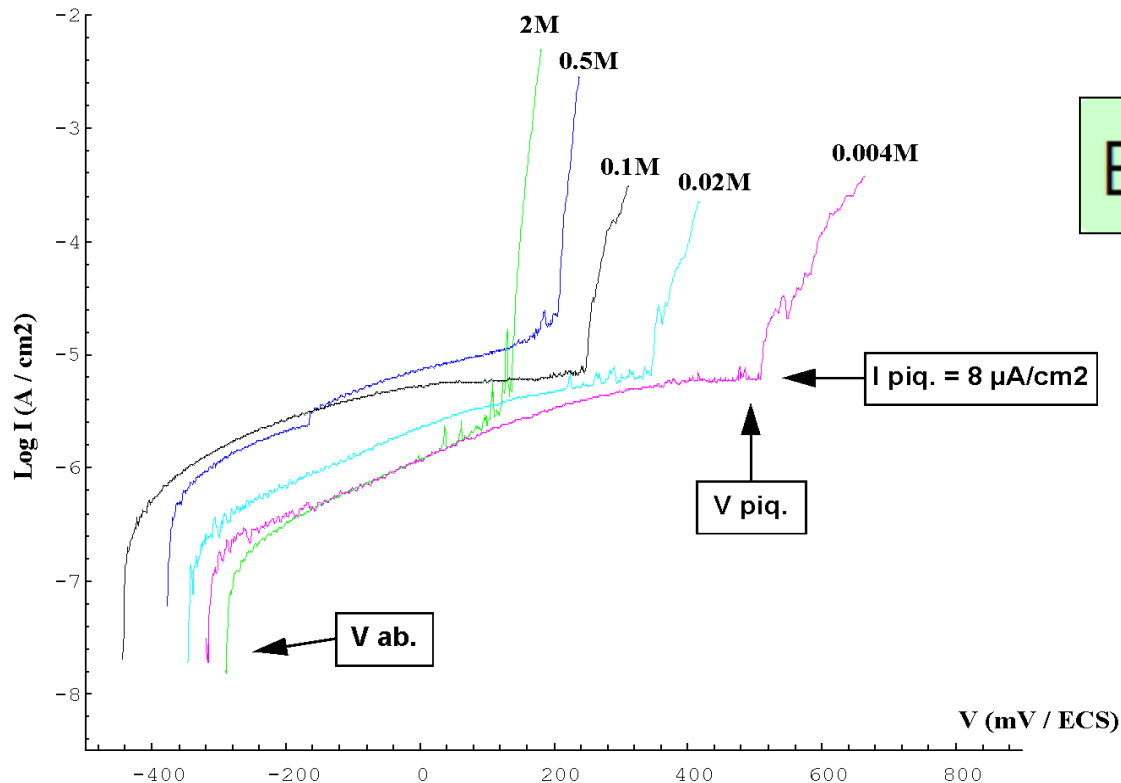
L'accroissement de la température réduit sévèrement la résistance à la corrosion par piqûre.

# Facteurs principaux influençant la corrosion par piqûres<sup>5</sup>

(le potentiel de piqûre  $E_{pit}$  est généralement utilisé comme critère de déclenchement)

## 2. Concentration en chlorures

La résistance aux piqûres diminue lorsque la concentration en  $Cl^-$  augmente (en fonction du log de la concentration en  $Cl^-$ )



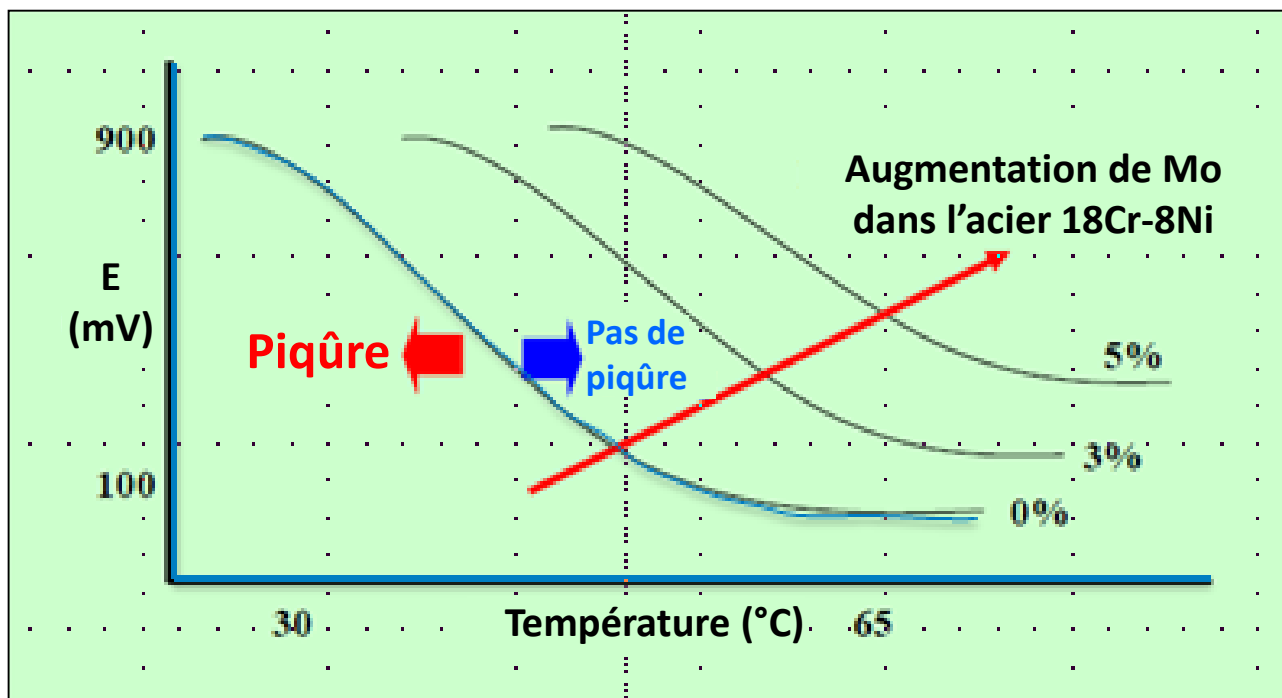
$$E_{pit} = A \log [Cl^-] + B$$

# Facteurs principaux influençant la corrosion par piqûres<sup>1</sup>

(le potentiel de piqûre  $E_{pit}$  est généralement utilisé comme critère de déclenchement)

## 3. Analyse de l'acier inoxydable

La résistance aux piqûres augmente fortement avec l'ajout de certains éléments d'alliage : N, Mo, Cr



Le rôle des éléments d'alliage est décrit par l'indice de résistance à la piqûre (PREN qui vient de l'anglais : Pitting Resistance Equivalent Number)

# Indice de résistance à la piquûre (PREN\*)<sup>6</sup>

Revue en  
2019

- En calculant le PREN, il est possible de comparer la résistance à la piquûre des diverses nuances d'aciers inoxydables. Plus le PREN est grand, meilleure est la résistance à la corrosion.
- Clairement, le PREN seul ne peut pas permettre de prédire si une nuance particulière peut être utilisée pour une application donnée

$$\text{PREN} = \text{Cr} + 3,3\text{Mo} + 16\text{N}$$

où :

Cr = teneur en chrome

Mo = teneur en molybdène

N = teneur en azote

EN	AISI	PREN
1.4003	-	10.5 - 12.5
1.4016	430	16.0 - 18.0
1.4301	304	17.5 - 20.8
1.4311	304LN	19.4 - 23.0
1.4401/4	316/L	23.1 - 28.5
1.4406	316LN	25.0 - 30.3
1.4439	317L	31.6 - 38.5
1.4539	-	32.2 - 39.9
1.4362	-	23.1 - 29.2
1.4462	-	30.8 - 38.1
1.4410	-	40
1.4501	-	40

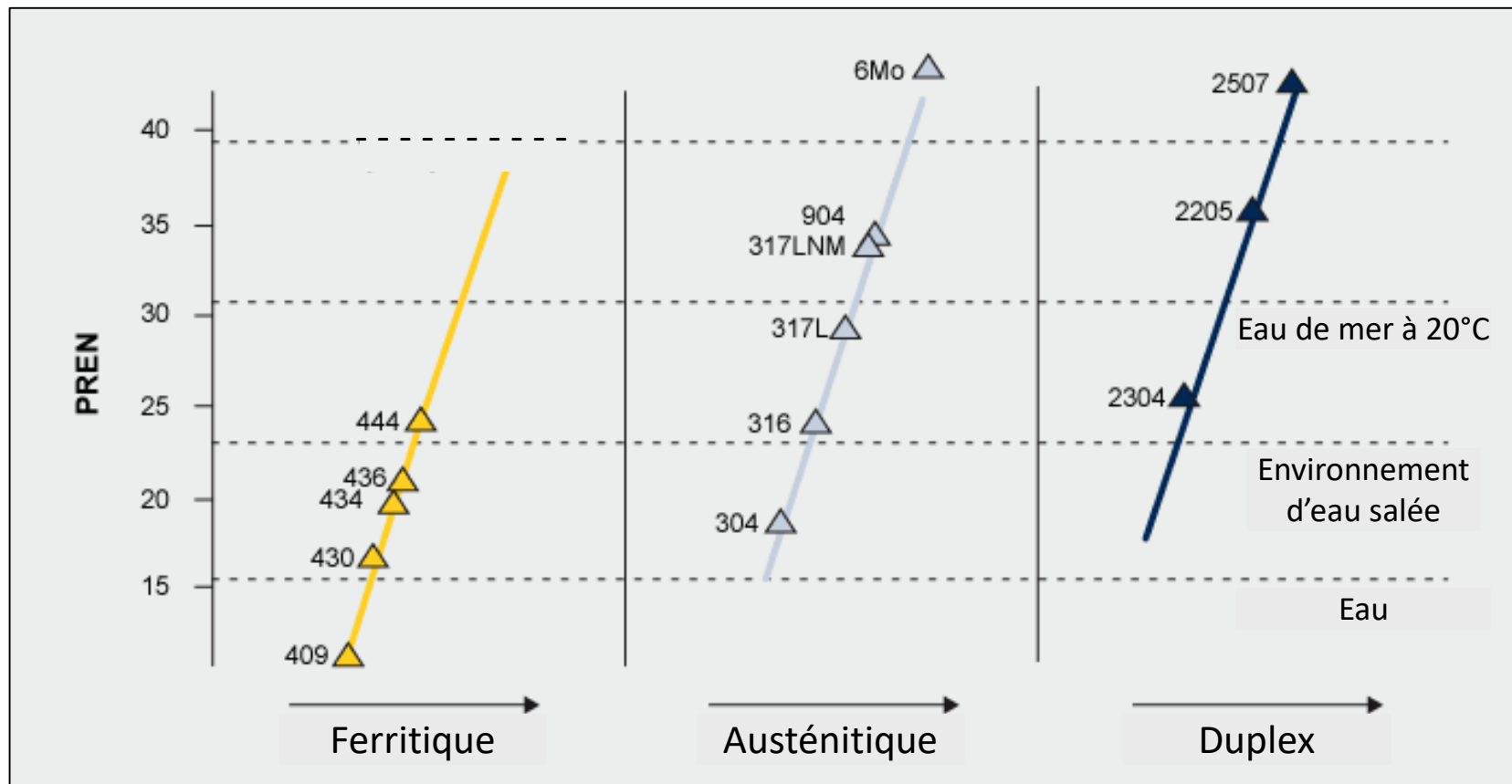
**Notez que le PREN ne fait pas intervenir Ni.**

**La résistance à la piquûre ne dépend pas de la teneur en Nickel. Voir diapo suivante**

\*PREN : « Pitting Resistance Equivalent Number »

# PREN de quelques nuances courantes<sup>9</sup>

Revue en 2019



Les inox ferritiques sont comparables aux inox austénitiques 304 et 316 en ce qui concerne la résistance à la piqûre.

Note : voir l'Annexe pour les désignations des normes EN

## c) Qu'est-ce que la corrosion caverneuse<sup>1</sup> ?

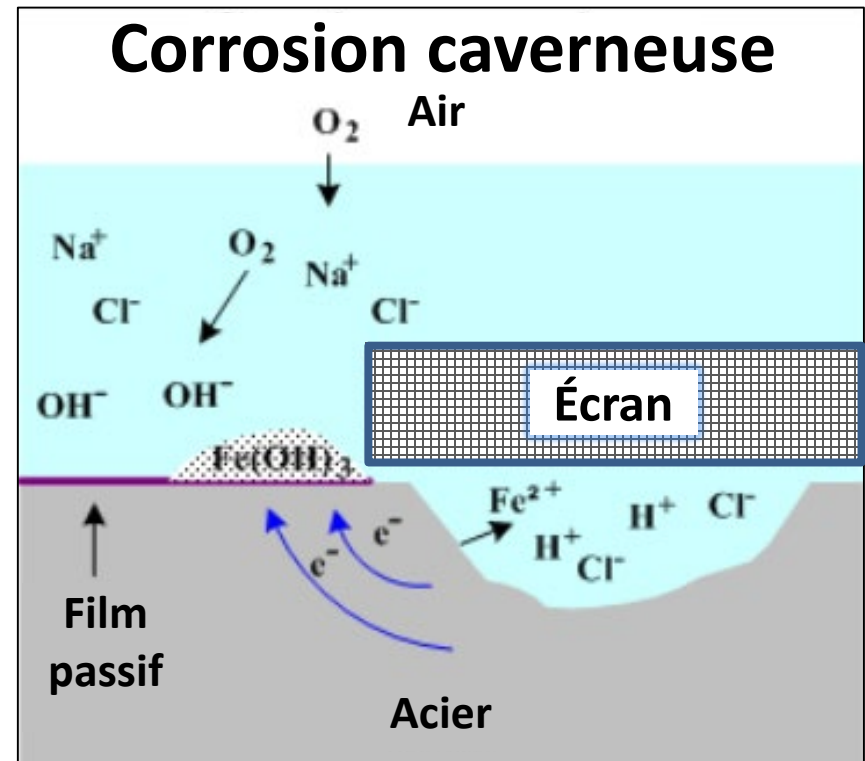
La corrosion caverneuse correspond à la corrosion qui se produit dans les espaces confinés où l'accès du fluide actif issu de l'environnement est limité. Ces espaces sont généralement appelés cavernes.

Exemples de cavernes: interstices entre pièces en contact, dans les joints ou les scellements, à l'intérieur des fissures et des soudures, sous des dépôts ou des boues.



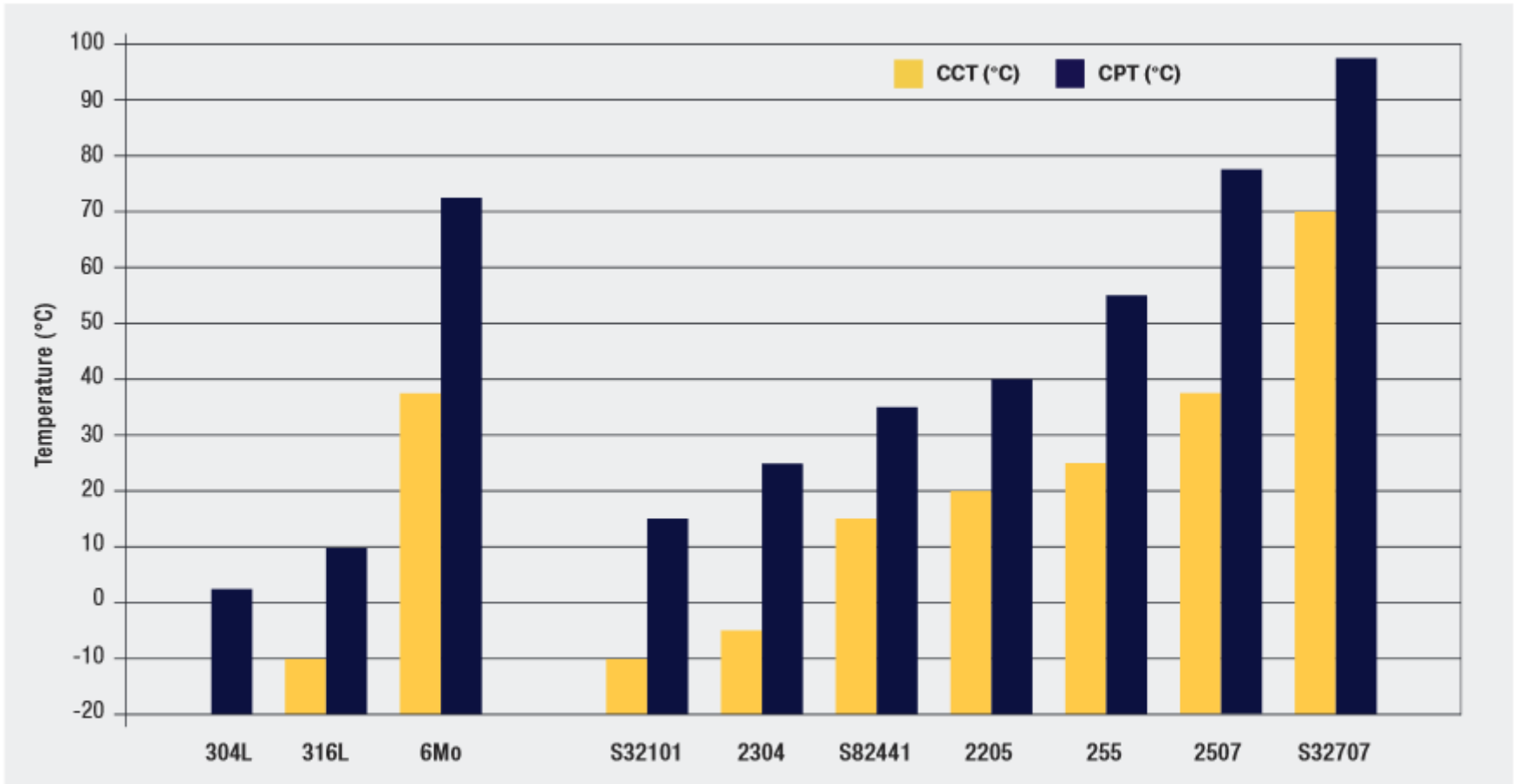
# Mécanismes de la corrosion caverneuse

- Au départ, il n'y a aucune différence entre la cavité et la surface dans son ensemble
- Les choses changent lorsque la cavité se trouve appauvrie en oxygène
- Un ensemble de réactions électrochimiques se produit dans la caverne causant une augmentation de la concentration en  $\text{Cl}^-$  et la diminution du pH local, jusqu'à ce que la passivation ne puisse plus se produire
- Alors le métal dans la caverne subit une corrosion uniforme



# Température critique de résistance aux piqûres (CPT) Température critique de résistance à la corrosion caverneuse (CCT) pour différentes nuances austénitiques & duplex<sup>8</sup>

Note : Plus la température critique est élevée, meilleure est la résistance à la corrosion



Températures critiques de corrosion caverneuse et par piqûre pour de l'acier inoxydable austénitique sans soudure (barres de gauche) et duplex (barres de droite) à l'état recuit (évaluée à 6 % de chlorure ferrique par l'ASTM G 48).

Note : voir l'Annexe pour les désignations des normes EN

# Comment éviter la corrosion caverneuse ?

1. Optimiser la conception :
  - a) Utiliser des pièces soudées
  - b) Éliminer les zones de rétention de liquides (drainer par exemple)
2. Nettoyer pour éviter les dépôts (dans la mesure du possible)
3. Choisir un acier inoxydable résistant convenablement à la corrosion (voir la partie 4 de ce module)

## d) Qu'est-ce que la corrosion galvanique<sup>1</sup> ? (connue aussi sous le nom de corrosion bimétallique)



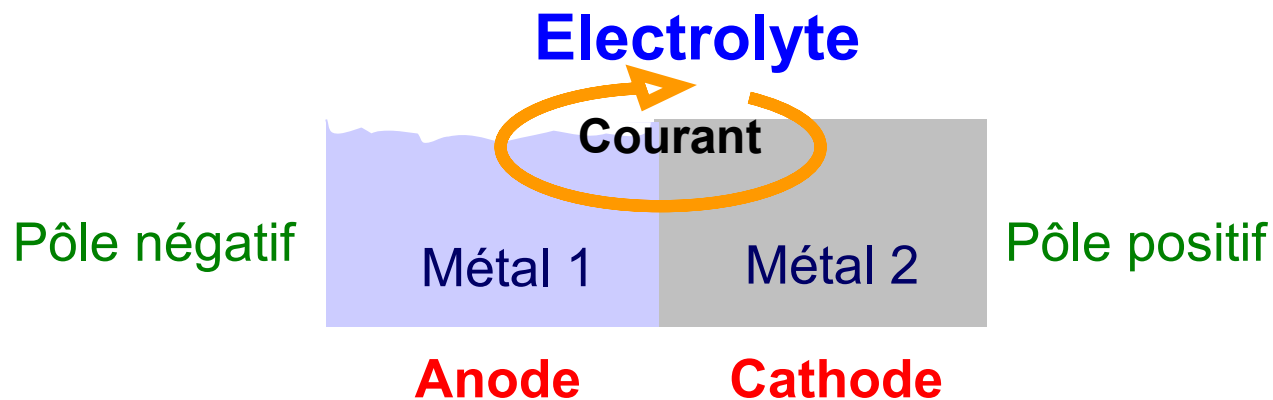
C'est la corrosion qui se produit lorsque 2 métaux qui possèdent des potentiels galvaniques très différents sont en contact.

Le métal qui correspond à l'anode est attaqué

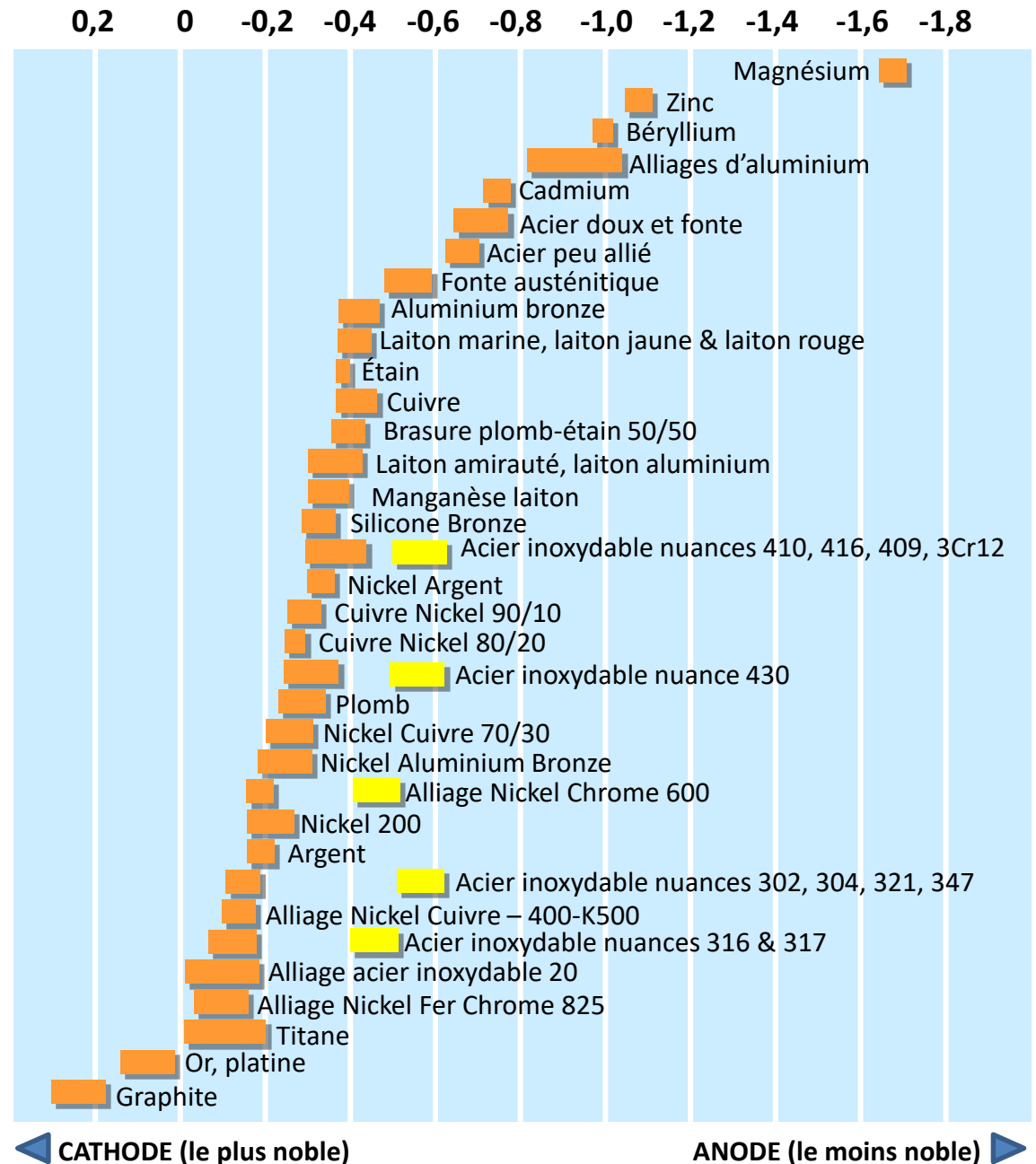
Sur l'exemple de gauche, une platine en acier inoxydable est boulonnée sur un réservoir, également en acier inoxydable, avec des boulons en acier doux. Il en résulte une corrosion galvanique des boulons en présence d'humidité (l'électrolyte)

# Mécanisme de corrosion galvanique

- Chaque métal possède un potentiel caractéristique lorsqu'il est immergé dans un électrolyte (mesuré par rapport à une électrode de référence)
- Lorsque 2 métaux sont connectés à l'aide d'un fluide conducteur (de l'humidité suffit) et que les 2 métaux possèdent des potentiels très différents, alors un courant circule du pôle négatif (anode) au pôle positif (cathode)
- Si l'aire de l'anode est petite, on constatera sa dissolution



# Échelle galvanique des métaux dans l'eau de mer



# Règles de base pour éviter la corrosion galvanique

Revue en  
2019

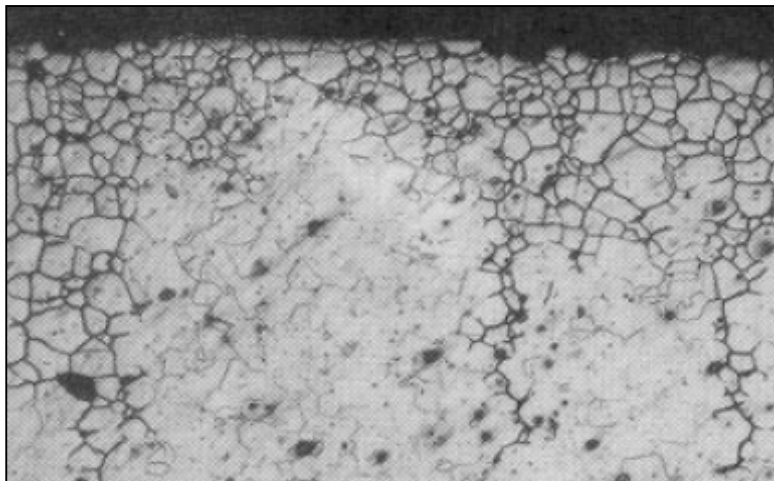
- Éviter des situations où des métaux différents sont en contact
- Lorsque des métaux dissemblables sont en contact, être sûr que le métal le moins noble (anode) possède une plus grande surface que le plus noble (cathode)
- Exemples :
  - Utiliser des fixations en acier inoxydable pour des assemblages sur l'aluminium (et jamais des fixations en aluminium pour assembler de l'acier inoxydable)
  - Même chose entre l'acier inoxydable et l'acier au carbone

Dans le béton( milieu à fort pH)contaminé par des chlorures, l'utilisation de rond à béton inox **n'accroît pas significativement la vitesse de corrosion** des armatures en acier au carbone par couplage galvanique

Pour plus de références voir [www.stainlesssteelrebar.org](http://www.stainlesssteelrebar.org)

## e) Qu'est-ce que la corrosion intergranulaire<sup>1</sup>?

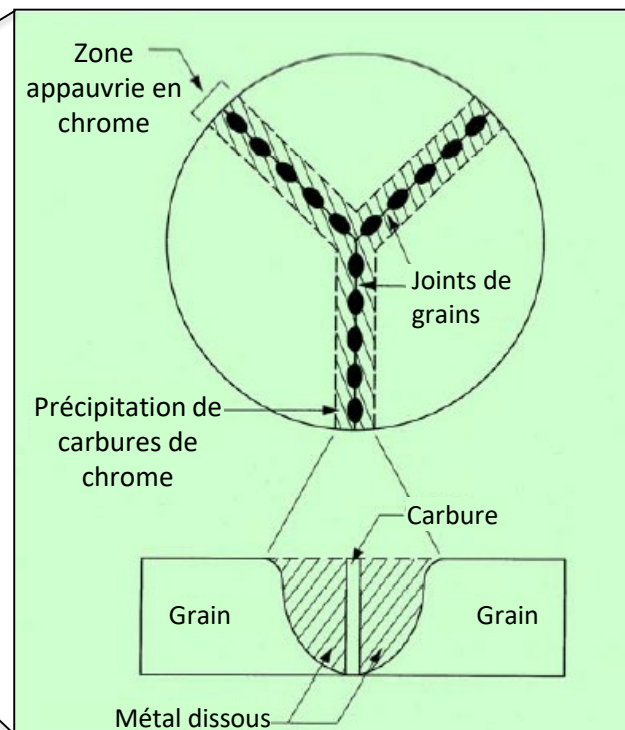
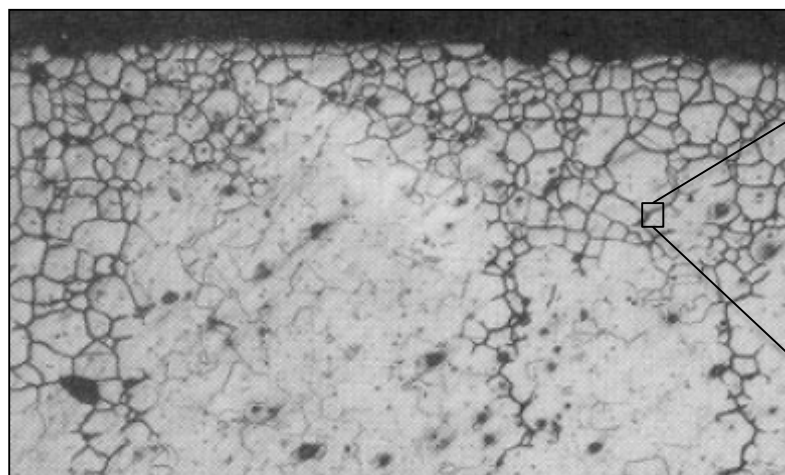
Une attaque intergranulaire est provoquée par la formation de carbures de chrome  $(Fe,Cr)_{23}C_6$  aux joints de grains, réduisant localement la teneur en chrome et la stabilité de la couche passive.



*Dans les micrographies ci-dessus, les éprouvettes en acier inoxydable ont été polies puis attaquées par une solution d'acide puissante. Le réseau de lignes noires correspond à une attaque chimique importante aux joints de grains qui montrent une résistance à la corrosion beaucoup plus faible que les grains eux-mêmes.*

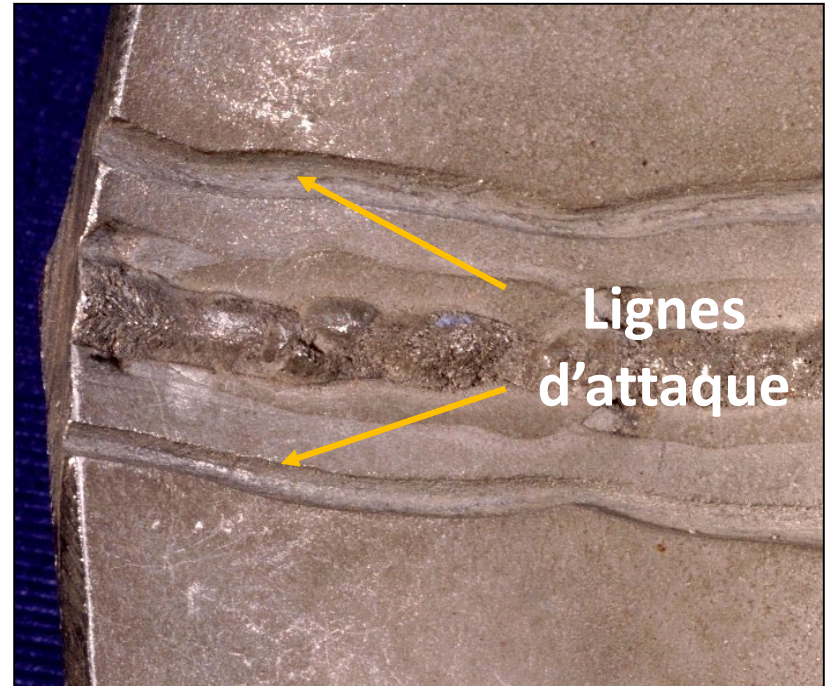


# Vue schématique des zones appauvries en chrome aux joints de grains



# Quand la corrosion intergranulaire se produit-elle ?

- Traités correctement, les aciers inoxydables ne sont pas sujets à la corrosion intergranulaire
- Celle-ci peut se produire dans la Zone Affectée Thermiquement (ZAT) d'une soudure (de chaque côté du cordon) lorsque :
  - La teneur en carbone est élevée
  - Et que l'acier n'est pas stabilisé (par du Ti, du Nb ou du Zr\* qui « piègent » le carbone présent en solution, le rendant indisponible pour la précipitation de carbures aux joints de grains)



**Dégradation d'une soudure**

\* C'est pourquoi il existe des nuances contenant du Ti (*titane*) et/ou du Nb (*niobium*) et/ou du Zr (*zirconium*), nuances qui sont appelées « stabilisées »

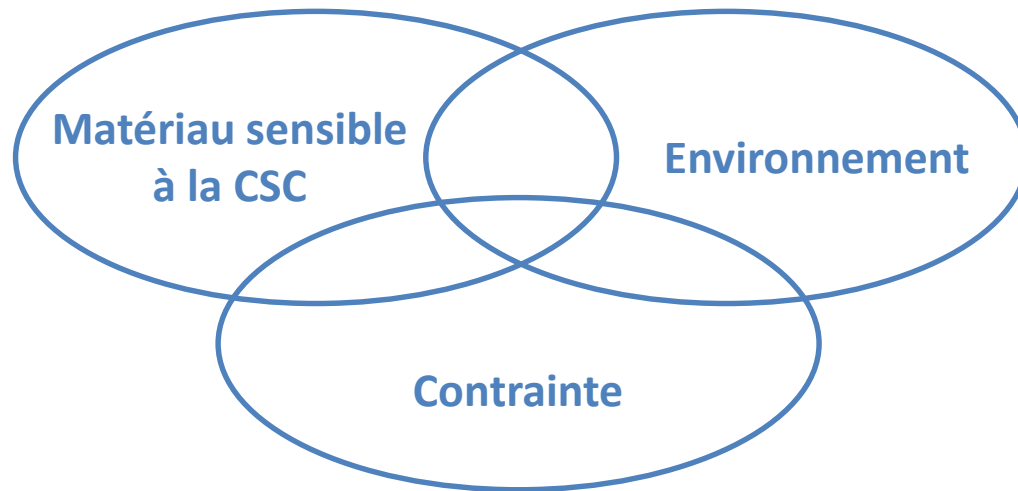
[Pour plus d'informations sur le soudage \(et les autres méthodes d'assemblage\), veuillez vous reporter au Module 9](#)

# Comment éviter la corrosion intergranulaire ?

- Utiliser des nuances à bas carbone, en-dessous de 0,03 % pour les inox austénitiques
- Ou utiliser des nuances stabilisées pour les aciers ferritiques et les aciers austénitiques
- Ou pour les inox austénitiques, réaliser un recuit (à 1050°C tous les carbures sont dissous) suivi par une trempe (ce qui est généralement irréalisable dans la pratique).

# f) Qu'est-ce que la Corrosion sous Contrainte<sup>1</sup> (CSC)?

- La fissuration rapide et la rupture d'une pièce sans déformation.
- Elle peut survenir lorsque trois conditions sont réunies :
  - La pièce est sollicitée (par une charge appliquée ou des contraintes résiduelles)
  - L'environnement est agressif (fort taux de chlorures, température > 50°C)
  - L'acier inoxydable n'est pas assez résistant à la CSC

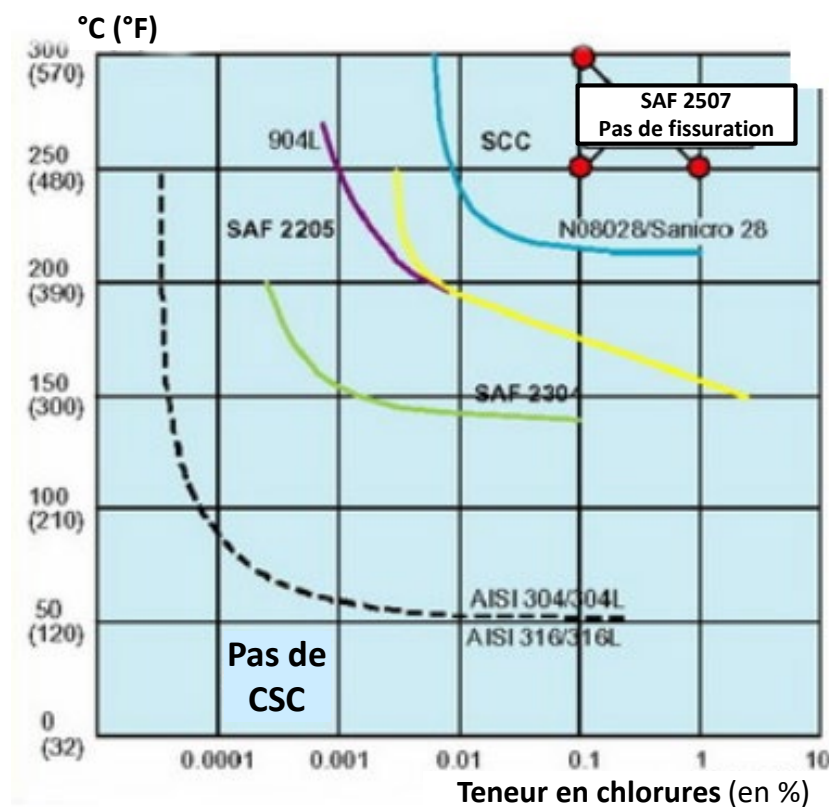


**Les aciers inoxydables ferritiques et les duplex (c'est-à-dire austéno-ferritiques) sont insensibles à la CSC**

# Mécanisme de Corrosion sous Contrainte (CSC)

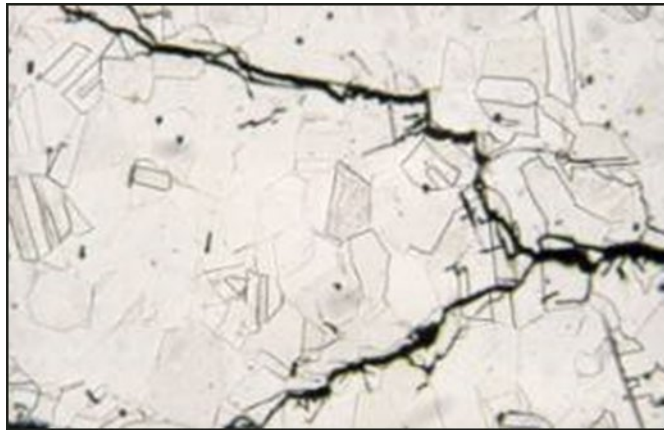
L'action combinée de conditions environnementales (chlorures/température élevée) et de contraintes (soit appliquées directement, soit résiduelles, soit les deux) développe la séquence d'événements suivante :

1. Des piqûres apparaissent
2. Des fissures se créent à partir d'un site d'initiation de piqûre
3. Elle progressent alors à travers le métal selon un mode trans-granulaire ou intergranulaire.
4. La rupture se produit



Note : voir l'Annexe pour les désignations EN normalisées

# Pour éviter la CSC – deux choix



Les chlorures induisent la corrosion sous contrainte dans les aciers inoxydables austénitiques standards, à savoir 1.4301/ 304 ou 1.4401 /316

+Ni  
+Mo

1.4539  
1.4547 (6Mo)

Choisir des aciers inoxydables austénitiques avec une teneur élevée en Ni et Mo (meilleure résistance à la corrosion)

+Cr

1.4462  
1.4410  
1.4501

Choisir des nuances duplex (elles ont un prix plus stable car elles contiennent moins de nickel)

Les inox ferritiques et austéno-ferritiques (Duplex) sont insensibles à la Corrosion sous Contrainte (car la ferrite n'y est pas sensible, contrairement à l'austénite).  
Pour plus d'information sur ces nuances, veuillez vous reporter au Module 4

## 4. Comment choisir l'acier inoxydable adapté au niveau de résistance à la corrosion recherché ?

Il faut distinguer :

1. Les applications structurales
2. Les autres applications

# 4-1. Les applications structurales

L'Eurocode 3 Partie 1-4 décrit une procédure permettant de choisir la(les) nuance(s) d'acier inoxydable appropriée(s) à l'environnement des ouvrages (il est à noter qu'au moment de la rédaction de ce document – c'est-à-dire en novembre 2014 – les recommandations du Groupe d'évolution de l'EN 1993-1-4 n'ont pas encore été appliquées)

Cette procédure est présentée dans les prochaines diapos.

Elle est applicable à :

- des éléments soumis à des sollicitations mécaniques
- une utilisation en extérieur
- des environnements sans immersion fréquente dans l'eau de mer
- un pH compris entre 4 et 10
- aucune exposition à des produits chimiques



# Comment fonctionne la procédure ?

1. L'environnement est évalué par un coefficient de résistance à la corrosion (**CRF**) qui est la somme de 3 termes :  
**CRF = F<sub>1</sub> + F<sub>2</sub> + F<sub>3</sub>** où :
  - a) **F<sub>1</sub>** quantifie le risque d'exposition aux chlorures d'eau de mer ou à des sels de déverglaçage
  - b) **F<sub>2</sub>** quantifie le risque d'exposition au dioxyde de soufre
  - c) **F<sub>3</sub>** quantifie la fréquence de nettoyage ou de lavage par l'eau de pluie
2. Un tableau de correspondance donne, pour un **CRF** donné, la Classe de la **Résistance à la Corrosion (CRC)** correspondante
3. Les nuances d'acier inoxydable sont positionnées selon la (**CRC**) de I à V en fonction du **CRF**

*Les tableaux sont présentés dans les 4 prochaines diapos*

# F<sub>1</sub> Risque d'exposition aux chlorures (eau salée ou sels de déverglaçage)

Note : M est la distance jusqu'à la mer et S est la distance jusqu'à la route avec des sels de déverglaçage

<b>1</b>	<b>Environnement intérieur contrôlé</b>	
<b>0</b>	<b>Faible risque d'exposition</b>	M > 10 km ou S > 100 m
<b>-3</b>	<b>Risque d'exposition moyen</b>	1 km < M ≤ 10 km ou 10 m < S ≤ 100 m
<b>-7</b>	<b>Risque d'exposition élevé</b>	0,25 km < M ≤ 1 km ou S ≤ 10 m
<b>-10</b>	<b>Risque d'exposition très élevé</b> Tunnels routiers où des sels de déverglaçage sont utilisés ou dans lesquels pourraient circuler des véhicules transportant ce type de sels	
<b>-10</b>	<b>Risque d'exposition très élevé</b> Côtes allemandes de la Mer du Nord Toutes les côtes de la mer Baltique	M ≤ 0,25 km
<b>-15</b>	<b>Risque d'exposition très élevé</b> Côte Atlantique du Portugal , de l'Espagne et de la France Côtes de GB, France, Belgique, Pays-Bas et Sud de la Suède Toutes les autres zones côtières de GB, Norvège, Danemark et Irlande Côtes Méditerranéennes	M ≤ 0,25 km

## F<sub>2</sub> Risque d'exposition au dioxyde de soufre

Note : Sur les côtes européennes, les valeurs de dioxyde de soufre sont généralement basses. Loin des côtes, les valeurs de dioxyde de soufre sont soit faibles, soit moyennes. Les classifications élevées sont inhabituelles et associées à des zones très industrielles ou avec des environnements spécifiques comme les tunnels routiers par exemple. Les dépôts de dioxyde de soufre peuvent être évalués selon la méthode de l'ISO 9225.

0	Faible risque d'exposition	(<10 µg/m <sup>3</sup> de dépôts moyens)
-5	Risque d'exposition moyen	(10 – 90 µg/m <sup>3</sup> de dépôts moyens)
-10	Risque d'exposition élevé	(90 – 250 µg/m <sup>3</sup> de dépôts moyens)

## F<sub>3</sub> Fréquence de nettoyage ou de lavage par l'eau de pluie

(si F<sub>1</sub> + F<sub>2</sub> = 0, alors F<sub>3</sub> = 0)

0	Entièrement exposé au lavage par l'eau de pluie
-2	Procédure de nettoyage spécifiée
-7	Aucun lavage par la pluie ou aucune procédure de nettoyage

# Tableau de correspondance

<b>Tableau A.2 : Détermination de la Classe de Résistance à la Corrosion CRC</b>	
Coefficient de résistance à la corrosion (CRF)	Classe de de résistance à la corrosion (CRC)
$CRF = 1$	I
$0 \geq CRF > -7$	II
$-7 \geq CRF > -15$	III
$-15 \geq CRF \geq -20$	IV
$CRF < -20$	V

# Classes de résistance à la corrosion des aciers inoxydables

Updated 2019

Tableau A.3 : Nuances dans chaque classe de résistance à la corrosion CRC

	Classes de résistance à la corrosion CRC			
I	II	III	IV	V
1.4003	1.4301	1.4401	1.4439	1.4565
1.4016	1.4307	1.4404	1.4539	1.4529
1.4512	1.4311	1.4435	1.4462	1.4547
	1.4541	1.4571		1.4410
	1.4318	1.4429		1.4501
	1.4306	1.4432		1.4507
	1.4567	1.4578		
	1.4482	1.4662		
		1.4362		
		1.4062		
		1.4162		

	Ferritiques		Austénitiques standard		Austénitiques avec Mo
	Lean duplex		Super Austénitiques		Duplex/Super duplex

Notes : Voir l'Annexe pour les désignations EN normalisées  
Ceci ne s'applique pas aux piscines

## 4-2. Les autres applications

- Lorsqu'aucune règle particulière n'est applicable
- Le choix de la nuance doit correspondre à la performance attendue
- Il existe trois moyens d'arriver au résultat :
  - Faire appel à un expert
  - Obtenir de l'aide de la part des associations de développement de l'acier inoxydable
  - Trouver des cas performants pour des environnements similaires (souvent disponibles)

# Guide de sélection des nuances pour l'Architecture<sup>10</sup>

Il existe néanmoins des guides comme celui présenté ici.

Attention : il n'est **PAS APPLICABLE** si

- L'aspect n'a pas d'importance
- L'intégrité de la structure est la première préoccupation (retourner alors en 4-1.)

# Comment fonctionne la procédure ?

- Une note totale est calculée à partir de 5 critères
- Pour chaque note totale correspond une liste de nuances d'inox recommandées

Critères utilisés pour établir la note (voir les prochaines diapos) :

- i. Niveau de pollution
- ii. Exposition marine ou aux sels de déverglaçage
- iii. Conditions météorologiques locales
- iv. Considérations architecturales
- v. Planning d'entretien



# i. - Niveau de pollution

Note	
	<b>Rurale</b>
0	Très faible ou inexistant
	<b>Pollution urbaine (industrie légère, échappement automobile)</b>
0	Faible
2	Modérée
3	Élevée*
	<b>Pollution industrielle (gaz agressifs, oxyde de fer, produits chimiques, etc.)</b>
3	Faible ou modérée
4	Élevée*

\* Site potentiellement très corrosif. Recourir à un expert en acier inoxydable pour évaluer le site

## ii.a - Exposition marine

Note	
	<b>Exposition marine</b>
1	Faible (> 1,6 à 16 km de l'eau de mer)**
3	Modérée (de 30 m à 1,6 km de l'eau de mer)
4	Élevée (< 30 m de l'eau de mer)
5	Marine (quelques embruns ou éclaboussures occasionnelles)*
8	Marine sévère (éclaboussures permanentes)*
10	Marine sévère (immersion continue) *

\* Site potentiellement très corrosif. Recourir à un expert en acier inoxydable pour évaluer le site.

\*\* Cette échelle montre que les chlorures peuvent se trouver loin des côtes. Quelques sites de cette catégorie type sont exposés aux chlorures, d'autres non.

## ii.b - Exposition aux sels de déverglaçage

Note	
	<b>Exposition aux sels de déverglaçage (distance de la route ou hauteur/sol)</b>
0	Aucune salinité n'a été détectée sur un échantillon prélevé sur le site et aucun changement de condition d'exposition n'est envisagé.
0	Le vent et le trafic sur les routes proches sont trop faibles pour amener des chlorures sur le site et pas d'utilisation de sel de déverglaçage sur les trottoirs
1	Très faible exposition aux sel (de 10 m à 1 km ou 3 à 60 étages)**
2	Faible exposition aux sels (< 10 à 500 m ou 2 à 34 étages)**
3	Exposition modérée aux sels (< 3 à 100 m ou 1 à 22 étages)**
4	Forte exposition aux sels (<2 à 50 m ou 1 à 3 étages)* & **

\* Site potentiellement très corrosif. Recourir à un expert en acier inoxydable pour évaluer le site.

\*\* Cette échelle montre qu'on trouve des chlorures assez loin des routes, qu'il s'agisse de petites routes de campagne ou de routes à fort trafic. Tester la concentration en chlorures en surface.

Note : S'il existe à la fois une exposition marine et une exposition aux sels de déverglaçage, consulter un expert.

### iii. - Conditions météorologiques locales

Notes	
-1	Climats froids ou tempérés, fortes pluies régulières
-1	Climats chauds ou froids avec humidité habituellement en-dessous de 50 %
0	Climat froid ou tempéré, fortes pluies occasionnelles
0	Climat tropical ou subtropical, humide, très fortes pluies régulières ou saisonnières
1	Climat tempéré, pluies peu fréquentes, humidité supérieure à 50 %
1	Pluies très faibles mais régulières ou brouillard fréquent
2	Chaud, humidité au-dessus de 50 %, pluies très faibles ou absentes***

\*\*\* S'il y a aussi exposition aux sels ou à la pollution, recourir à un expert pour évaluer le site.

## iv. - Considérations architecturales

Note	
0	Bien exposé pour un lavage facile par la pluie
0	Surfaces verticales avec stries verticales ou non-brossées
-2	État de surface : décapé, électropoli ou rugosité $R_a^* \leq 0,3 \mu\text{m}$
-1	État de surface : rugosité $0,3 \mu\text{m} < R_a^* \leq 0,5 \mu\text{m}$
1	État de surface : rugosité $0,5 \mu\text{m} < R_a^* \leq 1 \mu\text{m}$
2	État de surface : rugosité $R_a^* > 1 \mu\text{m}$
1	Emplacement abrité ou cavernes non scellées***
1	Surfaces horizontales
1	Brossé, stries horizontales

\*\*\* S'il y a aussi exposition aux sels ou à la pollution, recourir à un expert pour évaluer le site.

\* $R_a$  : Rugosité moyenne ([http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro\\_Inox/RoughnessMeasurement\\_EN.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/RoughnessMeasurement_EN.pdf) )

Ce tableau montre que la résistance à la corrosion dépend aussi de l'état de surface.  
Pour une présentation des états de surface existants, veuillez vous reporter au Module 08

# v. - Planning d'entretien

Note	
0	Jamais lavé
-1	Lavé au moins naturellement
-2	Lavé quatre fois par an ou plus
-3	Lavé au moins une fois par mois

# Choix d'un acier inoxydable à partir de ce système de notation

Note totale (somme des notes précédentes)	Acier inoxydable recommandé
0 à 2	Le type 304/304L est généralement le plus économique
3	Le type 316/316L ou 444 est généralement le plus économique
4	Le type 317L ou un acier inoxydable plus résistant à la corrosion est suggéré
≥ 5	Un acier inoxydable plus résistant à la corrosion comme les 4462, 317LMN, 904L, super duplex, super ferritique ou un acier inoxydable super austénitique avec 6 % de molybdène peut être nécessaire

Note : Voir l'Annexe pour les désignations EN normalisées

Le choix de la nuance d'inox adaptée garantit une excellente durabilité avec un entretien réduit, un bas coût de possession (Life Cycle Cost) et une excellente performance environnementale.

Pour plus d'information sur durabilité et environnement, veuillez vous reporter au Module 11

# Conclusion

- Il convient d'être attentif à la sélection de la nuance d'acier inoxydable correcte en fonction du type d'application et de l'environnement.
- Lorsqu'il est correctement choisi, l'acier inoxydable offrira une durée d'utilisation illimitée et sans entretien.

Le [Module 2](#) présente une large palette d'applications des inox tandis que le [Module 1](#) vous fera découvrir des réalisations artistiques intemporelles qui, nous espérons, pourront être sources d'inspiration



# 5. Références

1. Excellent cours sur la corrosion. Please, have a look at chapters 7 (Galvanic Corrosion), 8 (intergranular corrosion), 11 (crevice corrosion) 12 (pitting) 14 (Stress corrosion cracking) and 15 (stress corrosion cracking of stainless steels) <http://corrosion.kaist.ac.kr/download/2008-1/chap11.pdf>
2. Some basics on corrosion from NACE <http://corrosion-doctors.org/Corrosion-History/Course.htm#Scope>
3. An online course on corrosion [http://www.corrosionclinic.com/corrosion\\_online\\_lectures/ME303L10.HTM#top](http://www.corrosionclinic.com/corrosion_online_lectures/ME303L10.HTM#top)
4. Information on electrochemical testing <http://mee-inc.com/esca.html>
5. Ugitech : private communication
6. BSSA (British Stainless Steel Association) website " Calculation of pitting resistance equivalent numbers (PREN)" <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=111>
7. On Pitting corrosion [https://kb.osu.edu/dspace/bitstream/handle/1811/45442/FrankelG\\_JournalElectrochemicalSociety\\_1998\\_v145n6\\_p2186-2198.pdf?sequence=1](https://kb.osu.edu/dspace/bitstream/handle/1811/45442/FrankelG_JournalElectrochemicalSociety_1998_v145n6_p2186-2198.pdf?sequence=1)
8. [http://www.imoa.info/download\\_files/stainless-steel/Duplex\\_Stainless\\_Steel\\_3rd\\_Edition.pdf](http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Duplex_Stainless_Steel_3rd_Edition.pdf)
9. <http://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/steel-grades.php>
10. a) J. McGray and G Gedge: EN1993-1-4 Annex 4 and service experience of real structures Paper presented at the Duplex Deminar and Summit 2016 b) [http://www.imoa.info/download\\_files/stainless-steel/IMOA\\_Houska-Selecting\\_Stainless\\_Steel\\_for\\_Optimum\\_Performance.pdf](http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/IMOA_Houska-Selecting_Stainless_Steel_for_Optimum_Performance.pdf)
11. [http://en.wikipedia.org/wiki/Galvanic\\_corrosion](http://en.wikipedia.org/wiki/Galvanic_corrosion)
12. <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=668>
13. [http://www.stainless-steel-world.net/pdf/SSW\\_0812\\_duplex.pdf](http://www.stainless-steel-world.net/pdf/SSW_0812_duplex.pdf)
14. <http://www.outokumpu.com/en/stainless-steel/grades/duplex/Pages/default.aspx>
15. [http://www.aperam.com/uploads/stainlesseurope/TechnicalPublications/Duplex\\_Maastricht\\_EN-22p-7064Ko.pdf](http://www.aperam.com/uploads/stainlesseurope/TechnicalPublications/Duplex_Maastricht_EN-22p-7064Ko.pdf)
16. <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=606>
17. a) Chemical composition of stainless steel flat products for general purposes to EN 10088-2: <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=44> b) Chemical composition of stainless steel long products for general purposes to EN 10088-3: <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=46>

# Annexe : Désignations<sup>17</sup>

Désignation EN		Désignations alternatives			
Nom de l'acier	Référence	AISI	UNS	Autres US	Générique/ Marque
<b>Aciers inoxydables ferritiques - nuances standard</b>					
X2CrNi12	1.4003		S40977		3CR12
X2CrTi12	1.4512	409	S40900		
X6CrNiTi12	1.4516				
X6Cr13	1.4000	410S	S41008		
X6CrAl13	1.4002	405	S40500		
X6Cr17	1.4016	430	S43000		
X3CrTi17	1.4510	439	S43035		
X3CrNb17	1.4511	430Nb			
X6CrMo17-1	1.4113	434	S43400		
X2CrMoTi18-2	1.4521	444	S44400		
<b>Aciers inoxydables martensitiques - nuances standard</b>					
X12Cr13	1.4006	410	S41000		
X20Cr13	1.4021	420	S42000		
X30Cr13	1.4028	420	S42000		
X3CrNiMo13-4	1.4313		S41500	F6NM	
X4CrNiMo16-5-1	1.4418				248 SV
<b>Acier inoxydable martensitique à durcissement par précipitation - nuance spéciale</b>					
X5CrNiCuNb16-4	1.4542		S17400		17-4 PH

Désignation EN		Désignations alternatives			
Nom de l'acier	Référence	AISI	UNS	Autres US	Générique/ Marque
<b>Aciers inoxydables austénitiques - nuances standard</b>					
X10CrNi18-8	1.4310	301	S30100		
X2CrNi18-9	1.4307	304L	S30403		
X2CrNi19-11	1.4306	304L	S30403		
X2CrNi18-10	1.4311	304LN	S30453		
X5CrNi18-10	1.4301	304	S30400		
X6CrNiTi18-10	1.4541	321	S32100		
X4CrNi18-12	1.4303	305	S30500		
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	316L	S31603		
X2CrNiMoN17-11-2	1.4406	316LN	S31653		
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	316	S31600		
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	316Ti	S31635		
X2CrNiMo17-12-3	1.4432	316L	S31603		
X2CrNiMo18-14-3	1.4435	316L	S31603		
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	317LMN			
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539		N08904		904L
<b>Aciers inoxydables austéno-ferritiques - nuances standard</b>					
X2CrNiN22-2	1.4062		S32202		DX 2202
X2CrMnNiMoN21-5-3	1.4482		S32001		
X2CrMnNiN21-5-1	1.4162		S32101		2101 LDX
X2CrNiN23-4	1.4362		S32304		2304
X2CrNiMoN12-5-3	1.4462		S31803/ S32205	F51	2205

Note : Ceci est un tableau simplifié. Pour des nuances spéciales, voir la référence 17.

Merci !