



Mécanismes de corrosion, systèmes de protection et vieillissement accéléré

Journée thématique du 24 mars 2011

Mme C. DEFONTAINE



SOMMAIRE



I. Diverses familles de matériaux

II. Types de Corrosion rencontrées sur ces matériaux

III. Protection contre la corrosion

IV. Contrôles de l'efficacité des traitements anticorrosion



I. Les diverses familles de matériaux



a. Les aciers non alliés

- ne contenant pas ou très peu d'éléments chimiques capables de les rendre naturellement résistants à la corrosion.
- Il s'agit globalement d'aciers dits de construction.
- Ces derniers vont former au contact de l'atmosphère ambiante une couche d'oxyde n'est pas protectrice. Elle est discontinue, poreuse et peu adhérente.



L'INNOVATION AU SERVICE DE
VOTRE DÉVELOPPEMENT

I. Les diverses familles de matériaux



b. Les aciers inoxydables

- Il s'agit d'alliages passivables qui résistent à un grand nombre de milieux corrosifs, dans des limites de températures étendues.
- Ce sont des alliages à base de Fer comportant au minimum 12% de Cr. La résistance à la corrosion repose avant tout sur la présence des éléments d'alliage Cr, Ni et Mo.
- La présence de Cr permet la formation en surface d'un film de passivation naturel conférant à l'alliage son caractère d'inoxidabilité. Ce film d'oxyde naturel est continu, isolant et adhérent. Il constitue une véritable barrière contre les agents agressifs.



I. Les diverses familles de matériaux



c. Les alliages d'aluminium (alliages passivables)

- L'aluminium est un métal amphotère, il peut se dissoudre aussi bien en milieu acide (Al^{3+}) qu'en milieu alcalin (AlO_2^-).
La résistance des alliages d'aluminium se limite donc aux milieux neutres ou très proches de la neutralité ($4 < \text{pH} < 9$).
- Pour ces valeurs de pH les alliages sont naturellement passifs, sauf en présence de chlorures.
- La résistance à la corrosion est due à l'aluminium et non pas aux éléments d'alliage, comme pour les aciers inoxydables.
- Tous les métaux, mis à part le Zn et le Mg sont cathodiques vis-à-vis de l'aluminium.
- Les assemblages avec le graphite et les cuivreux sont les plus dangereux.



L'INNOVATION AU SERVICE DE
VOTRE DÉVELOPPEMENT

I. Les diverses familles de matériaux



d. Les alliages de titane (alliages passivables)

- La résistance à la corrosion est due à la formation d'une couche d'oxyde protectrice constituée majoritairement de TiO_2 .
- Cette couche est continue, isolante et adhérente.
- Elle est auto-cicatrisante, stable dans une large gamme de potentiel, de pH et de température.
- Elle est présente sur tous les alliages de titane, peu importe la composition chimique ou bien la structure.



L'INNOVATION AU SERVICE DE
VOTRE DÉVELOPPEMENT

II. Types de corrosion rencontrées sur ces matériaux



a. Les aciers non alliés

- Pour ce type de matériau la corrosion se présente généralement sous la forme de corrosion généralisée.
- Des cas de corrosion localisées peuvent être observées si les matériaux sont hétérogènes (structure, inclusions...)
- Les facteurs climatologiques pouvant déclencher la corrosion sont les suivants: température, ensoleillement, HR (si $RH < 60\%$ corrosion quasi nulle, si $RH > 80\%$ la corrosion devient importante)
- La nature et la teneur des agents agressifs de l'atmosphère ont un rôle primordial.



II. Types de corrosion rencontrées sur ces matériaux



b. Les aciers inoxydables

Les risques de corrosion dépendent de 4 principaux facteurs:

- **pH et teneur en chlorures** (corrosion généralisée en milieu acide, localisée en milieu neutre et chloruré)
- **teneur en O₂** (Pouvoir oxydant du milieu) et **température**.

Il existe 6 types principaux de corrosion:

1) Corrosion uniforme en milieu acide:

- [] >50% et T >50°C
- Le milieu acide sera d'autant plus agressif que sa température et sa concentration seront élevées.
- L'intérêt de ce type de corrosion est qu'il est possible d'évaluer sa vitesse de propagation

2) Corrosion par piquûre

- Elle dépend de la teneur en chlorures, c'est une forme de corrosion localisée induite par une dépassement locale dans des conditions localement réductrices.
- Le potentiel de piquuration dépend beaucoup de l'agitation du milieu, le confinement du milieu et l'état de surface.



II. Types de corrosion rencontrées sur ces matériaux



3) Corrosion caverneuse

Cette corrosion est due à une acidification locale du milieu.

Elle est liée à l'existence de films très fins qui présentent une grande surface de contact avec le métal.

Il faut limiter les interstices de fabrication, les entartrages.

4) Corrosion sous contrainte

Il faut réunir trois conditions :

- Présence de chlorures
- Température élevée
- Présence de contraintes mécaniques de traction

Cette corrosion est due à un micro fluage de l'acier. Le seuil critique de corrosion dépend de la structure de l'acier (il est faible pour les austénitiques qui fluent beaucoup, et il est élevé pour les ferritiques qui fluent peu)



II. Types de corrosion rencontrées sur ces matériaux



5) Corrosion inter-granulaire

- La matrice reste inattaquée, la corrosion se développe aux joints de grains. Ceci peut conduire à une désagrégation totale du métal, sans perte de masse notable.
- Pour que ce type de corrosion se développe il faut que le métal ait été sensibilisé, puis mis en contact avec un milieu corrosif.
- Le maintien des inox austénitiques dans la zone 500-800°C provoque ce type de corrosion par précipitation de $Cr_{23}C_6$.

6) Corrosion galvanique

- Il va se produire un phénomène de pile dans laquelle une des électrodes (l'anode) se consomme au bénéfice de l'autre (la cathode) qui reste intacte.
- L'électrolyte est constituée par l'eau, plus ou moins conductrice et plus ou moins oxygénée.
- Le pH et la teneur en oxygène sont deux paramètres importants de l'électrolyte.
 - Ces piles apparaissent dès que la surface de l'acier présente une hétérogénéité.



II. Types de corrosion rencontrées sur ces matériaux



c. Les alliages d'aluminium

Il existe 8 types de corrosion

1) Corrosion généralisée

- Se présente sous forme de micro piqûres, et se traduit par une diminution d'épaisseur uniforme et régulière de toute la surface du métal.
- Bien souvent liée au pH du milieu.
- Lorsque le pH s'écarte de la neutralité ($4 < \text{pH} < 9$), la corrosion se traduit très rapidement par une attaque violente.
- La vitesse de dissolution peut varier de qq micromètres par an à qq micromètres par heure en fonction de l'acide ou de la base. Des inhibiteurs peuvent réduire cette vitesse de dissolution. (Ex : silicate de soude).
- Si le pouvoir oxydant du milieu acide est élevé, alors l'aluminium se passive (acide nitrique fumant).
- Dans des milieux alcalins, certains alliages peuvent résister grâce à certains effets d'inhibition (ammoniaque concentré, bases organiques faibles...).
- Dans les milieux neutres, la vitesse de corrosion générale est très faible mais non nulle (5 jours / an).
- On peut facilement déterminer la vitesse de corrosion généralisée par la mesure de perte de masse ou par celle du dégagement d'hydrogène.



II. Types de corrosion rencontrées sur ces matériaux



2) Corrosion par piqûre

- Corrosion localisée qui se traduit par la présence de cavités de forme irrégulière dont le diamètre et la profondeur varient en fonction du substrat, du milieu et des conditions d'utilisations.
- L'aluminium est sensible à ce type de corrosion pour les pH voisins de 7, c'est-à-dire la plupart des milieux naturels.
- Cette corrosion se traduit par l'apparition de pustules blanches volumineuses et gélatineuses d'un gel d'alumine $\text{Al}(\text{OH})_3$.
- Elle se produit lorsque la pièce est en contact intermittent ou continu avec un milieu aqueux. Si ce type de corrosion doit se développer se sera toujours pendant les premières semaines d'exposition.



II. Types de corrosion rencontrées sur ces matériaux



- Initiation et propagation de ce type de corrosion :
 - Se produit suite à la rupture locale du film passif
 - Se développe suivant des mécanismes de corrosion électrochimiques

L'amorçage se fait dans un milieu chloruré, certaines piqûres pourront se re-passiver naturellement.

Les zones non re-passivées vont voir une oxydation rapide de l'aluminium et formation d' AlCl_4^- .

La propagation se fera par mécanisme électrochimique.

La formation d' $\text{Al}(\text{OH})_3$ (composé blanchâtre) sur les bords de la piqûre va finir par l'obstruer, d'où l'arrêt de la corrosion.

Le potentiel de piqûre (E_p) est extrêmement bas. Il est donc rare de pouvoir empêcher toute piqûre. Les critères de résistance à la corrosion par piqûre sont les caractéristiques de distribution des piqûres (densité, homogénéité, vitesse de pénétration moyenne...).

Ex. : En exposition atmosphérique, la corrosion par piqûre cesse en pratique au bout de 1 à 3 ans après que la surface du métal ait acquise la patine grise typique de l'aluminium.



II. Types de corrosion rencontrées sur ces matériaux



3) Corrosion intergranulaire et transgranulaire

- La corrosion se propage soit par les joints de grains, soit dans toutes les directions.
 - Corrosion transgranulaire : toute la matrice est attaquée, pas de corrosion préférentielle.
 - Corrosion intergranulaire : progresse le long des joints de grains. Ne consomme que très peu de matière, la perte de poids n'est donc pas un bon indicateur. Elle se propage à partir de piqûres.
 - C'est un phénomène dérivé des phénomènes de corrosion précédents par la conjonction de deux conditions habituelles :
 - Hétérogénéité au niveau du joint de grain
 - Existence d'un milieu corrosif jouant le rôle d'électrolyte.
- ⇒ Le milieu est en général un milieu neutre chloruré.



II. Types de corrosion rencontrées sur ces matériaux



- Les hétérogénéités peuvent provenir de :
 - l'hétérogénéité de composition (précipités CuAl_2 , précipités Mg_2Si pour la série 6000).
 - l'hétérogénéité de phase : Al_3Mg_2 attaque préférentielle.
- D'une façon générale, la susceptibilité des alliages à durcissement structural dépend de leur structure et des états métallurgiques. Les états T3 (mise en solution, trempe, écrouissage, maturation) et T4 (mise en solution, trempe, maturation ou pré-revenu) sont moins sensibles que le T6 (mise en solution trempe et revenu).
- L'état T73 sur-revenu améliore la résistance à la corrosion intercristalline.



II. Types de corrosion rencontrées sur ces matériaux



4) Corrosion exfoliante (ou feuilletante ou stratifiée)

- Ne concerne, en général, que les séries 2000 et 7000.
- Certains produits très écrouis, et certains états métallurgiques (sous revenus, zones affectées par les soudures).
- Un sur-revenu évite ce type de corrosion.
- C'est une corrosion sélective qui se propage selon une multitude de plans parallèles à la direction de laminage ou de filage. Entre ces plans il reste de minces feuilletts de métal qui ne sont pas attaqués mais qui se sont écartés les uns des autres sous l'effet des résidus de corrosion, d'où cet aspect feuilletant.



II. Types de corrosion rencontrées sur ces matériaux



5) Corrosion sous tension

- Elle est souvent liée à la corrosion intergranulaire.
- Elle est liée à l'orientation du joint de grain et donc à l'orientation de la contrainte appliquée par rapport aux axes de corroyage.
- En pratique, la corrosion sous tension concerne le sens travers court des produits épais.
- Un traitement thermique de sur-revenu peut faire disparaître cette sensibilité à la corrosion.

- Cette dernière peut se propager soit :

- De façon électrochimique : la pointe de la fissure « s'acidifie ».

La corrosion sous contraintes des 2000 et 5000 ne se produit que dans les milieux fortement chlorurés.

Il existe une bonne corrélation entre la sensibilité à la corrosion intergranulaire et la corrosion sous contrainte.

- Par fragilisation à l'hydrogène : l'hydrogène pénètre dans le métal quand il est produit à l'interface métal/film d'oxyde lors d'une réduction liée à la corrosion



II. Types de corrosion rencontrées sur ces matériaux



6) Corrosion filiforme

- Spécifique aux métaux peints, le métal sous jacent n'est corrodé que sur une dizaine de micromètres.
- Elle se développe sous forme de filaments étroits (0.1 à 0.52mm de largeur) et de quelques millimètres de longueur qui vont se propager à l'interface métal/peinture.
- Le produit de corrosion va faire que la peinture se décolle.
- Ce type de corrosion s'amorce au niveau de rayures, d'arrêtes vives, perçages....
- Avec tous types de revêtements : laques acryliques, epoxy-polyamide, epoxy-amines et polyuréthane, quelques soit le mode d'application.
- La préparation de surface avant revêtement est donc très importante.
- La nature de l'alliage n'est pas un facteur déterminant.



II. Types de corrosion rencontrées sur ces matériaux



7) Corrosion sous dépôt

- Corrosion localisée dans les recoins : zones de recouvrement de rivetage, boulonnage, soudage, zones sous joints, sous dépôt (crasse, sable...)
- Corrosion aussi appelée corrosion caverneuse.
- Il s'agit d'une manifestation particulière de la corrosion par piqûre.
- L'acidification du milieu corrosif emprisonné dans la caverne interdit la répartition homogène des piqûres et concentre ainsi (en un seul point) la pénétration de la corrosion.
- La formation de résidus de corrosion permet de limiter la progression de la dégradation.
- L'anodisation préalable permet d'assurer une résistance à la corrosion satisfaisante.

8) Corrosion galvanique



II. Types de corrosion rencontrées sur ces matériaux



d. Les alliages de titane

1) Corrosion

- Des conditions très réductrices peuvent être à l'origine d'une dégradation de la couche d'oxyde protectrice.
- C'est le cas notamment du fluor, c'est ce qui explique pourquoi les réactifs d'attaque contiennent souvent de l'acide fluorhydrique.
- L'acide chromique, nitrique, les sels de fer, nickel, cuivre ou chrome sont d'excellents agents inhibiteurs.
- Le titane fait parti des métaux nobles au sens potentiel galvanique.
- L'autre métal va se corroder, libérer de l'hydrogène qui pourra être absorbé par le titane.
- D'où un risque de fragilisation par formation d'hydrures.
- Il est possible d'augmenter la tendance à la passivation en ajoutant des éléments d'addition tels le Zr, le Ta, ou bien le Cr.
- Il est possible d'augmenter le potentiel de corrosion, on utilisera le Pt, le Pd, et le Rh.



II. Types de corrosion rencontrées sur ces matériaux



2) Corrosion par piqûre, caverneuse ou sous contrainte

- La corrosion par piqûre ou caverneuses est très rarement rencontrée.
- Les risques de corrosion sous contraintes apparaissent dans les alliages de titane :
 - à froid dans l'eau de mer
 - dans certains milieux aqueux (méthanol anhydre)
 - à chaud, en présence de Na Cl fondu
- Les critères de résistance sont globalement assez proches de ceux qui améliorent la ténacité :
 - les structures α sont sensibles à la corrosion sous contraintes
 - les structures β ont une bonne résistance
 - les alliages α - β ont une sensibilité

3) Erosion

- Très faibles car la couche d'oxyde protectrice est très résistante.



L'INNOVATION AU SERVICE DE
VOTRE DÉVELOPPEMENT

III. Protection contre la corrosion



a. Les aciers non alliés

- Les traitements de conversion

- T. chimiques:

Ces traitements ont pour but de former en surface un composé chimique du métal ou autre.

- Phosphatation : composés insolubles de phosphates métalliques sur aciers, zinc ,alu
 - Oxydation



III. Protection contre la corrosion



– Les revêtements métalliques

- Electrolytique :
l'épaisseur du dépôt sera proportionnelle à l'intensité et au temps de l'électrolyse

- Chimiques :
 - Soit électrochimique, il s'agit d'une réaction par déplacement ($e < 1\mu\text{m}$). Par exemple, cuivrage, nickelage, argentage, dorage.

 - Soit chimique



III. Protection contre la corrosion



– Les revêtements métalliques

- Immersion dans des métaux fondus: Galvanisation, Etamage, aluminage
- Métallisation au pistolet: la projection de métal fondu est réalisée soit par une flamme oxygénée et un gaz, soit par un arc électrique, soit au plasma....
- Dépôt sous vide: PVD
- Dépôts divers: Plaquage, rechargement, peintures



III. Protection contre la corrosion



b. Les aciers inoxydables

- Couche de passivation qui augmente l'épaisseur de la couche naturelle d'oxyde de chrome. Est réalisée dans des bains d'acide. Se compose d'une étape de décapage en milieu sulfo-nitrique (martensitique) ou phosphorique (austénitique) suivie d'une passivation nitrique
- Traitement d'hypertrempe pour les aciers inoxydables austénitiques.
- Eviter la déchromisation qui peut être aux atmosphères oxydantes lors des TTh.
- Eviter une nitruration trop importante qui est à l'origine d'une précipitation de NiCr.
- Stabilisation par le Ti ou le Nb qui sont plus carburigènes que le Cr.



III. Protection contre la corrosion



c. Les alliages d'aluminium

1) Le boehmitage

- Ce traitement consiste à faire croître une couche d'oxyde naturel par réaction avec l'eau à partir de 75°C pour former de la BOEHMITE :



- La boehmite commence à se former aux joints de grains et progresse ensuite à leur surface.
- Procédé couramment employé :

Les pièces sont en contact avec de la vapeur d'eau (pH compris entre 4 et 11) à 110 / 160°C.

Attention : Si la température est trop élevée, il se produit une corrosion inter cristalline.

- C'est dans un milieu alcalin que la couche de Boehmite est la plus épaisse et qu'elle résiste le mieux à la corrosion mais elle a un aspect laiteux. En présence de vapeur d'eau, le film de Boehmite présente un aspect très clair.
- Attention : Le coût de ce traitement reste élevé car il nécessite beaucoup de temps. Ceci explique pourquoi il est peu utilisé.



III. Protection contre la corrosion



2) Les traitements de conversion chimique

- Ils forment une couche d'oxydes complexes dont l'épaisseur est très faible (0,05 à 0,15 μm).
- Cette couche d'oxyde peut être obtenue dans des bains de phosphatation ou de chromatisation, acides ou basiques.
- La chromatisation, comme le boehmitage, s'initie aux joints de grains.
- Ces traitements de chromatisation et phosphatation servent principalement de base d'accrochage des peintures, colles et vernis.
- Ils n'augmentent que légèrement la résistance à la corrosion des alliages d'aluminium.

a) Chromatisation

- Développée depuis 1915.
- Les alliages d'alu sont plongés dans un bain contenant du carbonate de potassium, du bicarbonate de sodium et du bichromate de potassium pendant 2 heures à une température d'environ 90°.
- On obtient alors un film gris foncé.
- Ce traitement est rarement appliqué car de nombreux procédés plus récents et plus rapides sont disponibles.



III. Protection contre la corrosion



b) Chromatisation et phosphatation

- Développée en 1945.
- Les procédés les plus connus portent les noms :
 - Alodine (American Paint Company)
 - Bondérite (Continental Parker)
 - Iridite (Allief Kelite Product)

Il existe deux types de conversion :

- ***Conversion à base de phosphate de chrome trivalent***
 - La couche est de coloration vert émeraude foncé.
 - Les bains sont composés :
 - d'anhydride chromique,
 - d'acide phosphorique,
 - d'acide fluorhydrique.
 - Ce type de traitement est utilisé pour les produits laqués en continu.
 - Le poids de la couche varie de 400 à 800 g/m² et son épaisseur est de l'ordre de 400 nm pour un dépôt de 1 g/m².
 - Ces couches présentent une bonne résistance à la corrosion couplée à une très bonne adhérence de la peinture.



III. Protection contre la corrosion



- **Conversion à base de chromate de chrome**
 - La coloration dépend de l'épaisseur de la couche.
 - Elle varie de jaune à brun foncé.
 - Les bains contiennent :
 - de l'acide chromique,
 - de l'acide fluorhydrique,
 - quelque fois du ferricyanure de potassium.
 - Ces conversions sont utilisées dans l'aéronautique car elles présentent une excellente tenue à la corrosion et cela même sans peinture.
 - Le poids de la couche varie de 250 à 400 g/m² et l'épaisseur est d'environ 600 nm pour un dépôt de 1 g/m².



III. Protection contre la corrosion



3) Les anodisations

- Traitement le plus répandu.

Son principe est le suivant :

- L'idée est de renforcer la couche d'alumine qui se développe naturellement. Ceci est possible car, lorsque l'aluminium est placé en anode dans une cellule d'électrolyse, il se recouvre alors d'une couche d'oxyde.
- Plusieurs procédés existent :
 - L'anodisation chromique (1)
 - L'anodisation sulfurique (2)
 - L'anodisation oxalique (3)
- Les deux premiers procédés « (1) et (2) » ainsi que leurs variantes sont les plus utilisés.
- Ces traitements forment des couches d'oxydes dont la structure et les propriétés sont différentes des autres couches d'oxydes naturels de l'aluminium.
- Leur épaisseur varie de quelques micromètres à 100 μm , soit 1.000 à 10.000 fois plus épaisse que la couche d'oxyde naturel (5 à 10 nm).



III. Protection contre la corrosion



- **Les objectifs de l'anodisation sont les suivants :**
 - La décoration.
 - La protection contre la corrosion atmosphérique.
 - La résistance à l'abrasion et l'augmentation de la dureté.
 - L'adhérence de revêtements organiques (peinture, colles...).
 - La modification des propriétés électriques (isolant).
 - La modification des propriétés optiques (pouvoir réflecteur).
 - **Il existe plusieurs types d'anodisation :**
 - Sulfurique : Protection contre la corrosion atmosphérique.
 - Chromique : plutôt réservée à l'aéronautique (séries 2000 et 7000).
 - Auto-colorée : Architecture.
 - Phosphorique : Préparation de surface avant collage.
 - Barrière : Sur métal de grande pureté (1199), pour des applications électriques.
 - Dure : Augmentation de la dureté superficielle.
 - Brillantage électrolytique.
- ⇒ La couche anodique, comme les oxydes naturels, résiste mal aux milieux acides et alcalins.



III. Protection contre la corrosion



d. Les alliages de titane

- Couche de passivation qui augmente l'épaisseur de la couche naturelle d'oxyde de titane. Est réalisée dans des bains d'acide. Se compose d'une étape de décapage en milieu phosphorique suivi d'une passivation nitrique.
- Oxydation anodique obtenue par oxydation électrochimique dans des bains d'acide sulfurique et phosphorique / nitrique / ou chlorhydrique et sulfurique



IV. Contrôle de l'efficacité des traitements anticorrosion



a. Les aciers non alliés

- Test BS (ISO 9227)
- Test à la rayure
- Tenue à l'abrasion (Test Taber par exemple)
- Tenue au choc
- Tenue au pliage
- Essais à l'ensoleillement...



IV. Contrôle de l'efficacité des traitements anticorrosion



b. Les aciers inoxydables.

Attaque électrolytique en milieu acide oxalique

ASTM A 262- Practice A Figures de corrosion par contrôle micro (précipitation de carbures de chrome)

Ebullition dans un milieu $\text{Cu}/\text{SO}_4/\text{Cu}/\text{H}_2\text{SO}_4$:

ASTM A 262 Practice E- Essai Strauss- pliage
DIN 50 914 / Afnor A 05-159 Essai Strauss- pliage

Ebullition dans un milieu $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ et H_2SO_4 :

ASTM A 262 Practice B- Essai Streicher- perte de métal en surface, domaines appauvris en chrome
SEP 1877 Essai Streicher modifié après pliage des éprouvettes

Ebullition dans un milieu HNO_3 :

ASTM A 262 Practice C- Essai Huey/ Afnor A05-160/ DIN 50 921- perte de masse

Caractérisation d'un traitement de passivation:

ASTM A 967: Méthode A- Immersion dans l'eau , séchage à l'air : 12 fois
Méthode B: Test avec haute humidité: à $38^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ e t $-7 \pm 3\%$ HR pendant 24h
Méthode C: Brouillard salin pendant 2h dans une solution à 5% NaCl



IV. Contrôle de l'efficacité des traitements anticorrosion



c. Les alliages d'aluminium

<u>Corrosion par piqûres:</u>	ASTM G 46 (forme, densité et profondeur de corrosion)
<u>Corrosion inter cristalline:</u>	ASTM G 67 (alliages de la série 5000 (Mg) ASTM G 110 (série 2000 (Cu) et 7000 (Zn+Mg))
<u>Corrosion feuilletante:</u>	ASTM G 112 ASTM G 34 (séries 2000 et 7000) Test EXCO ASTM G 66 (série 5000) équivalent à NF A 05-306 (Test ASSET)
<u>Corrosion sous contrainte:</u>	ASTM G 44 (immersion-émersion alternées) ASTM G 47: séries 2000 et 7000 ASTM G 64: Indice de sensibilité à la CSC des séries 2000,6000 et 7000.
<u>Corrosion filiforme:</u>	ASTM D 2803
<u>Mesure des potentiels de dissolution:</u>	ASTM G69
<u>Erosion cavitation:</u>	ASTM D 2809
<u>Corrosion atmosphérique:</u>	ASTM G 50



IV. Contrôle de l'efficacité des traitements anticorrosion



Brouillard Salin:

ASTM G 85 brouillard acétique
ASTM B 368 Brouillard cupro acétique
ASTM B 680: Mesure de l'épaisseur de la couche anodique (dissolution)
NF ISO 9227: Brouillard salin

Solutions de nettoyage:

ASTM D 930 Mesure de l'agressivité.
NF A 91-451 Aluminium anodisé, tenue dans les produits d'entretiens.

Eau de mer artificielle:

ASTM D 1141



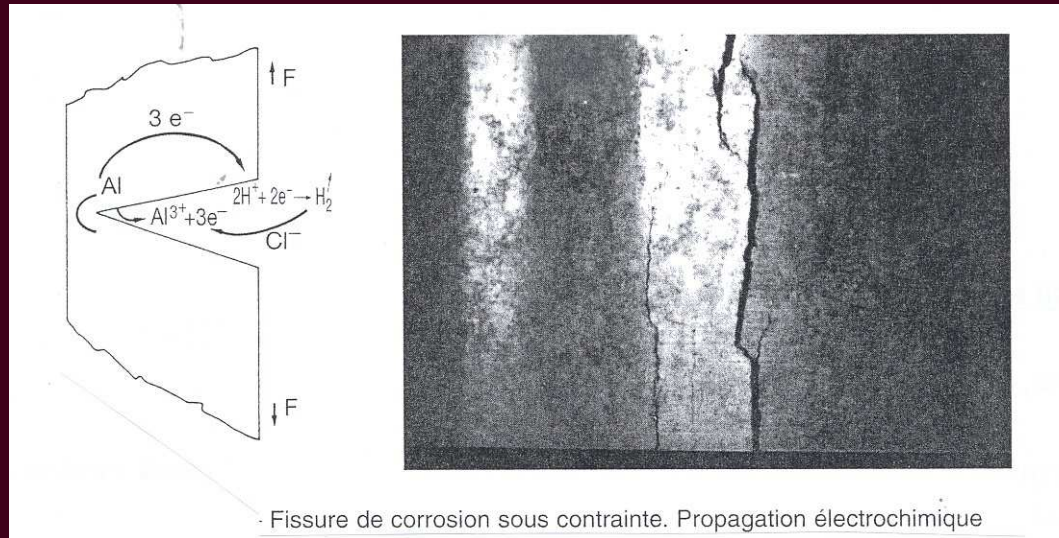
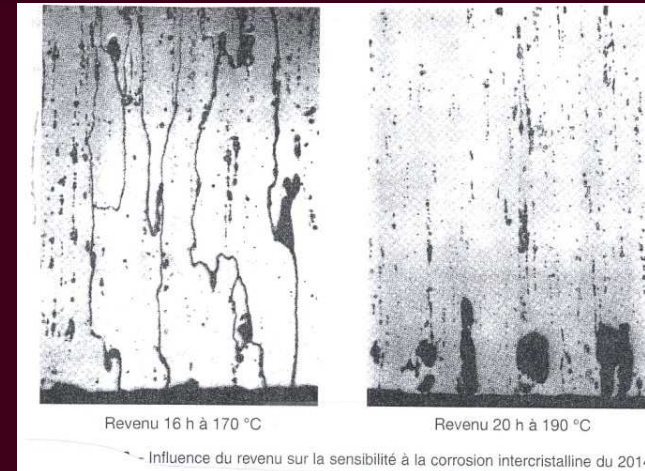
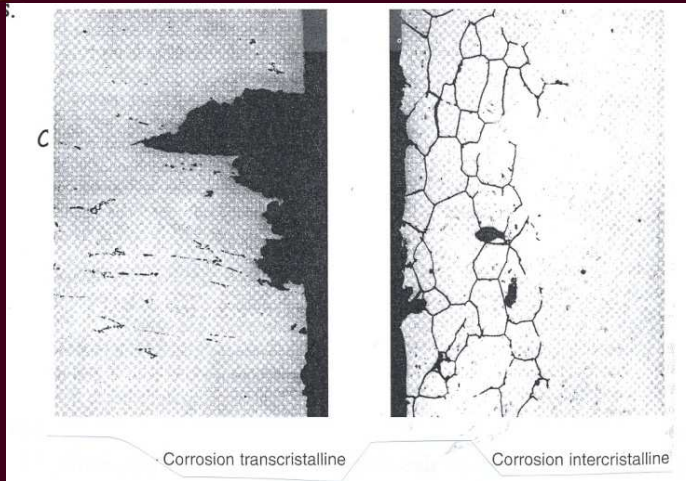
IV. Contrôle de l'efficacité des traitements anticorrosion



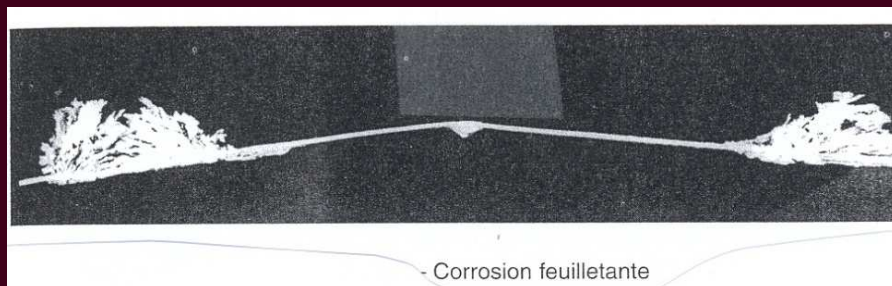
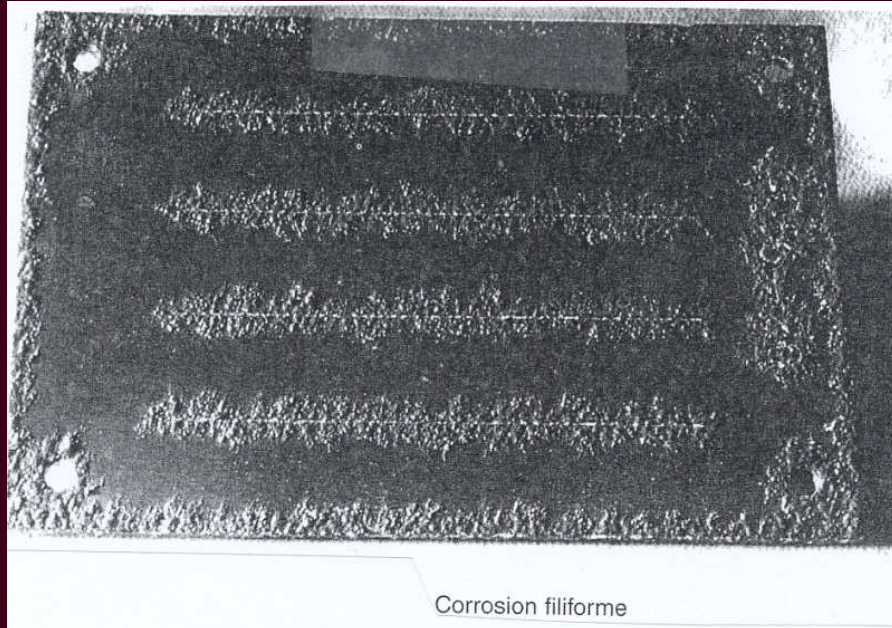
d. Les alliages de titane

- ASTM F 746: Résistance à la corrosion par piquûre ou crevasse des implants métalliques chirurgicaux. Essais de corrosion électrochimique afin de caractériser la couche passivée

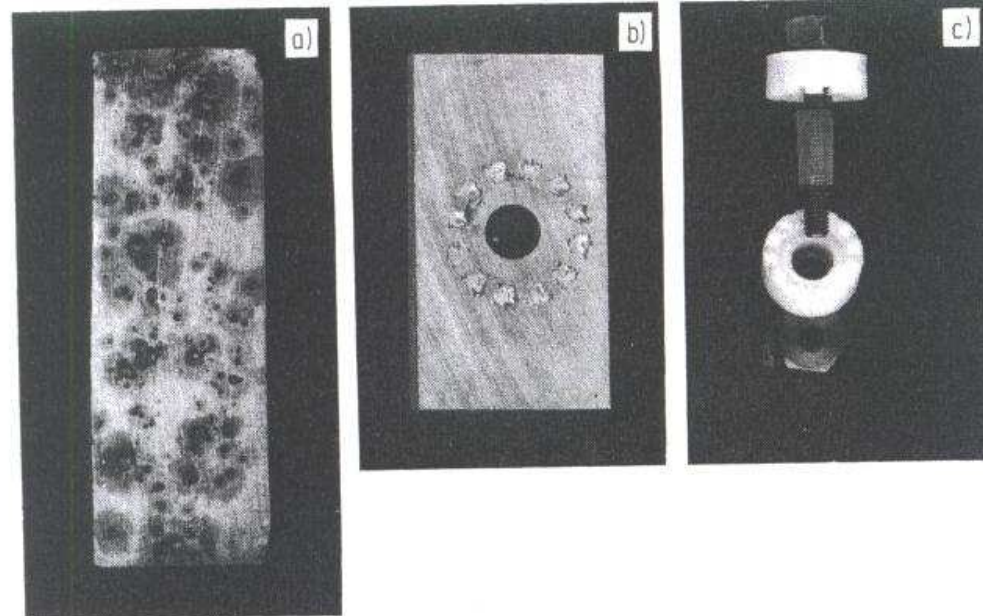
Clichés de corrosion sur alliages d'aluminium



Clichés de corrosion sur alliages d'aluminium



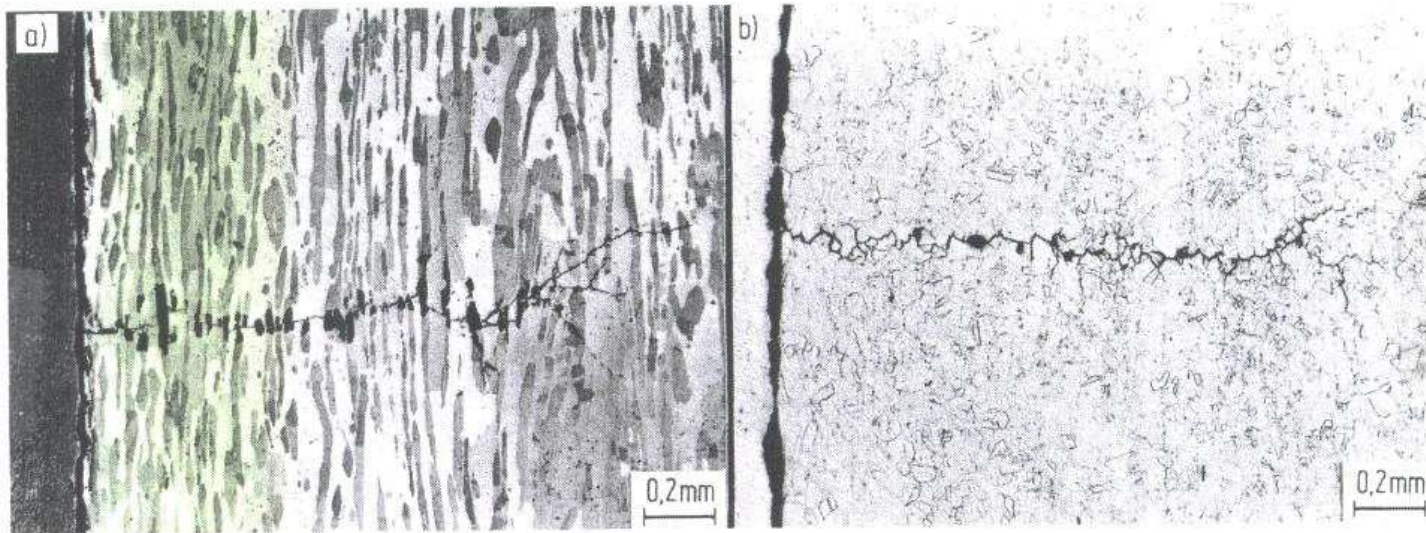
Clichés de corrosion sur aciers inoxydables



- Essai de corrosion par piqûre et par fissuration d'aciers inoxydables

- a) Corrosion par piqûre après essai dans une solution de NaCl avec addition de $K_3[Fe(CN)_6]$
- b) Corrosion fissurante après essai dans une solution de $FeCl_3$
- c) Corps fissuré selon les conditions exposées en b)

Clichés de corrosion sur aciers inoxydables

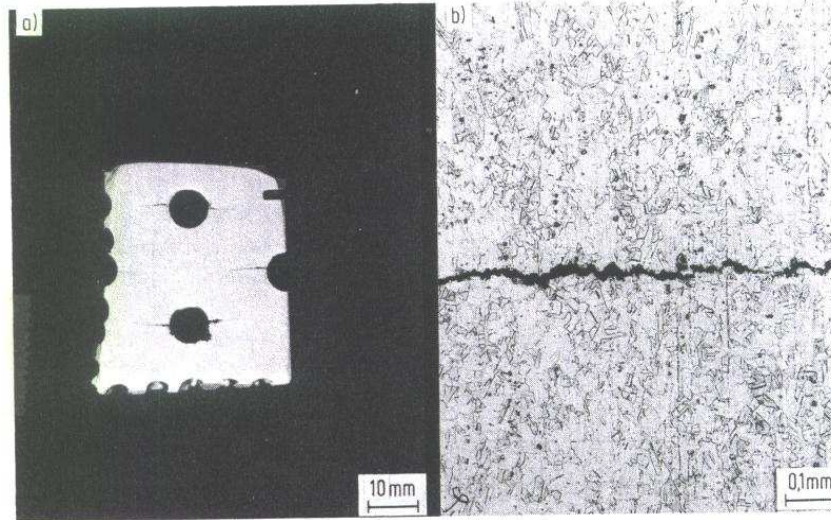


- Formes de criques par corrosion sous tension (dans un mélange d'acides)

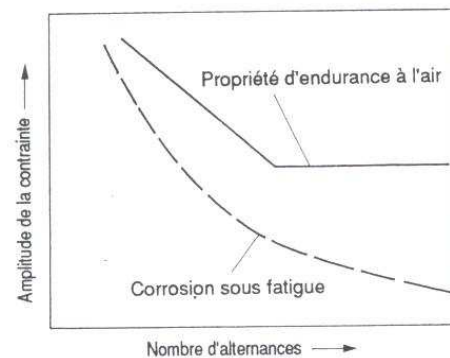
- a) Formation de criques transgranulaires dans un acier austéno-ferritique
- b) Formation de criques intergranulaires dans un acier austénitique



Clichés de corrosion sur aciers inoxydables



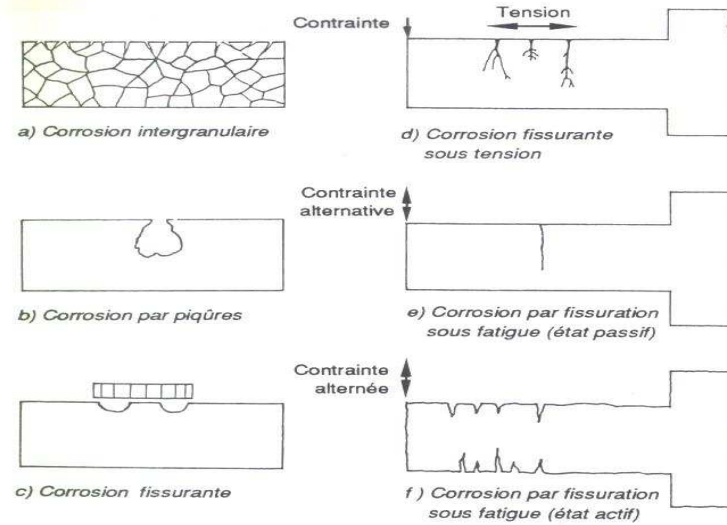
- Criques de corrosion sous fatigue d'un tambour de centrifuge lors de la fabrication de γ -hexachlorocyclohexane ($C_6H_6Cl_6$) acier Z6CNDT17.12 ; attaque par mélange d'acides



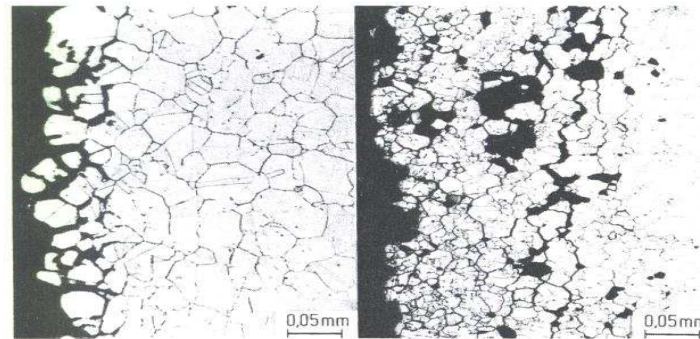
- Allure de courbes de Wöhler d'un matériau métallique sous corrosion par fatigue à l'air et par corrosion sous fatigue (schéma)



Clichés de corrosion sur aciers inoxydables



- Formes typiques de corrosion locale sur aciers inoxydables (schématique)

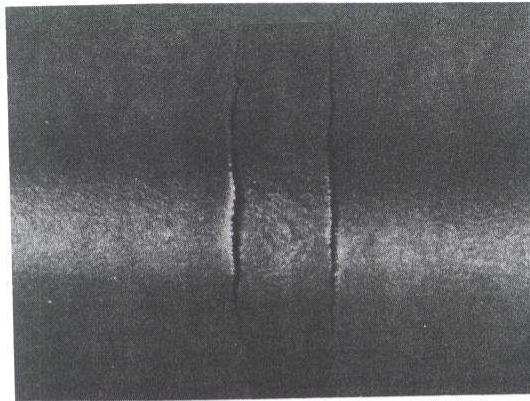


Exemple d'occurrence de corrosion intergranulaire sur un acier Z12CN17.07

Clichés de corrosion sur aciers inoxydables

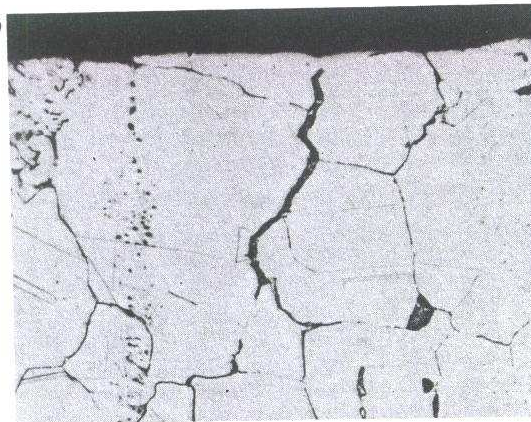


a)



- Corrosion en lame de couteau (après essai Strauss) d'une éprouvette en acier Z6CNNb18.10 soudé avec un apport en Z5CNNb19.9 et après un traitement thermique de 570°C/12 h/air. Rapport de stabilisation 1:9,6

b)



- Attaque intergranulaire de l'éprouvette précédente dans les environs immédiats du cordon de soudure.
D'après A. Baumel