



Tenue à la corrosion de l'aluminium

Axel Gambou-Bosca, Ph.D. Chimiste
Centre de Métallurgie du Québec

13 novembre 2019

Tenue à la corrosion de l'aluminium

1. Introduction

La corrosion est un processus naturel favorisé par la thermodynamique et qui affecte les métaux à différents degrés. Sous l'action de l'environnement, tout métal à l'exception des métaux nobles a tendance à retourner à son état stable d'oxyde. Dans la pratique, la corrosion désigne surtout un changement dans les propriétés du métal qui peut conduire à un résultat indésirable.

Bien que l'aluminium soit oxydable, sa grande affinité avec l'oxygène favorise l'apparition d'une fine couche d'oxyde (~0,5 µm) compacte et protectrice. Contrairement à un acier au carbone, le film d'oxyde sur l'aluminium, de l'alumine (Al_2O_3), est un isolant parfait. En milieu humide, l'aluminium est habituellement protégé par une double couche d'oxyde :

- Une couche d'oxyde anhydre et amorphe côté métal ;
- Une couche d'oxyde hydratée (hydroxydes d'aluminium) côté environnement.

Le film d'oxyde est généralement stable dans une gamme de pH comprise entre 4,5 et 8, dans l'acide acétique glacial, dans l'acide nitrique concentré ou encore dans l'hydroxyde d'ammonium. Cependant, ce film d'oxyde sera dissous par la plupart des acides forts et bases fortes.

Le film protecteur qui recouvre ainsi l'aluminium et ses alliages, encore appelé film passif, lui confère donc une excellente résistance à la corrosion pour de nombreuses applications dans les industries variées comme le transport, le bâtiment, l'emballage alimentaire, l'industrie chimique, les équipements électriques et mécaniques, etc. Le tableau 1 présente quelques applications de l'aluminium et de ses alliages.

Tableau 1. Exemples d'applications d'alliages d'aluminium impliquant une bonne tenue à la corrosion.

Alliages d'aluminium	1xx.x	2xx.x	3xx.x	4xx.x	5xx.x	6xx.x	7xx.x	8xx.x	Critères de sélection
	Al	Al-Cu	Al-Si-Cu, Al-Si-Cu-Mg Al-Si-Mg	Al-Si	Al-Mg		Al-Zn-Mg	Al-Sn	
Alliages de corroyage	1xxx	2xxx	3xxx	4xxx	5xxx	6xxx	7xxx	8xxx	
	Al	Al-Cu-Mg-Si	Al-Mn-Mg	Al-Si	Al-Mg, Al-Mg-Mn	Al-Mg-Si	Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu	Al-Li-Cu-Mg	
Exemples d'applications	Ferroviaire				5052, 5083, 5086, 5059, 5383, 5454	6061, 6082		850.0, A850.0	Mise en forme, caractéristiques mécaniques, aspects après peinture, usinabilité, résistance à la corrosion
	Terrestre		222.0, 2014, 2011	A356, 319, 3003, 3004, 3005	5052, 5083, 575, 5251	6061, 6082, 6005A, 6063, 6106, 6016	713.0		Mise en forme, caractéristiques mécaniques, aspects après peinture, usinabilité, résistance à la corrosion
	Maritime			360.0	413.0, 443.0	5754, 5052, 5086, 5383, 5083,	6061, 6005A, 6082, 6071, 6063		Mise en forme, soudage. résistance à la corrosion: 5086 meilleur en CSC que 5083
	Aéronautique		201.0, B295, 242.0 2618A, 2024, 2017, 2214,	354.0, 359.0	518.0, 520.0		7020, 7075, 7175, 7475, 7050, 7010		Légèreté, caractéristiques mécaniques, mise en forme, usinabilité, aptitude aux traitements de surface, résistance à la corrosion. Susceptibilité pour certains traitements thermiques à la CSC
	Applications mécaniques		2618A, 2024, 2017A 2030, 2011			5086, 5083,	6005, 6082, 6061, 6012, 7075, 7049A 6262		Caractéristiques mécaniques, usinabilité
	Bâtiments et construction	1050A, 1090, 1095, 1198, 1199		3105, 3003, 3005		5005, 5052	6060, 6005A, 6106		Mise en forme, assemblage, aptitude à l'anodisation, au laquage, résistance à la corrosion
	Conductivité électrique	100.0, 1050A, 1350, 1370					6101		Faible résistivité électrique
	Échangeurs thermiques	1050A, 1100		390.0, 3003, 3005			6060, 6063	8011	Conductivité thermique, mise en forme, assemblage (brasage), résistance à la corrosion, pour les échangeurs brasés : 3003 et 3005 plaqués
	Emballage	1200		3000, 3104, 3004		5052, 5154A, 5182			Légèreté, mise en forme, aptitude à la décoration, effet de barrière, compatibilité alimentaire
	Articles culinaires	1050A		3003, 3004	4006, 4007	5052, 5754			Emboutissabilité, aptitude aux traitements de surface. Les 4006 et 4007 sont des alliages pour émailage
Fil				4043	5051, 5052, 5754, 5056, 5356, 5183	6101		Caractéristiques mécaniques, tenue à la corrosion, fil de soudage (4043, 5754, 5356, 5183)	

Sources : Techniques de l'ingénieur COR 325 et Aluminum and Aluminum Alloys, JR Davis, ASM International.

Malgré la bonne tenue en corrosion des alliages d'aluminium, l'expérience nous enseigne que l'aluminium va se corroder sous certaines conditions. La corrosion de l'aluminium survient lorsque le mauvais alliage est choisi pour une application donnée ou que cet alliage n'est pas utilisé de façon optimale pour cette application. En effet, lorsque l'utilisation de l'aluminium est structurale, le métallurgiste se doit de considérer les caractéristiques mécaniques de l'aluminium en diminuant le moins possible la résistance à la corrosion. Pour les alliages d'aluminium, les éléments d'addition servent essentiellement à augmenter la résistance mécanique. Il faut noter que l'ajout du magnésium dans les alliages de la série 5xxx pour les applications marines contribue quant à lui à obtenir le meilleur compromis, résistance mécanique - tenue à la corrosion, dans ce milieu. Finalement, pour tirer le meilleur des propriétés de l'aluminium, il est donc essentiel de connaître les formes de corrosion que peut prendre l'aluminium, les conditions responsables de la corrosion, la sévérité du milieu, et surtout, les mesures préventives pour minimiser, voire éviter, les risques de corrosion.

2. Types de réactions

Selon la nature du milieu dans lequel sera exposé l'aluminium, son interaction avec l'environnement peut se faire de manière chimique, bactérienne, métallographique ou électrochimique; la réaction électrochimique étant le type de corrosion le plus fréquemment rencontré.

Corrosion chimique

Il s'agit de la réaction entre le métal et une phase gazeuse oxydante. Un cas typique est celui de la corrosion sèche qui se produit à haute température lors de l'interaction entre le métal et les gaz chauds.

Biocorrosion

Ce type de corrosion implique les processus selon lesquels les micro-organismes (bactéries, champignons, microalgues) présents dans le milieu vont par leur action accélérer directement les réactions de corrosion ou changer les propriétés de l'environnement et le rendre plus agressif (ex. production d'acide sulfurique H_2SO_4 par certains types de bactéries).

Corrosion métallographique

Pour l'aluminium, un exemple est celui de la fissuration assistée par hydrogène, où le processus de corrosion va induire la diffusion de l'hydrogène aux joints de grains lequel va conduire à la rupture d'un composant.

Corrosion électrochimique

La corrosion électrochimique est le mode de corrosion le plus courant. Elle repose essentiellement sur un échange électrique entre le métal et l'environnement humide. Cette interaction se fait par l'intermédiaire d'électrons du métal et d'ions provenant de l'électrolyte formé par la présence d'un film d'eau et d'agents oxydants (H_2O , O_2 , OH^-) à sa surface. La corrosion électrochimique d'un matériau correspond à une réaction d'oxydoréduction :

- La dissolution anodique du métal ou réaction d'oxydation
 $Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^-$
- La réaction de réduction d'un agent oxydant ou réaction cathodique.
En milieu acide en l'absence d'oxygène
 $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$
En milieu acide en présence d'oxygène :
 $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 4 H_2O$
En milieu alcalin ou neutre en l'absence d'oxygène
 $2H_2O + 4 e^- \rightarrow 4OH^- + H_2$
En milieu alcalin ou neutre en présence d'oxygène :
 $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4 OH^-$

Les deux réactions partielles peuvent avoir lieu à la surface du métal dans une proportion assez homogène, conduisant à une attaque généralisée (voir Figure 1), ou peuvent se produire localement et séparément, conduisant à des formes localisées de corrosion telles que corrosion par piqûres.

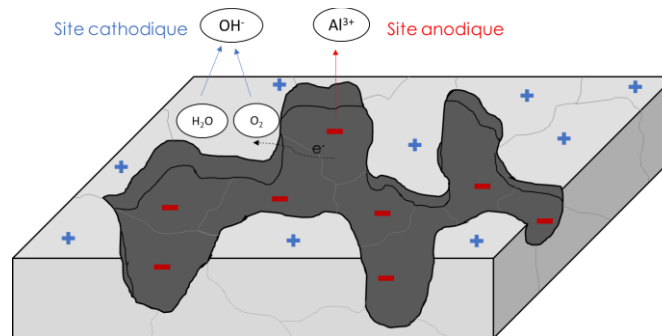


Figure 1. Représentation des sites cathodiques et anodiques sur l'aluminium.

3. Formes de corrosion

Puisque la résistance à la corrosion de l'aluminium dépend fortement de la nature des éléments d'addition présents dans les alliages, le tableau 2 présente la résistance relative à la corrosion pour les principaux alliages de corroyage.

Tableau 2. Performance relative des familles d'alliage vis-à-vis de la corrosion

Alliages de corroyage	Résistance mécanique	Ductilité	Soudabilité	Anodisation	Résistance à la corrosion	Commentaires (types de corrosion)
1xxx	Faible	Élevée	Élevée	Élevée	Élevée	Al à 99%, très bonne résistance à la corrosion (piqûres, généralisée)
2xxx	Très élevée	Faible	Faible	Faible	Faible	Risque de piqûration, corrosion intergranulaire (IG), corrosion sous contrainte (CSC), exfoliation
3xxx	Faible, > 1xxx	Élevée	Élevée	Élevée	Élevée	Bonne résistance à la corrosion. (piqûres, généralisée)
5xxx	Moyenne	Moyenne	Élevée	Élevée	Élevée	Excellente résistance à la corrosion, grade marin, (piqûres, généralisée). Risque de CSC et exfoliation, lorsque %Mg ≥4% et sensibilisation en température
6xxx	Moyenne	Moyenne	Élevée	Élevée	Élevée	Bonne résistance à la corrosion, surtout avec un bon ratio silicium et du magnésium pour former du siliciure de magnésium dans l'alliage. (piqûres, généralisée)
7xxx	Élevée	Faible	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Piqûres, corrosion intergranulaire (IG), corrosion sous contrainte (CSC), exfoliation
7xxxCu	Très élevée	Faible	Faible	faible	Faible	Piqûres, corrosion intergranulaire (IG), corrosion sous contrainte (CSC), exfoliation

Source: AfSA, Corrosion resistance of aluminum, 2011.

Corrosion générale

Les attaques de cette forme de corrosion mènent à une perte d'épaisseur relativement uniforme (voir Figure 2). Les conditions nécessaires pour une attaque uniforme sont ;

- La corrosion électrochimique est le seul mécanisme impliqué
- Les réactions anodiques et cathodiques se déroulent sur toute la surface, mais pas d'une façon simultanée et à la même place.
- la concentration de l'électrolyte est uniforme le long de la surface du matériau
- La composition du matériau est homogène

La corrosion générale n'est pas considérée comme une forme de corrosion dangereuse, car elle peut être prédite (corrosion de l'acier au carbone ou de l'acier galvanisé en $\mu\text{m}/\text{an}$), et des moyens de prévention existent (ex. revêtement et protection cathodique).

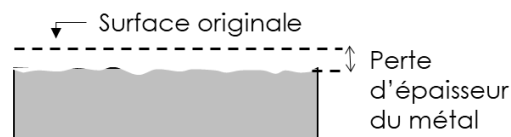


Figure 2. Corrosion uniforme.

Corrosion par piqûres

En présence d'ions chlorures, le processus d'initiation de la corrosion par piqûre (Pitting Corrosion) commence par une rupture locale de la couche passive qui se propage sous forme de trous dans le matériau, donnant lieu à l'apparition de cavités (voir Figure 3). La corrosion par piqûres se produit généralement sur les matériaux passivés dans des milieux contenant des chlorures, bromures, iodures ou perchlorates. Ce type de corrosion est caractérisée par une attaque localisée qui peut être variable en ouverture et en profondeur. Il s'agit d'une forme dangereuse de corrosion qui, dans plusieurs cas, est difficile à observer, à mesurer et à prédire. Ainsi, en l'absence de moyens de contrôle, il est préférable de l'exclure en amont par des considérations de conception et l'utilisation du bon matériau.

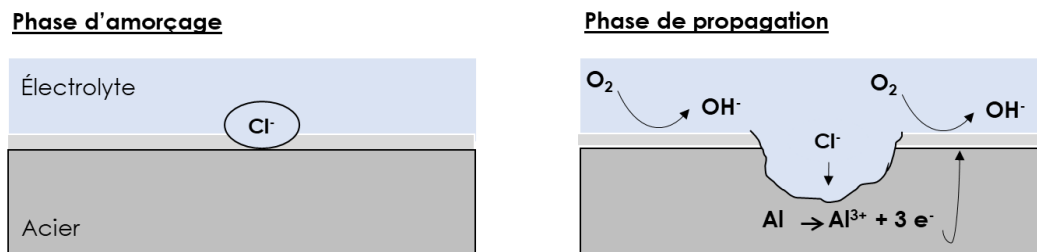


Figure 3. Corrosion par piqûre.

Corrosion caverneuse

La corrosion caverneuse est une forme de corrosion localisée qui se développe à l'intérieur de crevasses entre deux surfaces, qui peuvent être constituées du même métal (fissures dans le métal, assemblages), de métaux dissemblables, entre un métal et un non-métal. Ce type de corrosion est amorcé par l'entrée limitée de l'oxygène contenu dans l'air qui diffuse dans la zone de la crevasse conduisant à différentes concentrations d'oxygène dissous dans l'électrolyte (voir Figure 4). La pile d'aération différentielle se développe pour une ouverture de crevasse de l'ordre de 50 à 200 µm. Si la crevasse est trop fine, la corrosion par électrolyte ne sera pas présente. Si la crevasse est trop large pour réduire l'entrée d'oxygène, la cellule d'aération différentielle ne peut pas se développer. La largeur critique de la crevasse dépend également de facteurs tels que le type des métaux concernés, l'environnement corrosif et les cycles humides / secs. La nature de l'alliage utilisé est un facteur important pour la cinétique de propagation de ce type de corrosion, car elle est liée à l'établissement d'une concentration critique d'espèces dans la crevasse. Les différents exemples incluent les joints par recouvrement, les joints d'étanchéité, les rondelles, les rivets, etc.

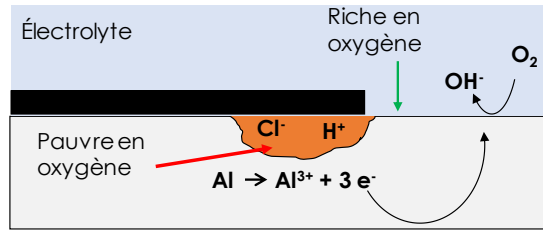


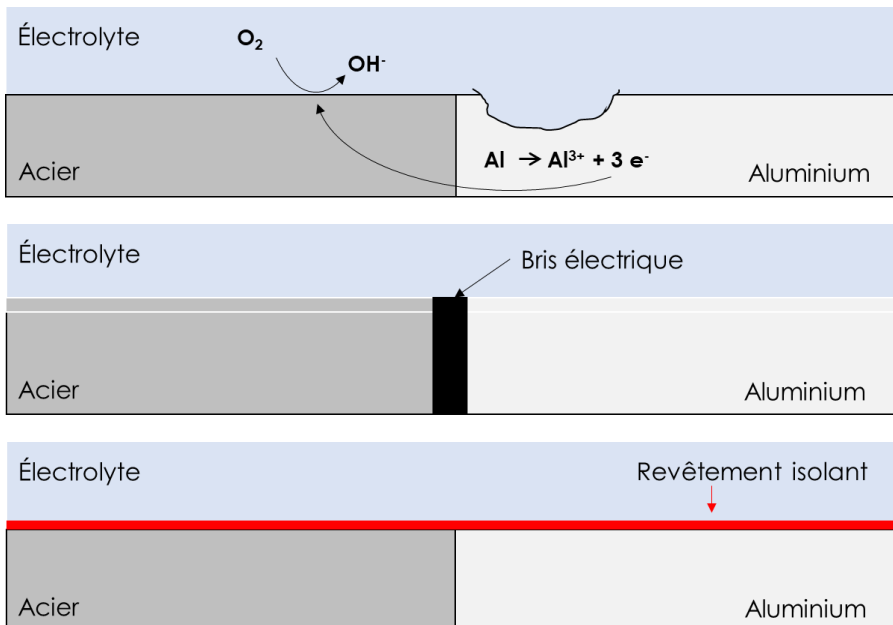
Figure 4. Corrosion caverneuse.

Corrosion galvanique

La corrosion galvanique est un type de corrosion qui implique deux matériaux dissimilaires mis en contact électrique en présence d'un électrolyte. Pour se produire, elle nécessite trois conditions:

- Deux conducteurs électriques différents (ex. aluminium/acier, aluminium/CFRP, etc.);
- Un contact électrique entre les deux matériaux (courant électronique);
- Un électrolyte continu à l'interface des deux matériaux (courant ionique).

Ainsi, dès lors que l'on supprime l'une de ces trois conditions, la corrosion galvanique peut être éliminée.



Solutions pour limiter le risque de corrosion galvanique :

1. **Supprimer le contact électrique**
2. **Supprimer le contact électrolytique** avec un revêtement sur la cathode ou sur les deux métaux.

Figure 5. Cas de corrosion galvanique entre l'acier et l'aluminium et exemples de solutions pratiques pour limiter le risque de corrosion galvanique.

L'intensité d'un phénomène de corrosion galvanique dépend de 4 facteurs :

- La différence de potentiel entre les deux métaux mis en contact;
- La nature de l'environnement dans lequel l'assemblage est exposé;
- L'état de polarisation de chacun des métaux;
- La géométrie des sites anodiques et cathodiques (formes, aire relative des surfaces, etc.).

Le tableau 3 donne l'intensité relative de la corrosion galvanique entre l'aluminium et différents métaux en fonction du ratio des surfaces aluminium/métal.

Tableau 3. Effets galvaniques des matériaux métalliques en fonction du ratio des surfaces.

Ratio des aires de contact Aluminium/Métal	Métaux et alliages en contact avec l'aluminium					
	Aluminium	Zinc	Acier galvanisé	Acier	Acier inoxydable	Cuivre
A/M > 1	Bon*	Incertain	Mauvais	Mauvais	Bon*	Mauvais
A/M < 1	Bon*	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais

*Une forte corrosion du métal le moins noble peut être observée dans des environnements corrosifs selon l'état de polarisation des deux métaux.

Corrosion intergranulaire

La corrosion intergranulaire est une attaque localisée aux joints de grains, qui se propage dans le matériau. La cause générale de la corrosion intergranulaire est la présence de piles microgalvaniques entre les joints de grains et l'intérieur des grains, due à la différence de concentration en éléments d'addition ou à la présence d'impuretés. Il s'agit d'une dangereuse forme de corrosion qui peut provoquer la décohésion du métal, surtout en présence de contraintes de tension.

Le potentiel de corrosion des composés intermétalliques diffère de celui de l'aluminium (la solution solide, SS). Les intermétalliques peuvent être (voir Figure 6) :

- Cathodiques comparés à la SS (Exemple : Al_3Fe , Al_2Cu) : dissolution de la SS;
- Anodiques comparés à la SS (Exemple : $MgZn_2$, Al_3Mg_2 , Mg_2Si) : dissolution des intermétalliques.

Pour se développer la corrosion intergranulaire nécessite un milieu corrosif, une différence de potentiel de 100 mV entre les intermétalliques et la SS (ce qui explique l'absence de corrosion intergranulaire avec l'intermétallique Al_3Mn) et enfin la précipitation continue des intermétalliques aux joints de grains.

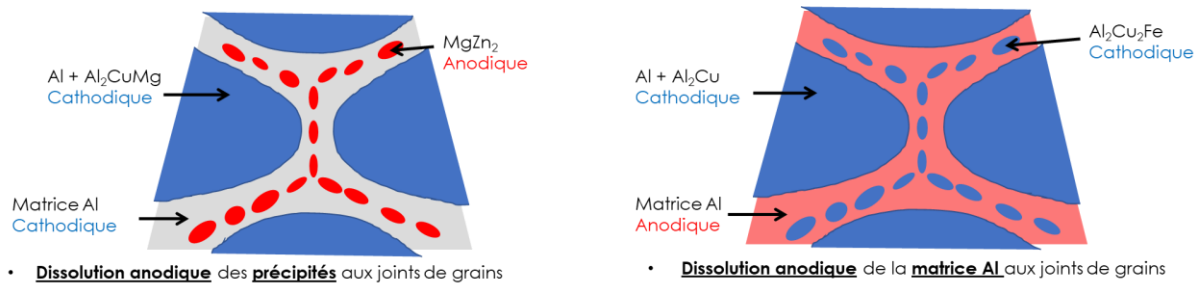


Figure 6. Composantes de la corrosion intergranulaire.

La corrosion intergranulaire des alliages d'aluminium durcissables par précipitation peut être prévenue par des traitements thermiques appropriés :

- Trempe rapide
- Vieillessement plus long pour les alliages de la série 2xxx
- Double vieillessement pour les alliages de la série 7xxx (traitement T73)

Corrosion feuillete (exfoliation)

C'est une forme de corrosion sélective qui se propage suivant des plans parallèles à la direction de laminage ou d'extrusion. Elle est due à la formation de fines bandes parallèles de précipités ou d'intermétalliques de types Al_6Mn , $\text{Al}_{12}\text{CrMn}$, AlFeMn , (etc.) cathodiques par rapport à la matrice. Les alliages de la série 2xxx et 7xxx sont particulièrement sensibles à cette forme de corrosion.

Corrosion sous contraintes

La corrosion sous contraintes (CSC) se produit lorsqu'une fissure se forme due aux effets simultanés de contraintes statiques de tension et de corrosion par piqûres. Les contraintes sont variées et peuvent aussi bien provenir d'un chargement extérieur que d'un changement de température, ou de contraintes résiduelles à la suite de traitements thermiques ou du soudage. Il s'agit d'une forme dangereuse de corrosion qui est souvent très difficile à détecter.

Corrosion filiforme

La corrosion filiforme est spécifique aux pièces peintes. Cette corrosion survient lorsque la peinture est abimée et qu'un liquide corrosif, comme de l'eau de mer, s'infiltré entre l'aluminium et la peinture. Ce type de corrosion est principalement esthétique et l'attaque est superficielle. La corrosion se propage de quelques millimètres (en filament) sous la peinture. Lorsque la corrosion survient, l'oxydation prend de l'expansion et engendre le décollement la peinture. La corrosion filiforme apparaît sur les alliages d'aluminium à haute résistance mécanique comme les séries 3000, 5000 et 6000. Pour éviter cette corrosion, il est important de bien préparer et de bien nettoyer les surfaces avant d'y appliquer la peinture. Il est aussi recommandé de l'inspecter afin de s'assurer qu'elle a bien adhéré aux surfaces et aux arêtes vives.

4. Exemples de protection contre la corrosion de l'aluminium

Anodisation

L'anodisation est un procédé de conversion d'une surface d'aluminium en oxyde d'aluminium. L'anodisation permet d'augmenter artificiellement l'épaisseur de la couche d'oxyde de l'aluminium. Les électrolytes utilisés dans l'anodisation sont généralement l'acide sulfurique et l'acide chromique.

Les avantages de l'anodisation sont :

- Augmenter la résistance à la corrosion;
- Augmenter l'adhésion des peintures;
- Former une base pour l'électroplacage ;
- Améliorer l'adhérence des adhésifs;
- Améliorer l'aspect visuel (décoration);
- Donner des couches colorées;
- Assurer une isolation électrique;
- Augmenter l'émissivité (surtout quand teinté en noir);
- Augmenter la résistance à l'abrasion;
- Permettre la détection de défauts de surface.

Les traitements de conversion chimique

La conversion chimique est un traitement de surface qui mène, par la réaction avec des réactifs sélectionnés, à la formation de couches d'oxyde ou de sels (phosphate ou chromate) insolubles et très adhérents. La conversion chimique de l'aluminium n'implique pas l'application d'un courant (comme l'anodisation) et résulte d'une réaction chimique d'oxydoréduction. Cette réaction mène à la dissolution de 0,3 à 2,5 mm de la surface traitée, puis à la formation d'une couche superficielle de composés complexes d'épaisseur allant de 0,5 à 5 mm.

Les revêtements de conversion offrent les avantages suivants :

- Retardent la corrosion lorsqu'ils sont combinés avec des revêtements organiques ou des films d'huile ou de cire;
- Améliorent l'adhésion des revêtements organiques;
- Offrent une résistance modérée à l'usure;
- Retardent la corrosion sans changer la résistivité électrique;
- Conviennent à des applications de décoration une fois colorés.

Les procédés de conversion chimiques appliqués aux surfaces d'aluminium sont classés en fonction de la nature de la couche obtenue. Les procédés de conversion les plus courants sont les procédés de revêtements d'oxyde, de phosphate et de chromate.

Revêtements organiques

Les revêtements organiques sont formés de trois composantes :

- La résine sert de liant qui forme le film de peinture;
- Les pigments fournissent des propriétés telles que la résistance à l'usure, à la corrosion, la couleur, l'opacité et la brillance;
- Les solvants maintiennent le revêtement à l'état liquide et facilitent l'application. Certains revêtements liquides contiennent également d'autres additifs (agents plastifiants, inhibiteurs de corrosion, etc.).

Protection par inhibiteurs de corrosion

Un inhibiteur de corrosion est une substance chimique qui, ajoutée en faibles quantités, provoque une diminution sensible de la réaction entre le métal et l'environnement.

Principales applications:

- Eaux naturelles, eaux d'alimentation et eaux de refroidissement;
- Solutions acides de décapage;
- Milieux de production et de raffinage du pétrole.

Action des inhibiteurs de corrosion

Les inhibiteurs de corrosion sont généralement classés en fonction de leur action (anodique, cathodique ou mixte).

- **Inhibiteurs anodiques.** Exemples: chromate, nitrite, molybdate, tungstate, orthophosphate, silicate et benzoate.
- **Inhibiteurs cathodiques.** Exemples: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, ZnSO_4 , $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$, NiSO_4 , polyphosphate, aminoéthylène phosphonate (AMP), As^{3+} , Sb^{3+} (sur le fer).
- **Inhibiteurs mixtes.** Exemples: inhibiteurs organiques contenant de l'azote et/ou du soufre, e.g. amines, triazols, alkylthiourées et inhibiteurs inorganiques, exemples: arsénite, sélénate.

Protection contre la corrosion par les considérations de conception

Dès les premières étapes de conception d'une structure, le recours au métallurgiste ou au spécialiste de la corrosion peut se révéler un atout majeur en ce qui est du choix du matériau le mieux adapté pour une application donnée. En effet, la limitation des risques de corrosion peut se faire aussi bien par la sélection du bon matériau, du bon revêtement ou tout simplement par des précautions d'ordres géométriques lors de l'assemblage des différentes composantes. Selon la nature de l'environnement et du processus de corrosion que pourrait subir l'aluminium dans cet environnement, les approches suivantes peuvent être envisagées :

- Éviter les zones d'accumulation d'eau ou les crevasses en favorisant le drainage des assemblages;
- Lorsque deux métaux dissimilaires dans la série galvanique doivent être assemblés, privilégier un ratio anode/cathode > 1 . Peindre la cathode de préférence ou les deux composantes;
- Utiliser un scellant et/ou des bris diélectriques pour couper le contact électrolytique et électronique en deux matériaux dissimilaires, etc.

5. Évaluation de la corrosion et méthodes d'essais

L'évaluation de la résistance à la corrosion des matériaux métalliques fait appel à de nombreuses méthodes d'essais qui leur sont propres et qui sont basées sur les conditions qui sont les plus importantes dans certains environnements. Les conditions qui influencent la corrosion étant variables par nature, il n'existe pas d'essais uniques et universels sur la corrosion couvrant tous les aspects des matériaux utilisés. L'indicateur le plus fort du comportement à la corrosion reste donc les leçons apprises par l'expérience passée, mais ces informations ne sont pas forcément disponibles. Pour cette raison, d'autres essais sont nécessaires :

- **Essais accélérés au laboratoire :** Il s'agit de méthodes de conditions standardisées et reproductibles (ex. brouillard salin, corrosion cyclique, humidité, vieillissement accéléré aux UV, etc.) qui permettent sur une courte durée d'évaluation d'effectuer le contrôle qualité utile au développement de produits, où l'analyse et la classification des nouveaux revêtements et de nouveaux produits peuvent s'avérer cruciaux. Les essais au laboratoire incluent également les mesures quantitatives et qualitatives réalisées à partir des caractérisations électrochimiques et métallographiques sur les matériaux avant et après corrosion.
- **Essais sur le terrain :** La protection contre la corrosion des produits peut être évaluée plus précisément lors d'essais d'exposition d'échantillons et de produits dans des conditions environnementales typiques de leur utilisation finale. Ces évaluations sont généralement utilisées comme référence afin de sélectionner les essais accélérés au laboratoire les plus susceptibles de prédire les faciès de corrosion attendus en service.

Références

- C. Vargel, Corrosion of Aluminum 1st Edition, Elsevier Science, 2004
- J. R. Davis, Aluminum and Aluminum Alloys, ASM International, 2001
- M. Reboul, Corrosion des alliages d'aluminium, Techniques de l'ingénieur, COR 325
- S. Amira, M-C. Gagnon, D. Gallant, Guide des solutions pratiques permettant de contrer la corrosion galvanique entre l'aluminium et l'acier dans le transport terrestre, 2010
- Manuel Corrosion, Hilti, 2015
- Corrosion resistance of aluminum, AFSA, 2011