

## I DEFINITION DE LA CORROSION

La corrosion est la destruction chimique ou électrochimique des matériaux métalliques par leur environnement. C'est, en fait, le phénomène suivant lequel les métaux ont tendance à revenir à leur état naturel d'oxyde plus stable par rapport au milieu corrosif, et ainsi à subir une dégradation de leurs propriétés.

Elle est dite **sèche** lorsque les agents oxydants ne sont pas en solution.

Elle est dite **humide** dans le cas contraire (dans le milieu aqueux).

## II PRINCIPALES FORMES DE CORROSION

Le comportement de la corrosion d'un matériau en service, dépend d'une multitude de facteurs :

- Composition chimique et microstructure du métal.
- Composition chimique de l'environnement.
- Paramètres physiques (température, convection, irradiation, etc.).
- Sollicitations mécaniques (contraintes, chocs, frottements, etc.). La corrosion peut être classifiée suivant les formes et types. Une simple observation visuelle ou au microscope est apte à identifier la forme et le type de corrosion. Selon les formes, on distingue :

- La corrosion uniforme.
- La corrosion localisée.

**II.1 CORROSION GÉNÉRALISÉE OU UNIFORME** La corrosion uniforme ou généralisée se manifeste avec la même vitesse en tous les points du métal entraînant une diminution régulière de l'épaisseur de celui-ci ou simplement un changement de coloration (ternissement).

## II.2 CORROSION LOCALISÉE

- **Corrosion par piqûre**

Dans certaines conditions d'environnement, les métaux et alliages protégés par un film passif peuvent subir une attaque par piqûration, lorsqu'il se produit une rupture localisée du film. Ces piqûres se localisent en certains points de la surface métallique.

- **Corrosion intergranulaire**

C'est une attaque sélective aux joints de grains, par suite d'hétérogénéités locales : appauvrissement de l'un des constituants ou au contraire, enrichissement par suite de précipitation lors d'un traitement thermique par exemple. Il y a alors création de piles locales avec dissolution des zones anodiques.

- **Corrosion par crevasse**

Appelée aussi corrosion caverneuse, elle est due à une différence d'accessibilité de l'oxygène entre deux zones d'une structure métallique. Il y a alors une attaque des parties métalliques les moins accessibles à l'oxygène.

- **Corrosion galvanique**

Il s'agit de l'attaque préférentielle de la phase la moins noble d'un alliage comportant deux phases ou de la corrosion pouvant exister entre au moins deux matériaux métalliques placés dans le même environnement. Il y a formation d'une pile. La partie la moins noble est l'anode et la plus noble est la cathode.

- **Corrosion et dissolution sélective**

C'est l'oxydation d'un composant de l'alliage, conduisant à la formation d'une structure métallique poreuse.

- **Corrosion par frottement**

C'est la détérioration qui se produit à l'interface entre des surfaces en contact, suite à la conjugaison de la corrosion et d'un faible glissement réciproque des deux surfaces.

- **Corrosion sous contrainte et fatigue-corrosion**

C'est une fissuration du métal qui résulte de l'action commune d'une contrainte mécanique (force de traction) et d'une réaction électrochimique. La corrosion sous l'effet de la fatigue est due à l'application répétée des contraintes.

### III ASPECT THERMODYNAMIQUE DE LA CORROSION D'UN METAL

L'étude thermodynamique des phénomènes de corrosion humide fait intervenir les diagrammes potentiel-pH (ou diagramme de Pourbaix). On distingue trois domaines dans ces diagrammes:

domaine d'**IMMUNITÉ** : le métal est stable thermodynamiquement dans ce domaine.

domaine de **CORROSION** : le métal est oxydé en une espèce soluble.

Domaine de **PASSIVITE**: la passivité (ou passivation) est la forme spontanée d'une couche protectrice mince et compacte (généralement d'un oxyde) à la surface d'un métal. Cette couche solide protège le métal de toute oxydation extérieure. L'oxydation est possible mais elle est infiniment lente.

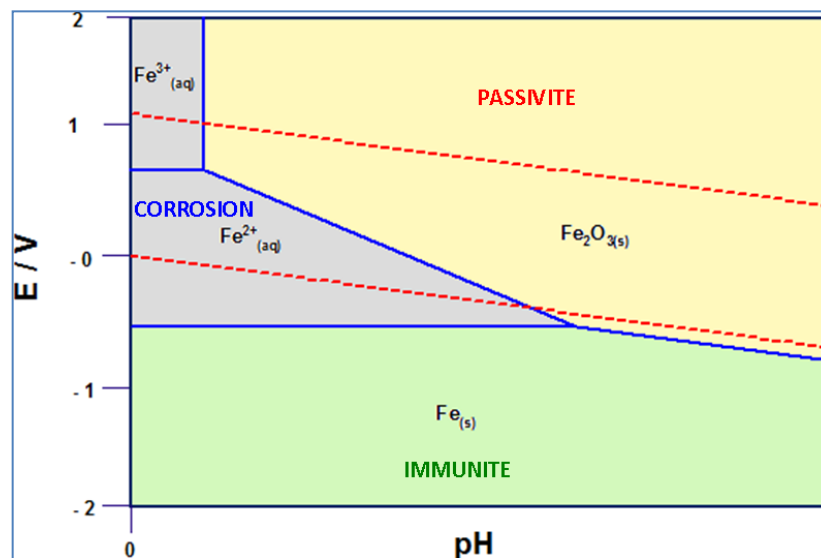


Figure1. Diagramme potentiel-pH du fer

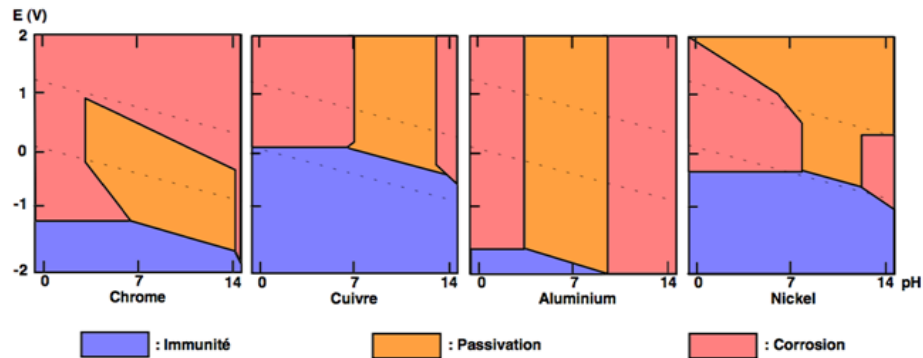


Figure 2. Diagrammes de Pourbaix pour quelques métaux

## IV PROTECTION CONTRE LA CORROSION DES METAUX EN MILIEU AQUEUX

La corrosion est un phénomène qui dépend du matériau utilisé, de la conception de la pièce (forme, traitement, assemblage) et de l'environnement. Le processus de corrosion peut également être ralenti en agissant sur tous ces éléments précédents.

En matière de protection contre la corrosion, il est possible d'agir sur le matériau lui-même, sur la surface du matériau, ou sur l'environnement avec lequel le matériau est en contact.

### IV.1. Mécanismes de prévention et de lutte contre la corrosion

La prévention de la corrosion doit être envisagée dès la phase de conception d'une installation. En effet, des mesures préventives prises au bon moment permettent d'éviter de nombreux problèmes lorsqu'il s'agit de garantir une certaine durée de vie à un objet, notamment pour des industries telles que le nucléaire, l'industrie chimique ou l'aéronautique, où les risques d'accident peuvent avoir des conséquences particulièrement graves pour les personnes et l'environnement. Les méthodes de protection et de prévention contre la corrosion peuvent être faites par Tableau II.1:

- Prévention par une forme adaptée des pièces ;
- Protection par revêtements ;
- Protection par inhibiteurs de corrosion ;
- Protection électrochimique.

**Tableau 1. Action possible de prévention de la corrosion sur les éléments du système matériau/surface/milieu**

Élément	Action
Matériau	Choix approprié, Traitements thermomécaniques ou thermochimiques, Elaboration,...
Surface	Traitements de surface, préparation, nettoyage, Revêtements,...
Milieu	Inhibiteurs, Contrôle des paramètres physico-chimiques (température, pH, aération, teneur en gaz dissous, en impuretés, ...)
Ensemble du système	Protection cathodique Passivation anodique

**IV.1.1. Prévention par un choix judicieux des matériaux ;**

Le choix du matériau doit principalement tenir compte des influences défavorables du milieu et des conditions de fonctionnement. Il n'existe pas de métaux ou alliages qui ont une résistance absolue à la corrosion, mais on connaît uniquement des matériaux résistants à la corrosion dans certains milieux agressifs. Et le comportement à la corrosion n'est qu'un critère parmi tant d'autres dans le choix des matériaux. La résistance à la corrosion est une propriété du système métal-milieu et non du métal seul. Le tableau ci-dessous indique la résistance à la corrosion de quelques métaux purs dans les différents milieux.

**Tableau 2: Résistance à la corrosion de quelques métaux purs dans différents milieux**

Milieu	Fe	Cr	Ni	Cu	Al	Zn	Ti	Ta
Air humide	-	+	+	+	+	m	+	+
Eau froide naturelle aérée	m	+	+	+	-	+	+	+
Eau de mer	-	+	+	m	m	-	+	+
Acide non oxydant	-	m	m	+	-	-	+	+
Acide oxydant	-	+	m	-	-	-	+	+
Acide + Cl <sup>-</sup>	-	+	m	-	-	-	m	+
Base + O <sub>2</sub>	+	+	+	+	-	-	+	m
Oxydation à haute température	m	+	+	-	-	-	m	-
+ : Bonne résistance, m : Résistance moyenne, - : Mauvaise résistance								

### IV.1.2. Prévention par la forme adaptée des pièces

Il est possible de diminuer les risques de corrosion en donnant aux objets une forme adaptée aux conditions d'utilisation, et ainsi d'influencer notablement leur durée de vie.

#### Exemples de prévention

- 1- **Dans les zones humide**, la géométrie des composants employés devra viser à éviter les zones de rétention d'eau soit en prévoyant un bon drainage, soit en assurant, par leur géométrie, la vidange complète des récipients.

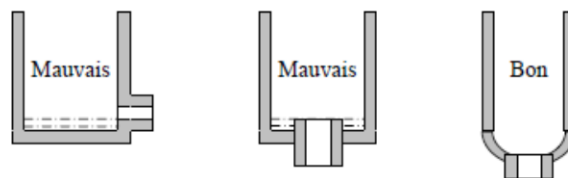


Figure 3 : Prévention par la forme du récipient

#### 2- Contact entre matériaux différents

Un contact électrolytique entre différents métaux permet la formation de piles galvaniques, causant une corrosion accélérée du métal moins noble. Par un choix adapté des matériaux, en séparant différents métaux par un isolant, on évite ce type de corrosion.

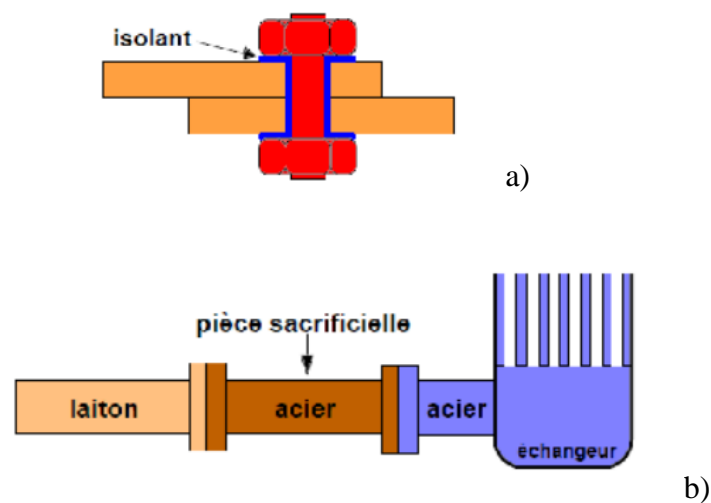


Figure 4: Protection contre la corrosion galvanique : (a) isolation électrique, (b) : pièce sacrificielle

Dans les installations de taille importante, il n'est pas toujours possible d'isoler électriquement différents métaux. L'emploi de pièces sacrificielles, peu coûteuses et facilement remplaçables, permet de résoudre le problème dans certains cas. Par exemple, le cas de la figure 2 b), représente une pièce sacrificielle en acier, placée entre une conduite en laiton et un échangeur de chaleur en acier.

## IV.2. Protection par revêtements

Plusieurs types de revêtements sont utilisés et nécessitent tous une préparation de la surface du métal de base, de façon à ce que le revêtement soit adhérent. La mise à nu ou décapage des métaux ferreux est particulièrement importante.

### IV.2.1. Les revêtements métalliques

Les revêtements métalliques sont couramment utilisés pour protéger l'acier contre la corrosion atmosphérique. Outre leur effet anti-corrosion, les revêtements métalliques remplissent souvent une fonction décorative. On les utilise aussi comme protection contre l'usure. Il existe deux types de revêtements métalliques :

- **Les revêtements anodiques** : le métal protecteur est moins noble que le métal à protéger. En cas de défaut du revêtement, il y a formation d'une pile locale et ce dernier se corrode en protégeant cathodiquement le métal de base. La protection reste donc assurée tant qu'une quantité suffisante de revêtement est présente. L'épaisseur est un élément important pour ce type de revêtement. Elle est en générale comprise entre 100 et 200  $\mu\text{m}$ .

- **Les revêtements cathodiques** : le métal protecteur est plus noble que le métal à protéger. C'est le cas par exemple d'un revêtement de nickel ou de cuivre sur de l'acier. En cas de défaut du revêtement, la pile de corrosion qui se forme peut conduire à une perforation rapide du métal de base. Dans ce cas, la continuité du revêtement est donc le facteur primordial.

**Lutte contre la corrosion**

**\* Revêtements**

**revêtements métalliques**

- application d'une couche de métal sur le matériau à protéger
- la couche protectrice sera anodique ou cathodique

**1- protection par revêtement anodique**  
*ex.: Zn sur acier (tôles galvanisées)*  
 → le Zn sert d'anode et se dégrade à la place de l'acier

**2- protection par revêtement cathodique**  
*ex.: Cr sur acier (pare-chocs, robinets)*  
 → le Cr sert de cathode et l'acier se dégrade s'il y a discontinuité de la couche protectrice

The figure consists of two cross-sectional diagrams, (a) and (b), illustrating different types of metallic coatings. Diagram (a) shows a zinc (Zn) coating on a steel (acier) substrate. The zinc layer is shown as a continuous layer on top of the steel. Diagram (b) shows a chromium (Cr) coating on a steel (acier) substrate. The chromium layer is shown as a discontinuous layer with a gap. In this gap, the steel substrate is exposed and labeled 'rouille' (rust). The chromium layer is labeled 'Cr' and the steel substrate is labeled 'acier'.

**Figure 5. Type de revêtement métalliques**

### IV.3. Protection électrochimique

#### IV.3.1. Protection cathodique

C'est une méthode de protection où les surface anodiques sont rendues cathodiques et le métal est rendu dans sa zone d'immunité (diagramme de Pourbaix). Dans cette zone, à un potentiel fixé, le métal ne peut se corroder d'une façon thermodynamique. Il s'agit alors de fournir des électrons au métal pour qu'il cesse de s'ioniser dans ce milieu et qu'il atteigne le potentiel défini.

Deux méthodes de protection sont couramment employées en pratique

##### IV.3.1.1 La protection par anode sacrificielle

C'est une application du phénomène de corrosion galvanique, C'est-a dire le métal à protéger est couplé à un métal moins noble. Le potentiel de corrosion de l'ensemble doit être inférieur au potentiel de dissolution du métal à protéger; ce dernier devient alors cathodique par rapport à l'anode, qui se corrode. On utilise cette méthode pour protéger les structures et les équipements en acier. Les anodes sacrificielles sont faites en zinc, en magnésium ou aluminium, métaux nettement moins nobles que l'acier.



#### IV.3.1.2 La protection cathodique par courant extérieur imposé

La protection cathodique par courant imposé (ou de soutirage) repose sur le même principe que la protection par anode sacrificielle, mais l'anode est généralement inerte et le potentiel de corrosion de la structure à protéger est abaissé par l'action d'une source extérieure de courant (générateur de courant continu).

#### IV.4 Lutte contre la corrosion par l'utilisation d'inhibiteur.

Un inhibiteur est une substance qui diminue la corrosion lorsqu'elle est ajoutée à un environnement en faible concentration. L'inhibition retarde des réactions d'électrodes comme le transfert de charges ou le transport de masse et spécialement le processus de corrosion. Il consiste dans l'utilisation des substances chimiques dites inhibiteurs de corrosion, qui, en les ajoutant en petites quantités à l'environnement corrosif, réduisent la vitesse de corrosion du métal par action sur le milieu ou sur la surface du métal.

Les classes d'inhibiteurs On peut classer les inhibiteurs de plusieurs façons :

- Par domaines d'application (la formulation des produits : inhibiteurs organiques ou minéraux).
- Par mécanisme réactionnel (les mécanismes d'interface et principes d'action (adsorption et / ou formation d'un film).
- Par réaction partielle (les mécanismes d'action électrochimique : inhibiteurs cathodiques, anodiques ou mixtes).

**Domaine d'application** Souvent on classe les inhibiteurs selon leur domaine d'application, en milieu aqueux, les Inhibiteurs pour milieux acides sont employés, entre autre, pour éviter une attaque chimique de l'acier lors du décapage. Dans l'industrie pétrolière on les ajoute aux fluides d'acidification et de stimulation. Dans ces milieux, la surface des métaux peut être considérée comme exempte de toute couche protectrice (oxyde, hydroxyde), elle peut être recouverte plus au moins uniformément d'hydrogène atomique adsorbé.