

## Introduction

Comme tous les matériaux de construction, l'acier tend à se dégrader superficiellement lorsqu'il est soumis à des milieux corrosifs comme le sol, l'air et le milieu marin. La corrosion est la détérioration des matériaux par interaction physico-chimique avec leur environnement, entraînant des modifications de propriétés du métal souvent accompagnées d'une dégradation fonctionnelle de ce dernier (altération de ses propriétés mécaniques, électriques, etc.). Les mécanismes mis en jeu sont divers et conduisent à des formes différentes de corrosion.

### II.1.Généralités

#### II.1.1 Définitions de la corrosion

La corrosion est une réaction inter faciale irréversible d'un matériau, avec un agent corrosif de son environnement (milieu corrosif), qui implique une consommation du métal et une production d'une forme réduite de l'agent corrosif [8].

Lorsqu'il est en présence d'humidité, et non protégé par des revêtements métalliques, des peintures ou des inhibiteurs de corrosion, l'acier au carbone, se corrode et tend à retrouver Son état naturel d'oxyde de fer.

Ce changement d'état des atomes de fer correspond à une dissolution anodique, et il est donc contrôlé par des réactions électrochimiques [9].

Selon les différents auteurs la corrosion correspond :

- À une destruction ou détérioration des métaux par les agents chimiques qui les environnent. Du point de vue étymologique le terme «corrosion » vient du mot latin « corrodere » qui signifie rongé.
- À un retour des matériaux et alliages à leur état naturel de minerais (processus inverse de la métallurgie extractive)

#### II.1.2 Processus de la corrosion

La distinction peut être faite entre deux processus :[10].

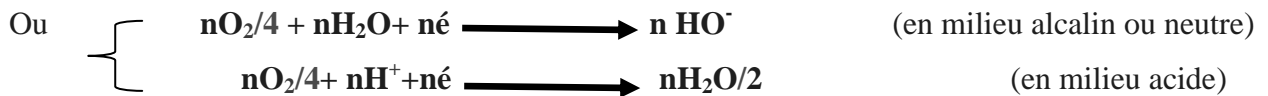
- La corrosion en milieu humide ou corrosion aqueuse : le milieu est constitué par un liquide ou par des vapeurs humides,
- La corrosion par voie sèche : elle est généralement associée aux hautes températures.

Pratiquement tous les cas de corrosion peuvent être décrit ou expliqués à partir de concepts électrochimique même si au premier abord ils apparaissent comme ayant un caractère chimique.

Ainsi la réaction fondamentale d'un métal M est la réaction anodique:



À laquelle est couplée une réaction cathodique qui sera dans la plupart des cas:



Il en résulte que le métal attaqué sera l'anode couplée à une cathode sur laquelle se produira l'une des trois réactions précédentes. Il y a donc constitution d'une pile électrochimique.

La plupart des réactions de corrosion ont lieu en présence de l'eau dans la phase liquide ou sous forme de vapeur condensée. Certaines corrosions « sèches » en l'absence d'eau ont lieu dans un électrolyte solide et sont aussi considérées comme électrochimiques.

### II.1.3 Aspect économique de la corrosion

L'objectif principal de l'étude de la corrosion est d'ordre économique. En effet, les cas où on parle de maîtrise de la corrosion sont quelque peu trompeurs car le niveau 0 (zéro) de Corrosion est inaccessible. [11].

Certaines mesures bien qu'elles réduisent la corrosion coûtent plus que l'équipement protégé. Les effets directs ou indirects de la corrosion peuvent être résumés ci-après:

- arrêt de la production ;
- coût de l'entretien et du contrôle ;
- coût des pièces à remplacer, des réparations à effectuer ;
- coût dû à l'utilisation de matériaux plus nobles ;
- contamination du produit par les produits de corrosion solubles ;
- perte du produit ;
- perte d'efficacité ;
- augmentation des coefficients de sécurité (sur dimensionnement).

### II.1.4 Influence de la corrosion dans le choix d'un matériau

Le choix d'un matériau pour la construction d'un équipement résulte d'un compromis entre plusieurs facteurs: [10].

- compromis entre la résistance à la corrosion et d'autres propriétés comme la résistance mécanique, la facilité de mise en œuvre, le soudage
- compromis entre la durée de vie de l'équipement et la durée de vie estimée du matériau.

La synoptique de la figure (II.1) résume les différents compromis qui règlent le choix d'un matériau dans la construction d'un appareil ou d'une installation.

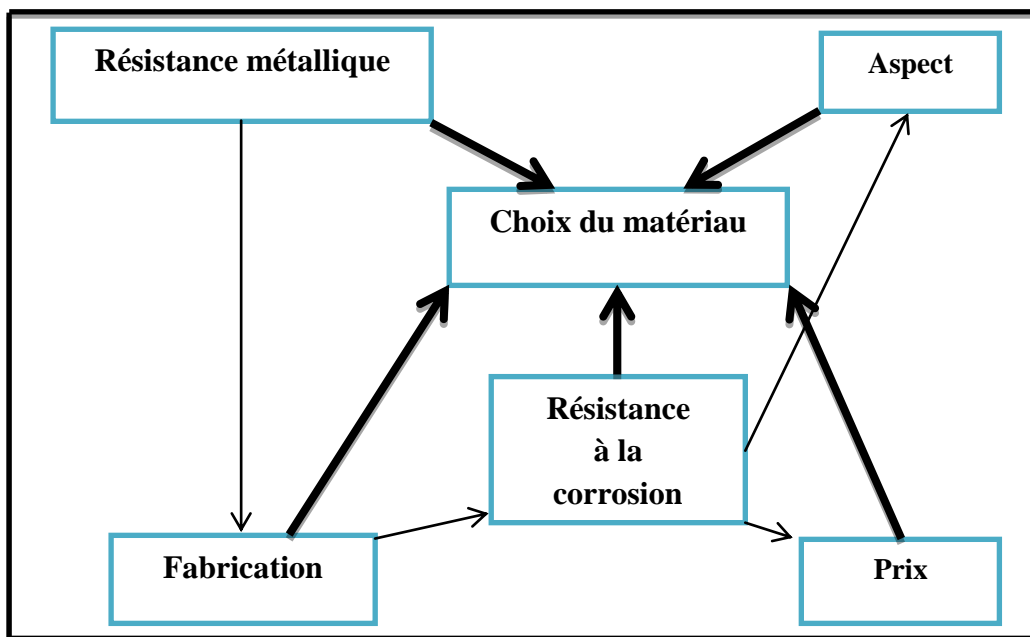


Figure II.1 Synoptique des compromis dans le choix des matériaux

## II.2. Les différents types de corrosion

En tenant compte de la forme et des sites de l'attaque, les principaux types de corrosion sont regroupés en deux grandes familles : La corrosion généralisée et la corrosion localisée [12].

### II.2.1. La corrosion uniforme ou généralisée [13].

Un enlèvement uniforme, régulier de matière provenant de la surface du métal est le modèle habituel de corrosion uniforme. Pour la corrosion uniforme, toutes les parties de la Surface du métal sont exposées de la même manière à l'environnement corrosif. Ces conditions ne prévalent pas généralement dans les équipements utilisés aussi un certain degré de non-conformité est toléré par la définition.

Dans ce cas c'est la forme la plus classique et la vitesse de corrosion est généralement facile à prévoir avec une précision suffisante pour déterminer la durée de vie probable d'un appareil.

### II.2.2. Les corrosions localisées

À la corrosion uniforme, on oppose un ensemble d'autres formes de corrosion dites localisées. En effet, il y a la différence de la situation précédente ces formes de corrosion n'intéressent que certains sites de la surface; ces derniers ne comportent que des zones anodiques par opposition aux parties non attaquées qui sont des zones cathodiques.

Dans la plupart des cas, la perte de matière est faible voire insignifiante. [13].

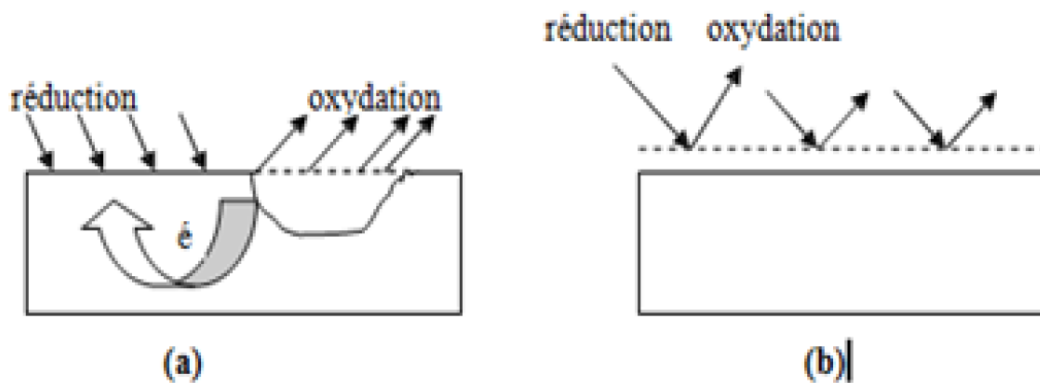


Figure II.2: (a) Corrosion localisée (b) Corrosion homogène d'un métal

#### II.2.2.1. La corrosion Galvanique

La corrosion galvanique se produit donc quand deux métaux sont en contact dans un milieu humide. Le moins noble, se corrodera, il est dit anode alors que le second, la cathode sera en partie protégé de la corrosion. Ce phénomène s'appelle aussi effet de piles métalliques.

Une condition indispensable pour l'apparition du phénomène de corrosion galvanique est la présence d'un électrolyte et ce, même si le contact n'est pas direct entre deux métaux, de l'eau légèrement acide voire faiblement minéralisée peut constituer cet électrolyte.

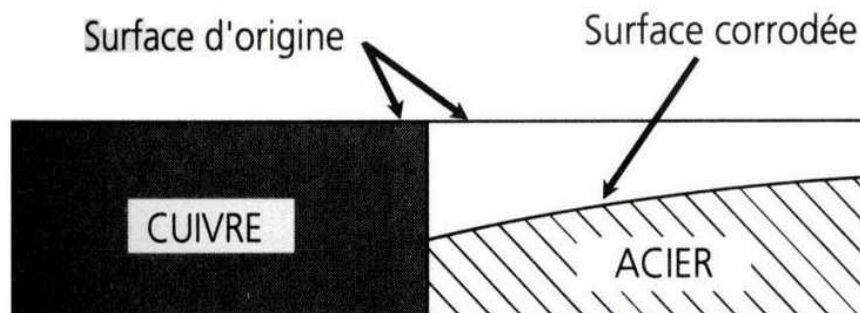
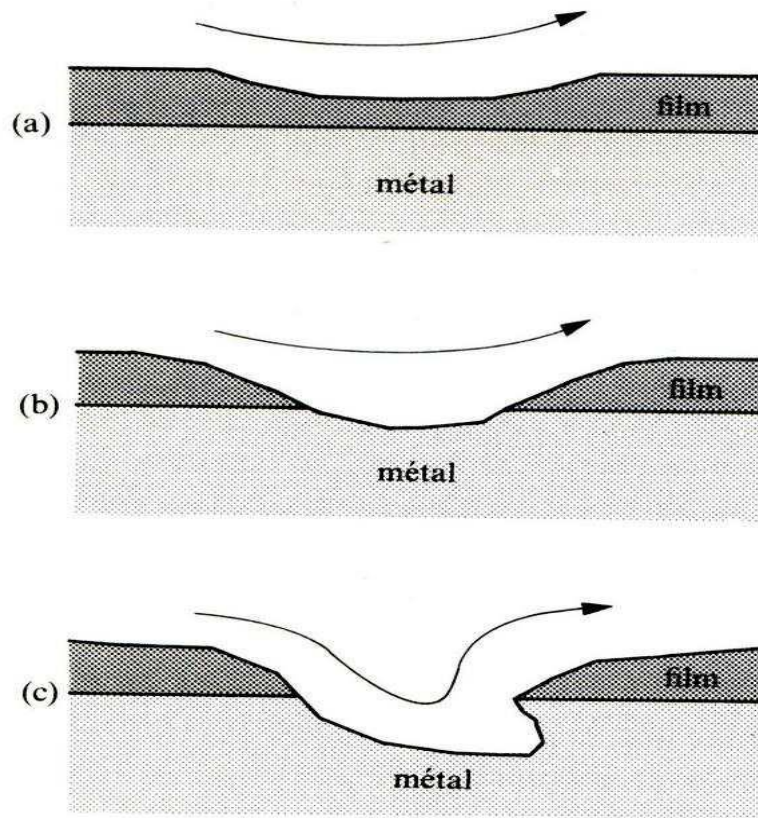


Figure II.3. Corrosion galvanique [13].

### II.2.2.2. La corrosion érosion [14].

Est due à l'action conjointe d'une réaction électrochimique et d'un enlèvement mécanique de matière. Elle a souvent lieu sur des métaux exposés à l'écoulement rapide de fluide (**Figure.II.4**)



**Figure .II.4** Attaque progressive par corrosion-érosion d'un métal recouvert d'un film de produits de corrosion : (a) érosion du film, (b) corrosion de la surface métallique exposée au milieu, (c) formation d'une figure d'attaque [15].

### II .2.2.3. La corrosion par plaques

L'aire des surfaces anodiques prises individuellement est suffisamment importante, Ce type d'attaque peut être décelé par de simples observations macrographiques ou à l'œil nu. à ce type de corrosion on peut rattacher l'attaque d'une des phases d'un système biphasé, lorsque celle-ci occupe une surface importante.

#### II.2.2.4. La corrosion caverneuse

Ce type de corrosion se rencontre dans toutes les parties où il y a confinement du milieu: sous des joints non étanches, dans des interstices, dans les recoins etc. On parle aussi de corrosion par crevasses. Par suite de ce confinement, la composition du milieu est différente de celle du reste de la solution, ce qui entraîne la constitution d'une pile, d'où un phénomène de corrosion.

Le confinement du milieu peut être dû, soit à l'absence d'oxygène (avec formation d'une pile d'Evans), soit à une acidification du milieu par hydrolyse des sels:



Cette acidification entraîne une dépolarisation de la réaction cathodique de l'hydrogène :

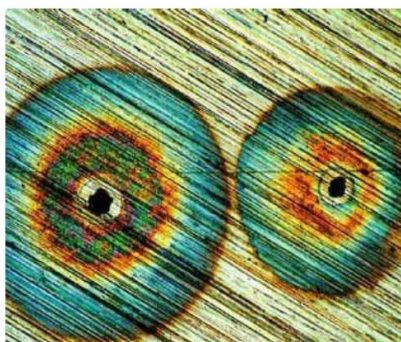


et par conséquent une augmentation du courant de corrosion.

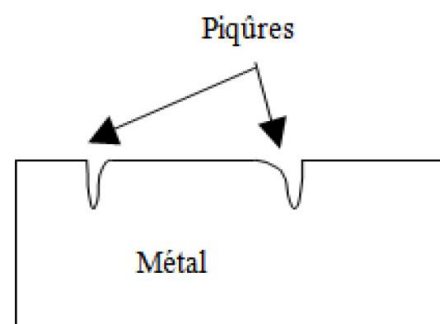
Dans cette forme corrosion une meilleure conception des pièces peut constituer un moyen efficace pour lutter contre la corrosion (prévention par le design).

#### II.2.2.5. La corrosion par piqûres

Cette corrosion est une attaque ponctuelle qui, dans le cas de l'acier se produit sous l'effet d'ions halogènes particulièrement les chlorures en présence d'un oxydant et qui peut aboutir à la perforation du métal. Cette corrosion progresse rapidement et peut mener en peu de temps à la destruction du matériau [13].



**Figure II.5.a** : L'aspect métallographique de la corrosion par piqûre.



**Figure II.5.b** : Schéma illustrant La Corrosion par piqûre.

### II.2.2.6. La corrosion intergranulaire

Ce phénomène se rencontre dans le cas d'alliages qui sont à l'état de solution solide à haute température et dans le cas d'un système biphasé à basse température avec précipitation d'une seconde phase pouvant être par exemple un carbure ou un composé intermétallique.

C'est le cas des aciers inoxydables austénitiques et des alliages légers (Al-Cu) qui donnent respectivement naissance à une précipitation de carbures de chrome ( $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ ) et à un composé intermétallique ( $\text{Al}_2\text{Cu}$ ).

Ces précipités se forment préférentiellement dans les joints de grains qui constituent des centres de germination plus faciles. Dans le cas de l'acier austénitique, la précipitation de carbure entraîne un appauvrissement en chrome de part et d'autre du joint de grain. Cette zone est alors dépassivée et l'acier est dit sensibilisé.

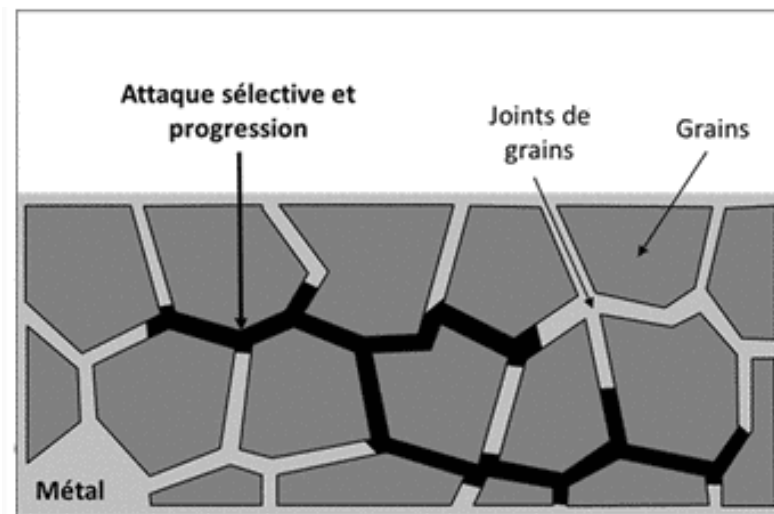


Figure.II.6. Corrosion intergranulaire [13].

### II.2.2.7. La corrosion sous contrainte

La corrosion fissurant sous contrainte conduit à une fissuration du métal résultant de l'action combinée d'une contrainte mécanique d'extension et d'un milieu électrolytique. C'est une des formes les plus graves de corrosion car le métal est soumis à une dégradation rapide sans manifestation extérieure visible, c'est-à-dire sans formation de produit de corrosion, ni de variation de poids.

### II.2.2.8. La fragilisation par hydrogène

C'est une fissuration du matériau provoquée par la diffusion de l'hydrogène dans le réseau de l'alliage.

Cela se produit lorsque la réaction dévolution de l'hydrogène:



Produit de l'hydrogène atomique en surface pendant la corrosion, ou pendant l'électrodéposition, la protection cathodique ou encore pendant le nettoyage électrochimique des pièces. On la distingue de la fissuration sous contrainte par le fait que la polarisation cathodique l'accélère alors qu'elle supprime la corrosion sous contrainte.

Différents modes d'action ont été identifiés :

- l'attaque hydrogène action chimique à haute température: décarburation des aciers;
- les flocons: précipitation d'hydrogène à la solidification;
- la fissuration des soudures;
- le cloquage (blistering) ou fissuration induite par l'hydrogène: création de défauts sans action de contraintes;
- la fragilisation proprement dite: dégradation des propriétés mécaniques (allongement, striction, ténacité) en présence d'hydrogène.

### II.3. Les Différents Modes de la Corrosion:

La corrosion peut se développer selon différents processus qui caractérisent chacun un mode de corrosion [16].

#### II.3.1. La corrosion chimique :

La corrosion chimique est due à une réaction chimique hétérogène entre le métal (Phase solide) et son environnement en phase liquide ou gazeuse. Selon La réaction (II.1) :



Les agents corrosifs responsables à ce type de corrosion sont : l'oxygène, les vapeurs d'eau , les gaz acides ( $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{S}$  ), mais le plus souvent les eaux de production industrielle contiennent du ( $\text{CO}_2$ ) [10], qui abaisse le (PH) et provoque une corrosion chimique appelé «sweet corrosion», ainsi que le ( $\text{H}_2\text{S}$ ) qui est responsable à la corrosion du fer et la formation des dépôts de ( $\text{FeS}$ ) qui pénalisent l'exploitation essentiellement par réduction de débit ; et représentent un risque de



pollution et de colmatage .Cette corrosion est généralement rencontrée dans les industries produisant ou utilisant les acides

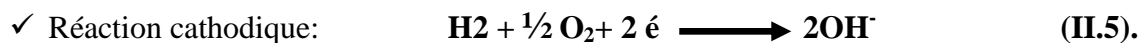
### II.3.2. Corrosion électrochimique :

Lorsqu'ils sont placés au contact des solutions aqueuses, conductrices d'ions (électrolytes, eau condensée), les métaux réactifs conducteurs d'électrons se corrodent. La corrosion correspond au passage des atomes métalliques sous forme d'ions en solution (dissolution métallique); le cation dissous peut alors se présenter sous différentes formes: hydratée, hydrolysée ou bien encore il forme des liaisons plus complexes [17].

Des mécanismes sophistiqués sont proposés pour expliquer le passage en solution par exemple:



Ces réactions sont constituées de deux demi réactions respectivement dites: réaction anodique (réaction d'oxydation) et Réaction cathodique (réaction de réduction). Par exemple, dans le cas de la réaction(II.2)



Ces réactions sont dites électrochimiques car elles impliquent des transferts de charge entre un conducteur électronique (le matériau métallique) souvent appelé électrode, et un conducteur ionique, électrolyte liquide ou solide.

Pendant la dissolution du fer, les électrons en excès à la surface du métal y produisent une charge négative. Les ions positifs sont solvates et organisés dans une couche externe à la surface métallique de sorte que l'ensemble, constitué Par cette surface et la couche externe, devient globalement électriquement neutre, c'est ce que l'on appelle la double couche (FigureII.7)

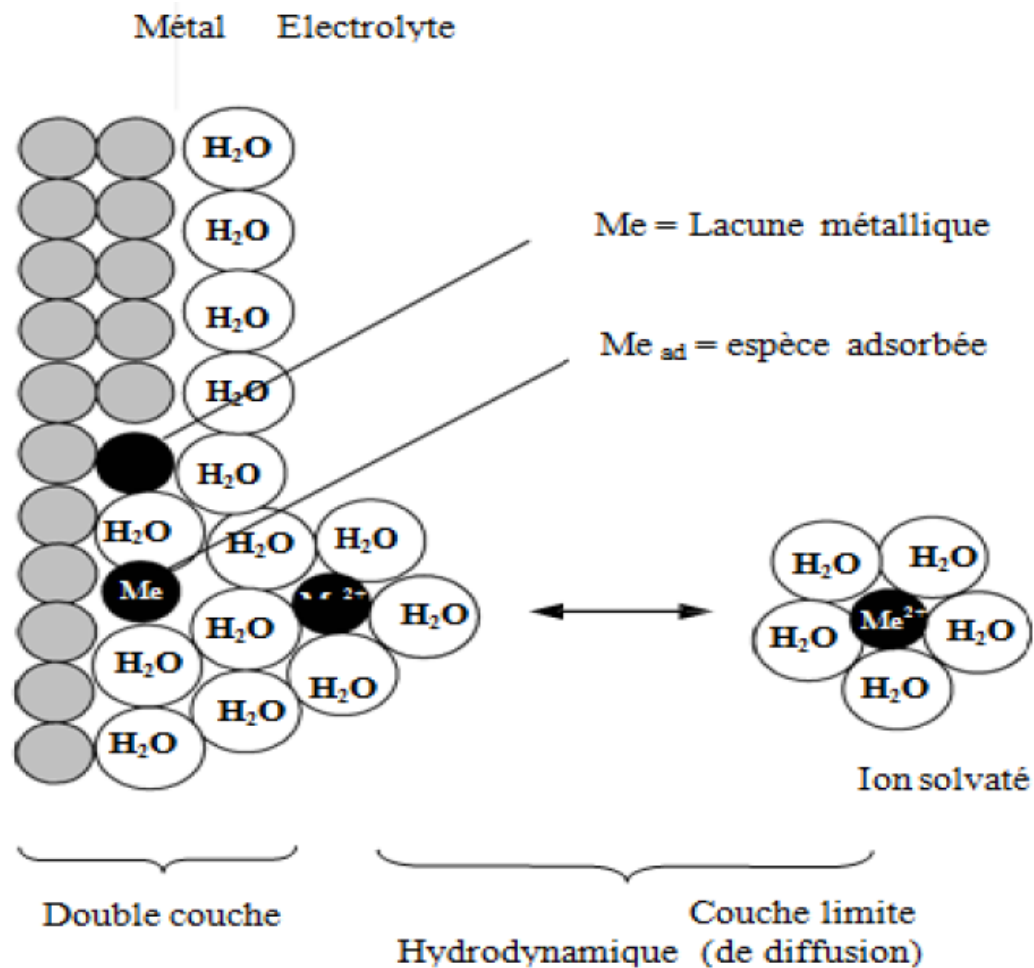


Figure II.7. Illustre de la double couche

### II.3.3. Corrosion Biologique (Bio corrosion) :

La biocorrosion des matériaux correspond à l'ensemble des modifications. Des propriétés physicochimiques et mécaniques d'un matériau sous l'action des microorganismes mes (bactéries, champignons et algues).

Dans le domaine industriel, il s'agit toujours de la corrosion bactérienne induite par les bactéries sulfurogènes en milieu anaérobie. Ces bactéries transforment les sulfates en hydrogène sulfuré qui se combine avec les sels ferreux pour donner du sulfure de fer.

La pollution locale du milieu corrosif en ( $H_2S$ ) et son effet connu sur la corrosion, suffisent à expliquer les dommages provoqués par les bactéries [18].

La lutte contre cette forme de corrosion est à l'heure actuelle essentiellement d'ordre biologique, elle est réalisée par injection de produits bactéricides dans les milieux corrosifs.

## II.4. Les facteurs de corrosion

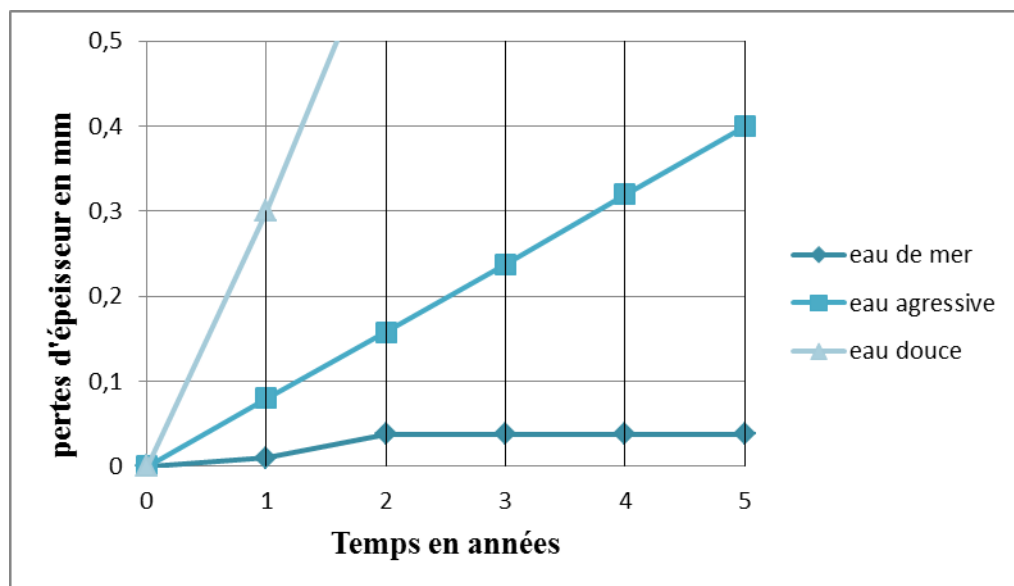
### II.4.1 La corrosion par les eaux

La nature de l'eau en contact avec les métaux peut être très déterminante. L'eau de mer est un milieu particulièrement agressif, on peut définir l'eau d'un océan à partir de sa salinité ou de sa conductivité. La solubilité de l'oxygène dans l'eau de mer est fonction de la température. [11].

Les eaux douces dont l'eau de distribution des villes possèdent des caractéristiques diverses selon leur composition (pourcentage des minéraux dissous, teneur en oxygène et en gaz carbonique, pH, etc.). La résistance à la corrosion d'un métal mis au contact de l'eau douce peut varier considérablement selon le type d'eau. Les eaux peuvent être incrustantes ou agressives.

On les nomme respectivement eau dure et eau douce. Dans le premier cas l'eau est très minéralisée et laisse un dépôt de calcaire et de carbonate provoquant l'entartrage des conduites.

Ce dépôt, qui isole le métal de l'eau, ralentit ainsi la corrosion; cependant, s'il n'est pas uniforme, il peut y avoir corrosion localisée par piqûres. Les eaux agressives, quant à elles, sont peu minéralisées ; elles sont donc plus corrosives que les eaux incrustantes, car elles ne favorisent pas la formation d'un dépôt protecteur.



**Figure II .8.** Corrosion de l'acier doux en fonction de la durée d'exposition : dans l'eau de mer dans une eau agressive et une eau incrustante extrait de Des matériaux.

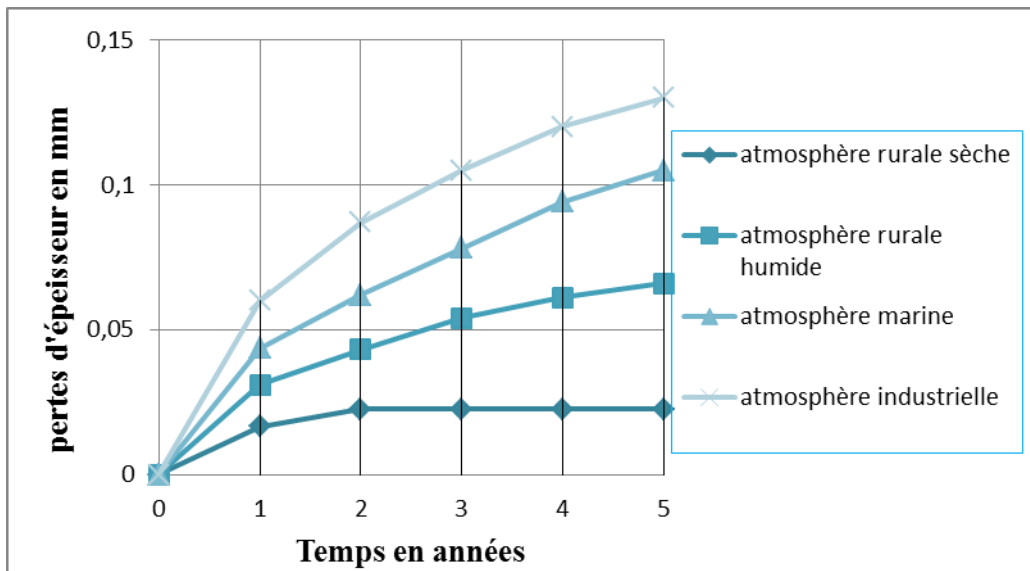
### II.4.2.corrosion atmosphérique

Au contact d'une atmosphère humide les aciers au carbone non protégés se recouvrent d'une couche d'oxydes de fer uniforme dont l'épaisseur croît de façon parabolique avec le temps.

L'atmosphère devient corrosive dès que le taux d'humidité de l'air est supérieur à 30%. Sa corrosivité dépend essentiellement de trois paramètres :

- ✓ l'humidité relative
- ✓ la teneur en  $\text{SO}_2$
- ✓ la teneur en  $\text{Cl}^-$

La corrosion dépend également beaucoup de l'agressivité locale : atmosphère rurale, industrielle ou marine.



**Figure II.9.** Corrosion de l'acier doux en fonction de la durée d'exposition en atmosphère industrielle, marine et rurale (humide et sèche). Extrait des matériaux

### II.4.3 La corrosion par les sols

Les sols sont loin d'être des milieux homogènes ; ils présentent en effet, d'un site à l'autre, des caractéristiques très variées. Le caractère corrosif des sols est fonction des paramètres suivants :

➤ leur perméabilité à l'air et à l'eau, qui dépend de leur porosité et de la granulométrie des matériaux constitutifs ;

➤ leur taux d'humidité ;

➤ leur teneur en sels ;

➤ leur alcalinité ou leur acidité (c'est à dire leur pH) ;

➤ leur conductibilité électrique.

En général ce sont ces deux derniers paramètres (PH et conductibilité électrique) que l'on mesure. Dans la grande majorité des cas, le pH des sols est compris entre 6 et 9.

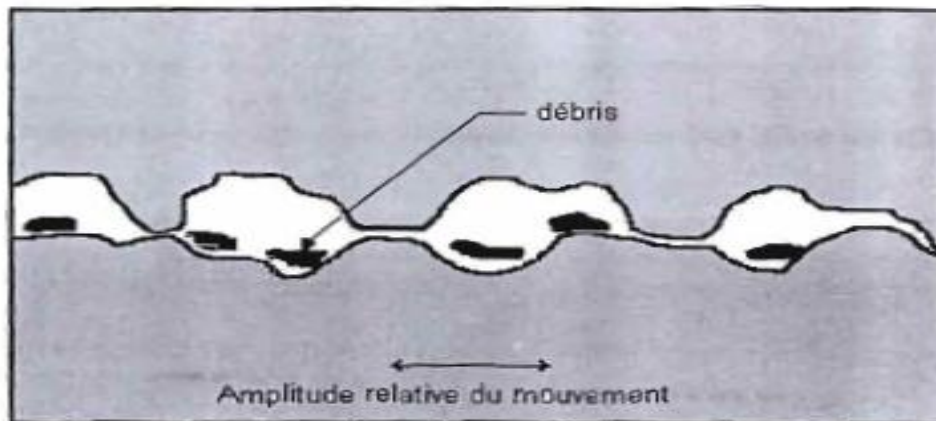
Quand une canalisation traverse des sols de natures différentes, le potentiel d'équilibre du métal avec chacun de ces milieux peut être différent, ce qui entraîne la formation de zones cathodiques et de zones anodiques.

#### ❖ Les conditions d'utilisation

Certaines conditions d'utilisation ont pour effet d'accélérer la corrosion et de raccourcir ainsi la vie des pièces ou des assemblages. [11].

En milieu corrosif la résistance à la tension mécanique de beaucoup d'alliages se trouve diminuée. Cette diminution est due à l'effet combinée de facteurs électrochimiques et de facteurs mécaniques; c'est la corrosion par fatigue.

Des déplacements de très faible amplitude (inférieurs au micromètre) entre les pièces sont la cause, aux points de contact, de la corrosion par frottement. Puisque les surfaces ne sont jamais complètement lisses, elles sont en contact par leurs aspérités.



**Figure II. 10.** Représentation schématique du mécanisme de la corrosion par frottement

Dans une pièce métallique, un gradient de température entraîne un gradient de potentiel électrochimique entre la partie froide et la partie chaude. La zone froide, qui est anodique par rapport à la zone chaude, peut être le siège de corrosion.

Quand on fait une installation de mise à la terre par le sol d'une installation électrique, il y a passage de courants dans le sol. Si des conduites métalliques sont enterrées à proximité de cette installation, le courant (courant vagabond) peut y circuler car leur résistance est inférieure à celle du sol. Il y a alors formation de zones anodiques sur les conduites et, par conséquent, accélération de la corrosion.

## II.5. La lutte contre la corrosion

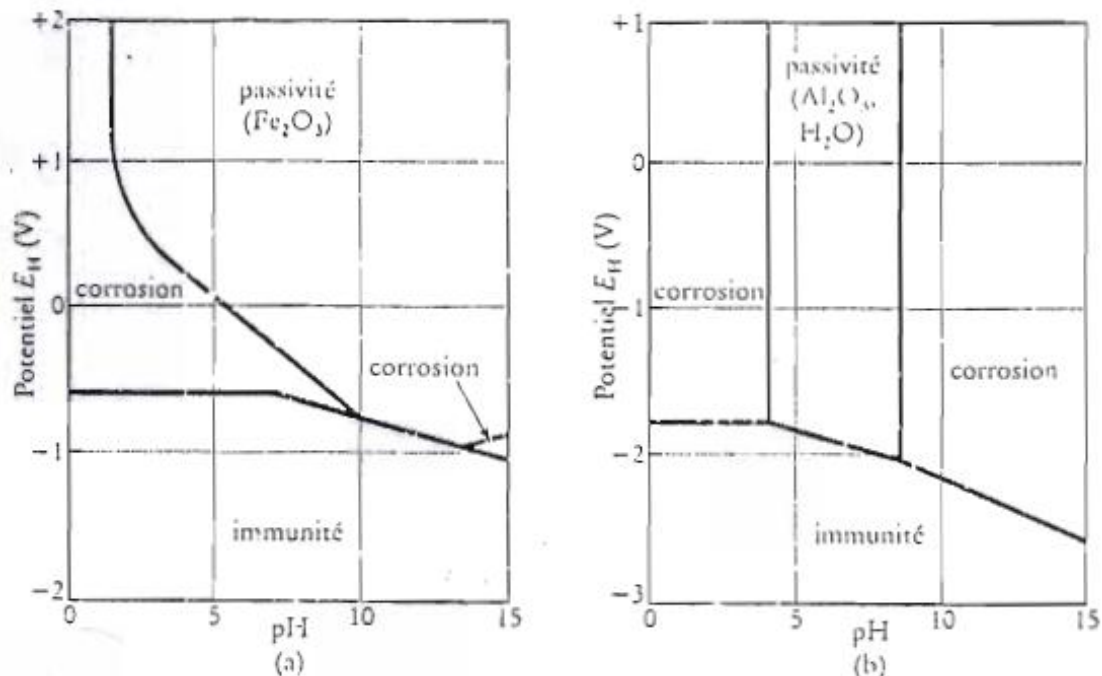
La lutte contre la corrosion doit être une préoccupation constante, depuis la conception des équipements jusqu'à leur entretien quotidien. Si les moyens à mettre en œuvre sont variés et dépendent en grande partie des situations d'utilisations particulières, le but recherché est d'enrayer la dégradation des équipements pour augmenter leur durée de vie.

Les différents moyens de lutte contre la corrosion sont: [11].

- La protection électrochimique ;
- La protection par revêtement ;
- traitement de surface ;
- La protection par des inhibiteurs ;
- L'action sur le milieu de corrosion ;
- Le choix des matériaux ;
- La conception et le tracé des assemblages.

### II.5.1 la protection électrochimiques

Pour effectuer la protection électrochimique d'un métal, on modifie son potentiel de dissolution de façon à l'utiliser soit dans la zone d'immunité, soit dans la zone de passivité. On parle alors de protection cathodique ou anodique.



**Figure II.11.** Diagramme de Pourbaix, simplifiés (à 25°C) : **a)** pour le fer ; **b)** pour l'aluminium.

### II.5.1.1 La protection cathodique

La protection cathodique est la technique qui permet de conserver dans son intégrité la surface extérieure des structures en acier enterrées ou immergées, en s'opposant au processus électrochimique d'attaque du métal par le milieu ambiant. Les canalisations en acier constituent le champ d'application principal de cette protection. Les réseaux en acier, même anciens et dégradés, peuvent bénéficier de cette technique dans des conditions économiques admissibles.

La protection cathodique pourra donc se faire soit par :

#### a). Anodes sacrificielles :

Le métal à protéger est couplé à un métal moins noble c'est à dire plus électronégatif (magnésium, aluminium, zinc). Celui-ci devient alors l'anode et la structure à protéger la cathode du système. L'anode se corrode alors et il faut la remplacer périodiquement.

#### b). le soutirage de courant

Cette méthode consiste à coupler le métal à protéger avec une anode inerte. On impose à l'équipement à protéger son potentiel (qui donne le critère de protection en tous points) à l'aide d'un générateur de courant. Cette méthode est aussi appelée protection cathodique par courant extérieur imposé.

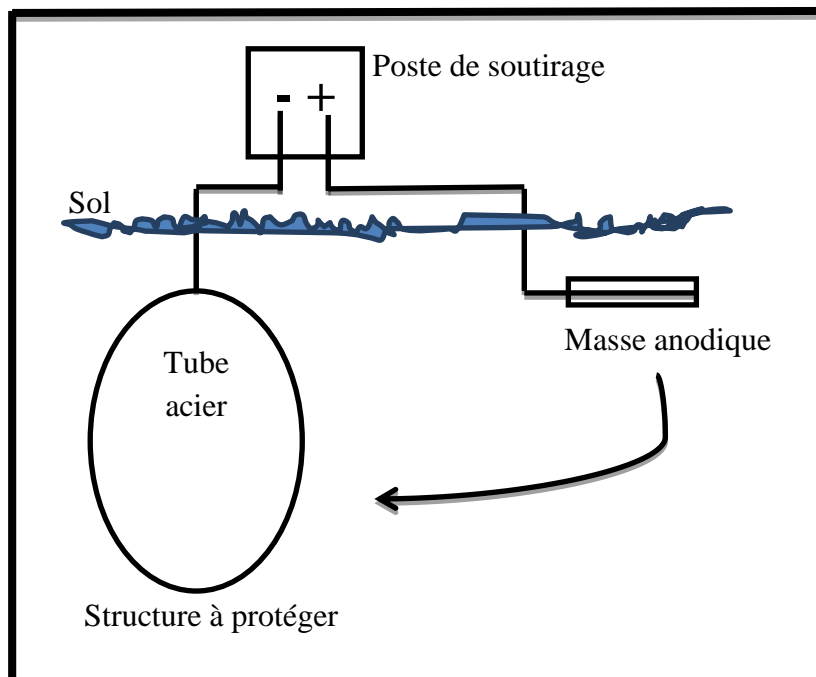


Figure II.12. La protection cathodique par soutirage de courant

### II.5.1.2 La protection anodique

Le principe de la protection anodique diffère de celui de la protection cathodique en ce sens qu'on fait augmenter le potentiel de corrosion de façon qu'il se situe dans la zone passive (voir diagramme de Pourbaix **figure II.11**). Cette méthode est donc uniquement applicable aux métaux qui peuvent être passivés.

### II.5.2. La protection par revêtement [11].

Un revêtement ayant pour fonction d'isoler le métal du milieu corrosif, il doit être continu, adhérent et inerte par rapport à l'environnement. à cet effet, il faut préparer soigneusement les surfaces à traiter; c'est à dire éliminer toute trace d'oxydation, de graisse ou de tout autre corps étranger, afin que le revêtement joue totalement son rôle de barrière au passage des électrons.

#### II.5.2.1. les revêtements non métalliques

Les revêtements non métalliques sont soit des peintures, soit des polymères soit des goudrons qui sont des produits organiques. En ce qui concerne les peintures, il faut en appliquer au moins deux types différents: une couche de fond et des couches de finition.

La peinture utilisée pour les couches de fond, doit mouiller parfaitement la surface à peindre et y adhérer fortement ; Ces peintures contiennent souvent des poudres de zinc ou d'aluminium, qui agissent comme anode, ou des pigments (comme le chromate de zinc), qui peuvent jouer le rôle d'inhibiteur.

Les polymères utilisés comme revêtement sont soit thermoplastiques (PET, PVC, etc.), soit thermodurcissables (poly époxydes).

Les structures enfouies sont souvent protégées par des revêtements à base de goudron, d'asphalte ou de bitume.

#### II.5.2.2. les revêtements métallique

Par rapport au métal à protéger, les revêtements métalliques peuvent être soit anodiques, soit cathodiques. Ainsi, le zinc, qui est anodique par rapport à l'acier. joue le rôle de l'anode sacrificielle dans les pièces en tôles galvanisées. Le chrome par contre est cathodique par rapport à l'acier par conséquent, au niveau de chaque discontinuité du revêtement, il y a corrosion de l'acier sous le chrome.



### II.5.3. Traitement des surfaces [19]

Le traitement des surfaces est une opération mécanique, chimique, ou physique, généralement de l'ordre de quelques micromètres qui a pour conséquence de modifier l'aspect ou la fonction de la surface des matériaux afin de l'adapter à des conditions d'utilisation données.

Il existe de nombreuses façons de classer les traitements de surface, soit par procédés (dépôts électrolytiques ou chimiques, dépôts physiques, traitement de diffusion, de conversion ou de transformation structurale, projection thermique, rechargement), soit par fonction (anticorrosion, décoration, anti-usure, isolation thermique...) soit éventuellement par le secteur d'application (transport, énergie, mécanique, bâtiment...). Comme tenu de la diversité des techniques, tout système de classification est nécessairement réducteur et l'approche est complexe.

La manière la plus traditionnelle de classer les traitements de surface, est de se placer du côté du substrat métallique et de différencier les mécanismes d'édification des couches selon le résultat métallurgique.

On distingue ainsi selon ces critères quatre filières :

- ✓ les traitements de surface par transformation structurale d'origine mécanique thermique ;
- ✓ Les traitements par diffusion ;
- ✓ Les revêtements.

#### II.5.3.1. différents étapes du traitement de surface

##### a) . dégraissage

Il a pour but d'enlever toutes les salissures et graisses qui empêcheraient la dissolution des oxydes de fer superficiels. Le dégraissage est effectué dans des bains contenant du carbonate de sodium ou de la soude (NaOH) avec addition de détergents et de tensioactifs. Parfois, des dégraissants acides peuvent être utilisés.

Cette étape est capitale pour la suite. En effet, les traitements se faisant dans des milieux aqueux, il convient d'éliminer toute trace de corps gras susceptible d'empêcher la mouillabilité des pièces.

Rinçage est nécessaire après le dégraissage afin d'éviter de polluer les opérations suivantes.

**b) . Décapage**

Est un procédé de revêtement rapide, facile à mettre en œuvre et peu coûteux, elle consiste en la réalisation de revêtement de différents composé contenant des phosphates afin d'améliorer la résistance à la corrosion, la durabilité des liaisons peinture/métal, les frottements entre les pièces mobiles (boîtes de vitesse des automobiles), elle est réalisée par contact de la surface à traiter avec une solution aqueuse et acide de sels métallique (fer, zinc, manganèse, chrome...).

Elle est applicable à tous les aciers non alliés, aux fontes, aux aciers revêtues de zinc ou de cadmium, aux alliages de zinc et certains alliages d'aluminium.

Rinçage avec l'eau de robinet afin de laver les pièces des sels de fer et traces d'acide qui pollueraient l'opération suivante.

**c) . Passivation chromique**

La chromisation est un traitement de conversion chimique pouvant être appliqué à partir d'une solution contenant du chrome comme constituant principal. Elle permet de former des couches complexes d'oxydes et de sels de chrome sur des revêtements électrolytiques de métaux communs tels que le zinc.

Ce procédé confère au matériau des propriétés fonctionnelles intéressantes comme :

- Une amélioration de la résistance à la corrosion des systèmes de protection cathodique de revêtements de zinc sur substrat acier due à l'effet inhibiteurs de corrosion du chrome hexa valent.
- Une excellente base d'accrochage pour les finitions organiques.

Rinçage avec de l'eau déminéralisée, et séchage à 100°C.

Il existe deux types de phosphatation : Amorphe, Cristalline

**➤ La phosphatation amorphe**

Consiste à décapé la surface d'un acier à l'aide d'une solution diluée et chaude d'acide phosphorique qui provoque la formation d'une pellicule d'environ 1 micro de phosphate (sels d'acide phosphorique) de fer, cette pellicule assure une passivation et améliore quelque peu la résistance à la corrosion de la pièce.

**➤ La phosphatation cristalline**

La plus épaisse et sa couche est composée de phosphate de fer plus le zinc.

### II.5.3.2. La mise en peinture

#### a). La peinture en poudre

La peinture en poudre développées comme alternatives à la peinture liquide dans les années 1960 sont produites sans utilisation de solvant organique, cette particularité lui assure une très importante utilité écologique.

La peinture en poudre est une peinture fonctionnelle appliquée à l'état de fluide sec et coulant est utilisée comme décorative.

La plus grande différence entre la peinture traditionnelle (liquide) et la peinture en poudre, c'est que la peinture en poudre ne nécessite pas de solvants pour embrasser la résine, le produit de remplissage et les pigments.

La peinture en poudre est généralement appliquée de façon électrostatique et elle est enfournée plus tard à une température (120 à 240°C) et dans une durée déterminée pour obtenir une surface dure et lisse.

Elle a une surface plus dure par rapport aux peintures traditionnelles, ses domaines d'utilisation sont en général des surfaces métalliques tels que : matériels d'éclairage, portes en aciers.

#### b). Méthodes d'application de la peinture en poudre

La peinture en poudre est appliquée par pulvérisation électrostatique, ce processus peut être appliqué comme suit :

Les grains de peinture sèche en poudre sont envoyés au pistolet à peinture à l'aide de l'air comprimé et pulvérisé, chargé d'électricité, sur le matériel déjà mis à la terre.

Le transport des particules de peinture en poudre à la surface où la peinture sera appliquée à partir du pistolet se fait par l'union des puissances électriques et mécaniques.

Ces puissances électriques sont formées à la suite de l'interaction des champs électriques entre les grains de peinture en poudre chargés d'électricité et la surface à peindre avec le pistolet, quant aux puissances mécaniques elles sont formées grâce à l'air qui propulse les grains de peinture en poudre qui sont isolants se tiennent, tout en gardant leur charge, à la surface en métal où sera appliquée la peinture.

#### ➤ Système de pistolet CORONA

C'est le type d'application le plus utilisé dans les applications de peinture en poudre. Cette technique repose sur le principe selon lequel la cascade se trouvant dans le corps du pistolet chargé de l'électricité la peinture sortie du pistolet avec le haut voltage (max, 100KV) qu'elle envoie à l'aiguille se trouvant à l'extrémité du pistolet.

- ✓ Les grains de peinture sont chargés négativement de l'électricité de haut voltage (40, 100 KV) à l'extrémité du pistolet. Entre le pistolet et la tôle se forme un champ électrique ;
- ✓ Sur les surfaces présentant des coins et enfoncement peut se former l'effet de cage Faraday ;
- ✓ Il assure un taux de pulvérisation élevée ;
- ✓ Il nécessite moins d'équipement.

### II.5.3.3. Les paramètres qui influent sur l'adhérence de la peinture sur la tôle

#### a) .Les paramètres liés à la peinture en poudre :

- ✓ La qualité de la poudre ;
- ✓ La température de cuisson de la poudre ;
- ✓ La couche de la peinture.

#### b) .Les paramètres liés au traitement de surface :

- ✓ Le type de phosphatation ;
- ✓ La température de bain de traitement ;
- ✓ Les modes de traitements (aspersion, émergence).

#### c) .Les paramètres liés à l'acier lui-même :

- ✓ La géométrie de la pièce ;
- ✓ Le type d'acier utilisé.

### II.5.4. L'action sur le milieu corrosif

On peut exercer une action sur le milieu essentiellement en modifiant la cinétique de corrosion. Ce type de protection ne peut par conséquent s'appliquer qu'à un système fermé. Une façon d'agir sur le milieu est de diminuer le pouvoir oxydant de l'électrolyte, quand la réaction électrochimique de réduction est celle de l'oxygène, la vitesse de corrosion est nettement réduite lorsqu'on élimine préalablement l'oxygène dissous. [11].

L'addition d'inhibiteurs peut aussi être utilisée car ceux-ci agissent sur la polarisation cathodique la pile de corrosion fonctionne alors sous contrôle cathodique, et le courant en est diminué.

Les inhibiteurs agissent en très faible concentration et leur nature varie en fonction du métal à protéger et du milieu corrosif avec lequel celui-ci est en contact.

une troisième action pouvant être menée est l'addition de passivateurs qui agissent en surtension anodique. Ce sont des agents oxydants (chromates, nitrites), qui élèvent la valeur du potentiel de corrosion des métaux passivables jusque dans leur domaine de passivité. Les passivateurs pour aciers au carbone et pour aciers inoxydables sont les plus utilisés.

### II.5.5. Le choix des matériaux

Le souci d'éviter la corrosion pousse à choisir avant tout des matériaux qui ne se dégraderont pas dans leur environnement ou, du moins, qui se corroderont de façon uniforme à fin qu'on puisse connaître le plus exactement possible la durée de vie utile de l'équipement.

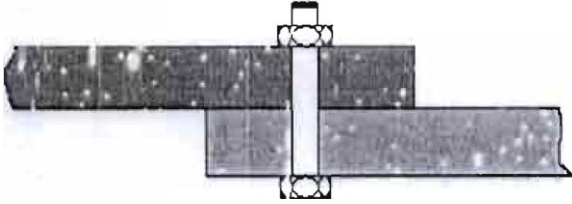
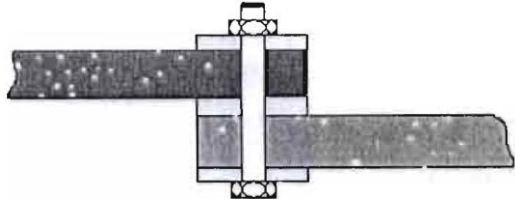
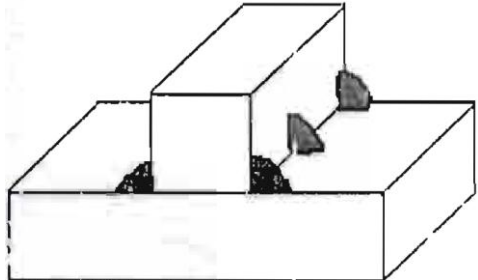
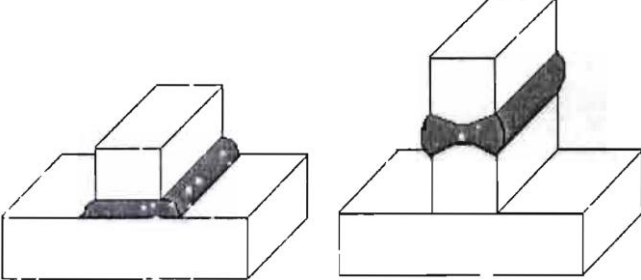
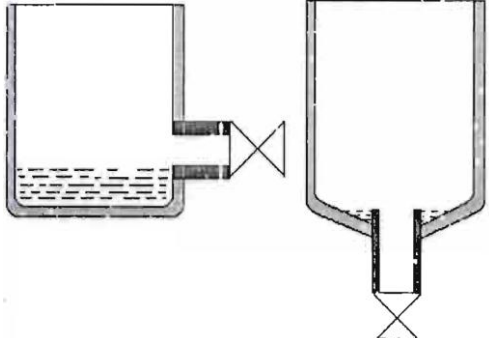
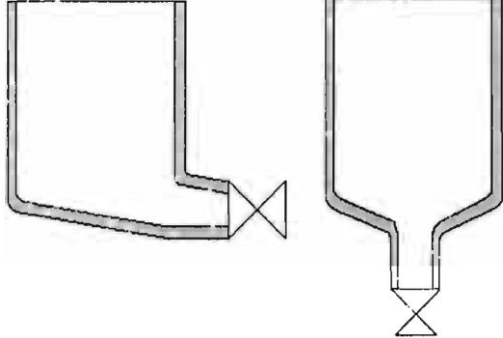

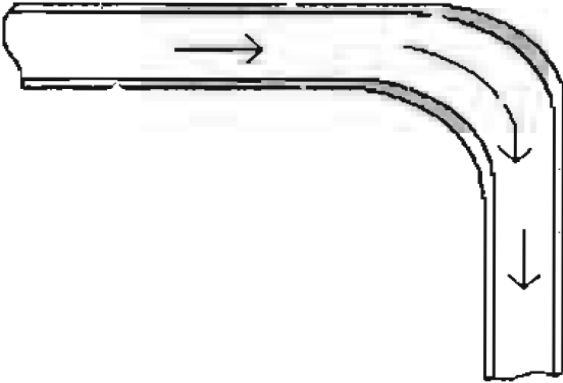
Il faut en outre porter une attention spéciale aux conditions d'utilisation (combinaison matériau milieu corrosif-contraintes) qui entraînent des types particulièrement pernicieux de corrosion, comme la corrosion sous contraintes ou la corrosion par piqûres. [11].

### II.5.6. La conception et le tracé des assemblages

Avant d'utiliser les méthodes décrites précédemment, il est possible de lutter contre la corrosion dès le début c'est à dire sur la table de dessin. en fait, pour minimiser les possibilités de corrosion, il faut étudier très soigneusement la conception des équipements et des assemblages.

Les règles à respecter sont aussi nombreuses que variées, car chaque assemblage est en soi un cas d'espèce; on peut toutefois les regrouper comme suit: [11].

- ✓ Eviter la formation de couples galvaniques entre des métaux différents: pour des métaux différents, les isoler électriquement l'un de l'autre.
- ✓ Eviter la formation d'interstices dans les assemblages afin de ne pas favoriser la Corrosion caverneuse, les obturer à l'aide de mastic hydrofuge ou de cordon de soudure.
- ✓ Eviter, où que ce soit, l'accumulation d'eau stagnante ou de résidus de boues afin d'éviter la corrosion par aération différentielle. Pour les mêmes raisons, éviter de créer des espaces renfermés et difficiles d'accès, qui rendent l'entretien et les inspections presque irréalisables.
- ✓ Eviter tout tracé qui risque d'entraîner des concentrations de contraintes dans les matériaux sensibles à la corrosion sous contrainte.
- ✓ Eviter dans les conduites, les changements brusques de section, les vannes trop petites ou les irrégularités, qui peuvent engendrer des zones de turbulences et favoriser ainsi la corrosion par érosion.

<b>Mauvais</b>	<b>Bon</b>
 <p data-bbox="193 465 758 499"><b>Métaux différents directement en contact</b></p>	 <p data-bbox="911 465 1326 499"><b>Métaux séparés par un isolant</b></p>
 <p data-bbox="336 831 614 864"><b>soudure discontinue</b></p>	 <p data-bbox="995 831 1241 864"><b>soudure complète</b></p>
 <p data-bbox="341 1308 612 1341"><b>accumulation d'eau</b></p>	 <p data-bbox="995 1308 1241 1341"><b>Vidange complète</b></p>
 <p data-bbox="352 1800 603 1834"><b>courbure brusque</b></p>	 <p data-bbox="1002 1800 1235 1834"><b>grande courbure</b></p>

**Figure II.13.** Quelques règles de conception et d'assemblage à respecter.

### II.5.7. La protection par des inhibiteurs

D'une manière générale, un inhibiteur de corrosion doit répondre à un certain nombre d'exigences: il doit abaisser la vitesse de corrosion du métal tout en conservant les caractéristiques physico chimiques de ce dernier ; être stable aux températures d'utilisation; être stable en présence des au très constituants du milieu mais également ne pas influencer sur la stabilité des espèces contenues dans ce milieu, être efficace à faible concentration; peu onéreux et compatible avec les normes de non-toxicité [20]

#### Conclusion :

Après ce chapitre d'un point de vue industriel, on remarque que La corrosion est la cause la plus importante et la protection contre la corrosion pourrait permettre de solutionner partiellement ces problèmes.

La protection d'un métal peut se faire à l'aide de différentes méthodes. Il existe sur le marché de très nombreux moyens de protection contre la corrosion.

La protection contre la corrosion c'est des opérations mécaniques, chimiques, électrochimiques ou physiques qui ont pour but de modifier l'aspect ou la fonction de surface des matériaux afin de l'adapter à des conditions d'utilisations données. Ils jouent un rôle éminent dans le domaine de la tribologie afin d'augmenter la durée de vie et la fiabilité du produit à utiliser.