

1- Diagrammes d'équilibre: Notions et généralités

2- Diagrammes d'équilibre: Microstructure

3- Diagrammes d'équilibre: Alliages fer-carbone

4- Transformations isothermes et anisothermes

5- Traitements thermiques, thermo-mécaniques et chimiques
des alliages

6- Diffusion et durcissement structurale des alliages

7- Corrosion: Mécanismes et préventions

8- Rupture: Notions et généralités

Corrosion

mécanismes et préventions

Lamine HATTALI

IUT Cachan – 1^{ère} année Sciences des Matériaux

✉ lamine.hattali@u-psud.fr



Introduction

- ❑ La *corrosion* et la *dégradation* des *matériaux* représentent un problème économique très important. On estime que chaque année le quart de la production de l'acier est détruit par corrosion. Ce qui représente 5 tonnes d'acier par seconde environ.
- ❑ Un des objectifs de la science des matériaux est d'obtenir des matériaux plus stables dans le temps et, par conséquent, plus fiables
- ❑ L'étude des phénomènes de dégradations et du vieillissement est donc d'une importance primordiale



Qu'est ce que la corrosion?

- ❑ Corroder: ronger, attaquer
- ❑ La corrosion désigne l'ensemble des phénomènes par lesquels un métal ou un alliage métallique tend à s'oxyder sous l'influence de réactifs gazeux ou en solution
- ❑ Dégradation ou transformation du matériau et de ses propriétés par réaction physico-chimique avec l'environnement

↳ La **CORROSION** traduit donc L'**INTERACTION** entre la **SURFACE** d'un **MATERIAU** et son **ENVIRONNEMENT**



Introduction

Définition

Origine électrochimique

Mécanisme de la rouille

Types de corrosion

Exemples pratiques

Remèdes

Ce qu'il faut retenir

Qu'est ce que la corrosion?

CORROSION

=

Réaction à l'interface



Matériau- **Gaz**

➤ **Corrosion sèche**

➤ **Processus** diffusionnel

Matériau- **Liquide**

➤ **Corrosion humide**

➤ **Réactions** électrochimique

Introduction

Définition

Origine électrochimique

Mécanisme de la rouille

Types de corrosion

Exemples pratiques

Remèdes

Ce qu'il faut retenir

Origine électrochimique de la corrosion

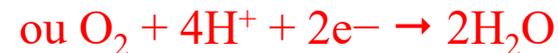
- ❑ Un métal plongé dans un électrolyte, cède des ions métalliques à l'électrolyte

Réaction d'oxydation :



Un métal M avec n électrons de valence peut s'oxyder en M^{n+}

En présence d'une solution acide (H^{+}) :



- ❑ Le passage des ions métalliques du métal vers l'électrolyte est limité dans le temps, car en cédant des ions, le métal se charge négativement.
- ❑ Pour quitter le métal, les ions doivent vaincre l'attraction du métal et l'effet répulsif des ions déjà en solution
- ❑ La différence de potentiel électrique entre le métal et la solution tend vers une valeur stationnaire appelée potentiel d'électrode U.

Introduction

Définition

Origine électrochimique

Mécanisme de la rouille

Types de corrosion

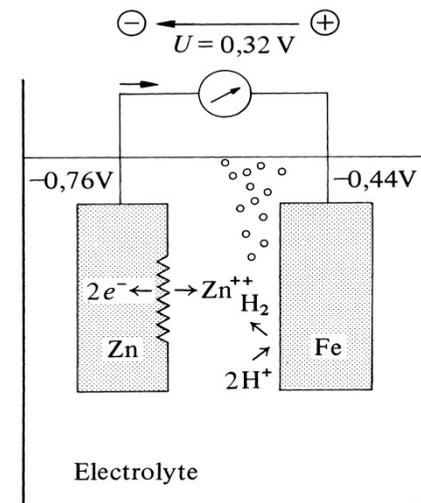
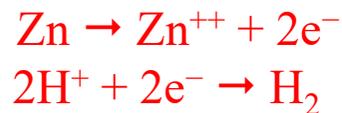
Exemples pratiques

Remèdes

Ce qu'il faut retenir

Origine électrochimique de la corrosion

- ❑ Si on place dans la solution électrolytique deux lames de métaux de nature différente réunies par un conducteur électrique, on crée une pile électrochimique.
- ❑ Les potentiels d'électrodes sont opposés: l'électrode qui possède le potentiel le plus négatif (Zn) fonctionne comme anode. Les atomes de zinc passent en solution sous forme Zn^{++} et la lame de zinc se charge négativement.
- ❑ La lame de fer se charge positivement (cathode) car il se produit en surface une réaction de réduction des ions de l'électrolyte



Origine électrochimique de la corrosion

Introduction

Définition

Origine électrochimique

Mécanisme de la rouille

Types de corrosion

Exemples pratiques

Remèdes

Ce qu'il faut retenir

- Chaque fois que deux métaux de nature chimique différente sont en contact dans un électrolyte, ils constituent une *pile électrochimique*
- Le métal qui possède le potentiel d'électrode le plus négatif va tendre à se dissoudre dans l'électrolyte, et le phénomène de corrosion galvanique se produit.
- La corrosion électrochimique se produit aussi à l'échelle microscopique dans les métaux. Les hétérogénéités de la surface (grains, joints, précipités...) jouent alors le rôle d'électrodes.
- Les phénomènes de corrosion sont considérablement accélérés par la présence d'ions qui servent au transport du courant électrique dans l'électrolyte. C'est ainsi que l'eau pur (pH=7) qui ne contient qu'une très faible quantité d'ions H^+ et OH^- est beaucoup moins corrosive que l'eau de mer qui contient environ 0,6mol/l d'ions Cl^- et Na^+

Introduction

Définition

Origine électrochimique

Mécanisme de la rouille

Types de corrosion

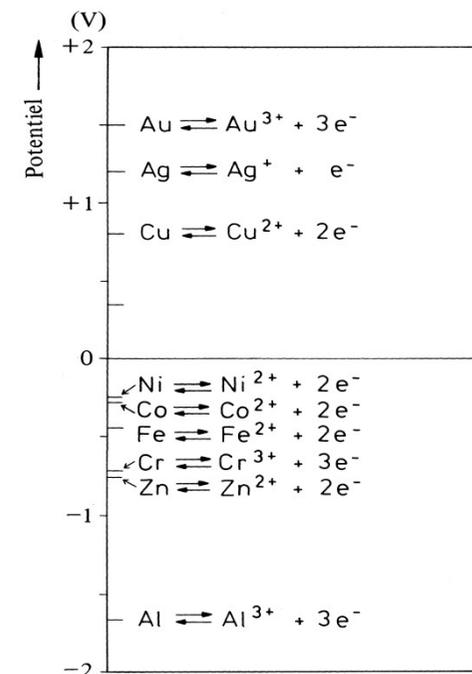
Exemples pratiques

Remèdes

Ce qu'il faut retenir

Origine électrochimique de la corrosion

- ❑ Le phénomène de corrosion galvanique est utilisé dans certains cas pour la protection des métaux. C'est le cas de l'acier recouvert d'une couche de Zinc (acier galvanisé).
- ❑ Lorsque la couche de Zinc est endommagée et que l'acier, mis à nu, entre en contact avec l'électrolyte, le couple acier-zinc forme une pile dont l'anode est constituée par la couche de Zinc qui se dissout lentement et l'acier constituant l'anode n'est pas attaqué.
- ❑ Pour classer les métaux en fonction de leur aptitude à se dissoudre, il faut connaître leur potentiel d'électrode.



Mécanisme de formation de la rouille

Introduction

Définition

Origine électrochimique

Mécanisme de la rouille

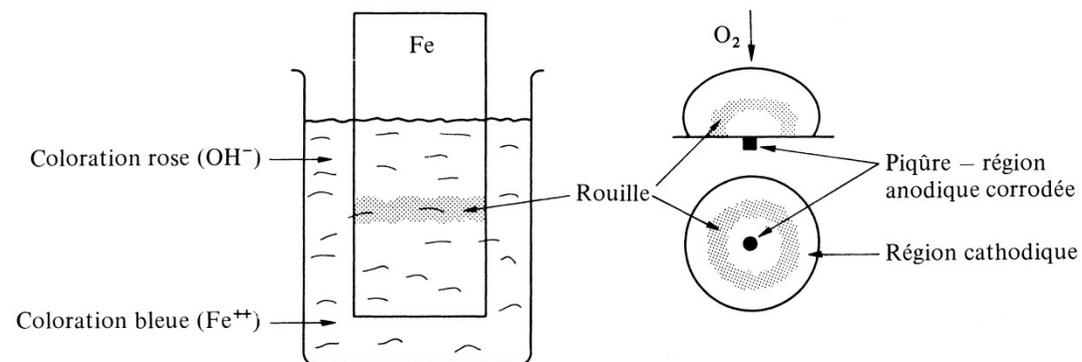
Types de corrosion

Exemples pratiques

Remèdes

Ce qu'il faut retenir

- ❑ Pour comprendre le mécanisme de la rouille
 - On plonge une plaque de fer pur dans une solution aqueuse diluée et désoxygénée de NaCl
 - Quelques gouttes d'une solution de phénolphthaline
 - Une solution de ferricyanure de potassium comme indicateur
- ❑ On observe après quelques temps:
 - Coloration rose vers le haut de l'éprouvette (formation OH^-)
 - Coloration bleue vers le bas de l'éprouvette (formation Fe^{++})
 - Zone intermédiaire formation d'une couche de rouille ($\text{Fe}_2\text{O}_3, 3\text{H}_2\text{O}$)



Mécanisme de formation de la rouille

Introduction

Définition

Origine électrochimique

Mécanisme de la rouille

Types de corrosion

Exemples pratiques

Remèdes

Ce qu'il faut retenir

- Comment peut-on interpréter ces résultats?
 - L'oxygène de l'air se dissout progressivement dans NaCl
 - Formation d'un gradient de concentration d'O₂
 - Le gradient induit une pile électrochimique dont la partie cathodique est située près de la surface et où il se produit une réduction de O₂



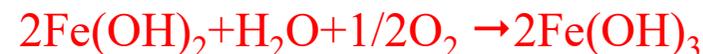
- La partie inférieure de la plaque de fer constitue l'anode à la surface de laquelle il se produit une dissolution (oxydation) du fer sous forme d'ion ferreux



- Dans la zone intermédiaire, il y a précipitation d'hydroxyde ferreux



- Ceci peut subir une oxydation ultérieure



Mécanisme de formation de la rouille

Introduction

Définition

Origine électrochimique

Mécanisme de la rouille

Types de corrosion

Exemples pratiques

Remèdes

Ce qu'il faut retenir

- ❑ La couche de rouille qui se forme en surface du fer et des aciers est poreuse et ne constitue pas une protection pour les attaques ultérieures.
- ❑ Par contre, la couche d'oxyde très dense et imperméable (Cr_2O_3) qui se développe en surface des aciers inoxydable (Fe-Ni-Cr) constitue une protection pour les attaques ultérieures.
- ❑ Dans ce cas, la couche d'oxyde est suffisamment mince et transparente pour ne pas altérer la brillance du métal. Elle est dure et se reforme rapidement après destruction mécanique.

Classification des différents types de corrosion humide

Introduction

Définition

Origine électrochimique

Mécanisme de la rouille

Types de corrosion

Exemples pratiques

Remèdes

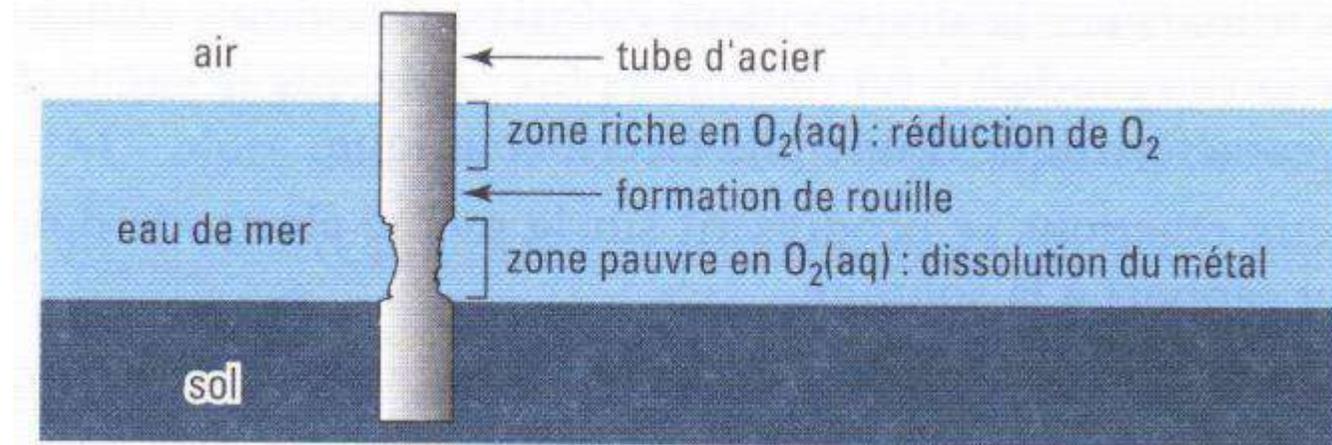
Ce qu'il faut retenir

- ❑ **La corrosion uniforme:**
 - Lorsque toute la surface du métal en contact avec la solution est attaquée de la même façon.
- ❑ **La corrosion galvanique:**
 - Liée à la formation de liaisons électriques entre deux métaux différents (par exemple Fe / Zn ou Fe / Cu).
- ❑ **La corrosion bactérienne:**
 - Fréquente dans les cuves, tuyaux et pompes utilisées dans les industries agroalimentaires: ce sont les bactéries qui définissent alors des taux d'oxygène différents.
- ❑ **La corrosion par aération différentielle :**
 - Il est fréquent qu'une pièce métallique soit soumise à des milieux de teneurs différentes en oxygène: pièces posées sur le sol, pièces peintes ou enduites d'un seul côté, tuyaux. Dans ce cas, des pressions partielles différentes en O_2 induisent des potentiels rédox différents, d'où la formation d'anodes et de cathodes.
- ❑ **Autres types de corrosion :** corrosion cavernueuse, piquuration,¹³ corrosion intergranulaire, lixiviation différentielle....

Exemples pratiques mettant en évidence la corrosion par aération différentielle

❖ Cas d'une barre enfouie dans le sol et recouverte d'eau de mer

- ❑ L'attaque du métal se produit au fond de l'eau, dans la zone où $[O_2]$ est la plus faible, les ions Fe^{2+} s'oxydant en Fe^{3+} plus haut sur la barre, alors que le métal au niveau de la surface n'est pratiquement pas corrodé.



Exemples pratiques mettant en évidence la corrosion par aération différentielle

- ❖ Cas d'une canalisation en fer enterrée dans un sol entre une zone argileuse (très faiblement perméable à O_2) et une zone sableuse (fortement perméable à O_2)
- La corrosion du métal a lieu dans la zone argileuse (faible $[O_2]$) alors que la partie dans la zone sableuse n'est pratiquement pas altérée.



Principaux remèdes contre la corrosion

Introduction

Définition

Origine électrochimique

Mécanisme de la rouille

Types de corrosion

Exemples pratiques

Remèdes

Ce qu'il faut retenir

I/ Protections de surfaces

❑ Protection par revêtement non métallique:

- Empêcher tout contact entre O_2 , l'eau et le métal, ce qu'on réalise par: *peinture, laquage, films plastiques divers...*
- L'inconvénient majeur de ces procédés est lié au phénomène de corrosion par aération différentielle lorsque le métal est mis à nu (cf. la tour Eiffel).

❑ Protection par revêtement métallique:

- On dépose une couche d'un autre métal résistant mieux à la corrosion. Ce dépôt peut être réalisé :
 - soit par électrolyse (chromage, nickelage, argenture,...)
 - soit par immersion dans un bain de métal fondu (galvanisation dans le cas du zinc)

Principaux remèdes contre la corrosion

Introduction

Définition

Origine électrochimique

Mécanisme de la rouille

Types de corrosion

Exemples pratiques

Remèdes

Ce qu'il faut retenir

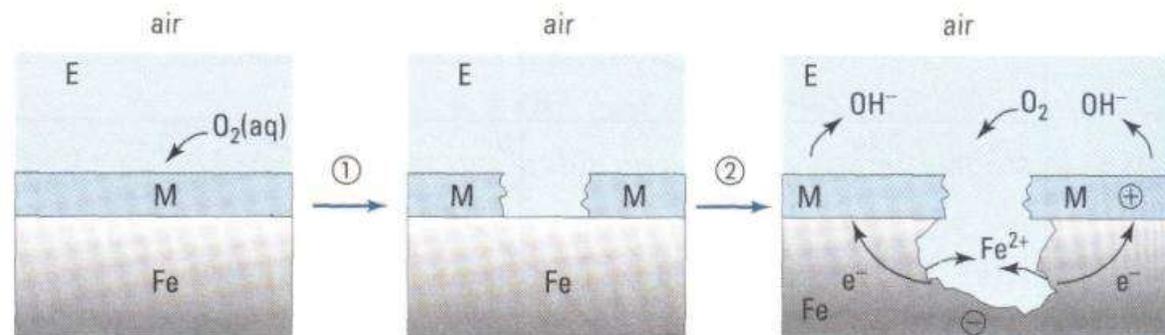
I/ Protections de surfaces

☐ Protection chimique superficielle:

- Isoler le fer de l'air humide, mais désormais la couche protectrice est créée par une réaction chimique. Citons :
 - la **phosphatation (ou parkérisation)** des aciers, obtenue en immergeant les pièces dans des bains d'acide phosphorique H_3PO_4 utilisée pour les carrosseries automobiles.
 - L'utilisation de l'**aluminium anodisé** (dans le BTP: fenêtres, devantures, ...), ou celle des **aciers bichromatés** (dans la visserie, la boulonnerie et la construction automobile).

Le comportement d'un dépôt métallique, vis-à-vis d'une rayure ou d'une rupture

- Cas du dépôt d'un métal moins réducteur que le fer.
(exemples : cuivre, plomb, étain, nickel...)



- Le fer s'oxyde et le dépôt reste intact.

Introduction

Définition

Origine électrochimique

Mécanisme de la rouille

Types de corrosion

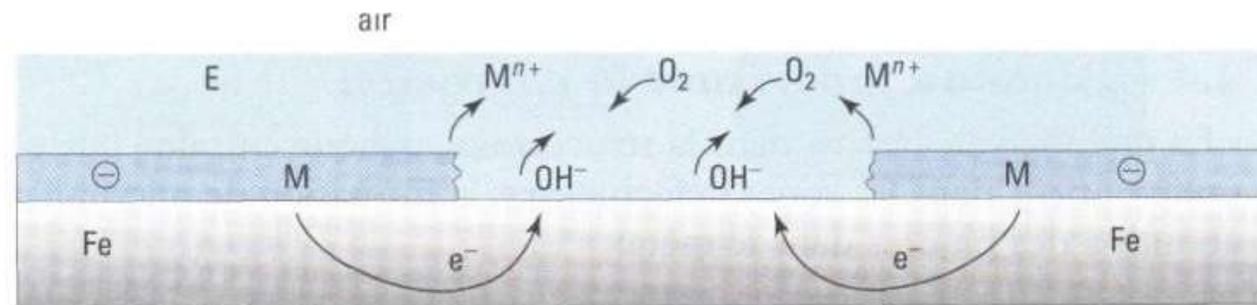
Exemples pratiques

Remèdes

Ce qu'il faut retenir

Le comportement d'un dépôt métallique, vis-à-vis d'une rayure ou d'une rupture

- Cas du dépôt d'un métal plus réducteur que le fer. (exemples : zinc, magnésium...)



- Le dépôt s'oxyde et le fer reste intact

Principaux remèdes contre la corrosion

Introduction

Définition

Origine électrochimique

Mécanisme de la rouille

Types de corrosion

Exemples pratiques

Remèdes

Ce qu'il faut retenir

II/ Protection anodique du métal par passivation

- Formation d'une couche d'oxyde très mince et fortement adhésive à la surface du métal
 - Exemple : acier inoxydable contenant au moins 11 % de Chrome qui forme une couche protectrice en surface pour *certain*s milieux oxydants (un acier inoxydable peut s'oxyder !)

Principaux remèdes contre la corrosion

Introduction

Définition

Origine électrochimique

Mécanisme de la rouille

Types de corrosion

Exemples pratiques

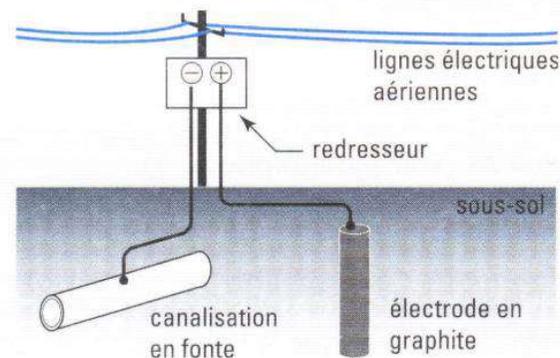
Remèdes

Ce qu'il faut retenir

III/ Protection cathodique du métal

□ Grâce à une source de tension extérieure:

- On parle de protection **par courant imposé**
- On amène le fer dans sa zone d'immunité
- Cette méthode est particulièrement utilisée pour les **ouvrages enterrés** (canalisations diverses, pipe...) et les **ouvrages immergés** (carènes de navires, docks flottants, ...).



Principaux remèdes contre la corrosion

Introduction

Définition

Origine électrochimique

Mécanisme de la rouille

Types de corrosion

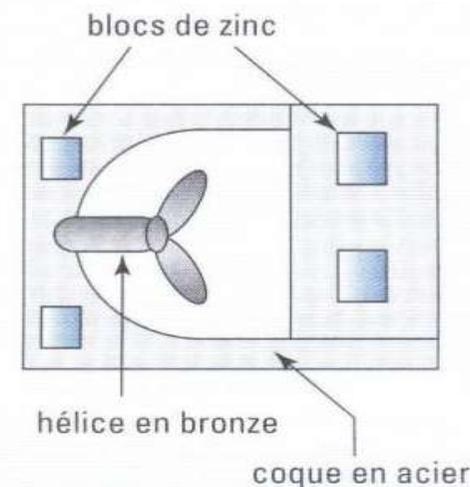
Exemples pratiques

Remèdes

Ce qu'il faut retenir

III/ Protection cathodique du métal

- ❑ **En associant le fer avec un métal plus réducteur que lui :**
 - C'est le principe de l'**anode sacrificielle** (Zinc, Aluminium...)
 - L'anode se dissout progressivement, alors que le fer est protégé
 - On peut protéger de cette façon les coques en acier des gros navires, en y fixant des blocs de zinc ou de magnésium.



Ce qu'il faut retenir

Introduction

Définition

Origine électrochimique

Mécanisme de la rouille

Types de corrosion

Exemples pratiques

Remèdes

Ce qu'il faut retenir

- Origine électrochimique de la corrosion
- Classification des différents types de corrosion humide
- Principaux remèdes contre la corrosion