

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de L'enseignement Supérieur  
Et de la Recherche Scientifique

Université de Jijel  
Faculté des Sciences Exactes et Sciences  
De la Nature et de la Vie  
Département de Biologie Moléculaire et  
Cellulaire



جامعة جيجل

كلية العلوم الدقيقة وعلوم الطبيعة والحياة  
قسم البيولوجيا الجزيئية والخلوية

جامعة محمد الصديق بن يحيى  
كلية علوم الطبيعة والحياة  
المكتبة  
رقم الجرد : A606.....

*Mémoire De Fin d'études Pour L'obtention du diplôme  
Des études Supérieures en Biologie  
Option : Microbiologie*

*La corrosion biologique : causes,  
microorganismes responsables et effet sur  
la qualité des eaux de consommation*

*Membres de Jury :*

*Examineur : Melle Laggoune S*

*Encadreur : M<sup>me</sup> BENHAMADA W*

*Présenté par :*

↓ *Abdelli Wassila*

↓ *Belemrabet Nawal*



*Année Universitaire : 2009-2010*



# Remerciement

*Nous tenons à  
Remercier en premier lieu*

*Le dieu « ALLAH »*

*La personne qui nous a fait l'honneur de*

*Nous encadrer :*

*Mme : BENHAMADA Wahiba*

*Pour tous ses effets et ses conseils*

*Nous remercions le membre de jury qui*

*Accepté de juger notre travail*

*Nous exprimons notre profonde reconnaissance à*

*Nos parents*

*De plus nous remercions nos familles et toute personne*

*Ayant aidé de près ou de loin à la réalisation de ce*

*Travail*

*A tous un grand et chaleureux*

*Merci*

*Merci beaucoup*



*Sommaire*

# Sommaire

<b>Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>Chapitre I : La corrosion des métaux</b>	
<b>I.1. Historique</b> .....	<b>3</b>
<b>I.2. Définition</b> .....	<b>3</b>
<b>I.3. L'origine</b> .....	<b>4</b>
<b>I.4. Les facteurs</b> .....	<b>4</b>
<b>I.5. Morphologie</b> .....	<b>5</b>
<b>I.5.1. La corrosion galvanique</b> .....	<b>5</b>
<b>I.5.2. La corrosion caverneuse</b> .....	<b>5</b>
<b>I.5.3. La corrosion par piqûres</b> .....	<b>5</b>
<b>I.5.4. La corrosion inter granulaire</b> .....	<b>5</b>
<b>I.5.5. La corrosion sélective</b> .....	<b>5</b>
<b>I.5.6. La corrosion érosion</b> .....	<b>6</b>
<b>I.5.7. La corrosion sous contrainte</b> .....	<b>6</b>
<b>I.5.8. La corrosion uniforme</b> .....	<b>6</b>
<b>I.5.9. Corrosion localisée</b> .....	<b>6</b>
<b>I.5.10. Fragilisation par l'hydrogène</b> .....	<b>6</b>
<b>I.6. Les différentes formes de corrosion</b> .....	<b>6</b>
<b>I.6.1. Corrosion chimique</b> .....	<b>6</b>
<b>I.6.2. Corrosion bactérienne</b> .....	<b>7</b>
<b>I.6.3. Corrosion électrochimique</b> .....	<b>7</b>
<b>Chapitre II. : La corrosion biologique</b>	
<b>II.1. Définition</b> .....	<b>8</b>
<b>II.2. Les facteurs influant</b> .....	<b>8</b>
<b>II.2.1. L'hétérogénéité du métal</b> .....	<b>8</b>
<b>II.2.2. L'influence du CO<sub>2</sub></b> .....	<b>9</b>
<b>II.2.3. La minéralisation de l'eau</b> .....	<b>10</b>
<b>II.2.4. La température</b> .....	<b>10</b>
<b>II.2.5. La vitesse de l'eau</b> .....	<b>10</b>
<b>II.2.6. Le pH</b> .....	<b>10</b>
<b>II.3. Influence des bactéries sur la corrosion</b> .....	<b>10</b>

II.3.1. Les sulfobactéries .....	11
II.3.2. Les sulfatoreductrices.....	12
II.3.3. Les ferrobactéries.....	12

### Chapitre III : Mécanisme de la corrosion biologique

III.1. Modèle de Chantéreau .....	14
III.2. Modèle de l'effet de pile .....	16
III.3. La première étape .....	16
III.3.1. Polarisation anodique .....	16
III.3.1. Polarisation cathodique .....	17
III.4. La deuxième étape .....	17
III.4.1. Le biofilm .....	17
III.4.1.1. L'importance du <b>biofilm</b> .....	18
III.4.1.2. Les associations bactériennes .....	18
a. Les associations <b>passives</b> .....	18
b. Les associations actives .....	18
III.4.2. La dépolarisation anodique .....	19
III.4.2.1. l'intervention des sulfures .....	21
III.4.2.2. Les exopolysaccharides du biofilm .....	21
III.4.3. Dépolarisation cathodique .....	22
III.4.3.1. Bactéries dénitrifiantes .....	24
III.4.3.2. Microorganismes divers possédant une hydrogénase .....	25
III.5. Effet de la corrosion biologique sur la qualité des eaux de consommation.....	25
III.5.1.Effet de la corrosion biologique sur la composition chimique de l'eau .....	25
III.5.2. Effet du biofilm sur la chloration des eaux .....	26
<b>Conclusion</b> .....	27
<b>Références bibliographiques</b>	



*Liste des  
abréviations*

## Liste des abréviations

**NF** : Normes Française

**ISO** : Organisation International de Standardisation

**CIM** : Corrosion Influencée par les Microorganismes

**MIC**: Microbially Induced Corrosion

**SEP** : Substances Extra- Polymériques

**HCO<sub>3</sub>** : Hydrogène Carbonate

**CO<sub>3</sub>** : Carbonate

**Fe<sup>+2</sup>** : Ions ferreux

**Fe (HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>** : Bicarbonate Ferreux

**Fe CO<sub>3</sub>** : Carbonate Ferreux

**Ca (HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>**: Bicarbonate de Calcium

**CaCO<sub>3</sub>** : Carbonate de Calcium

**OH<sup>-</sup>** : Ions Hydroxydes

**M** : Métal

**H<sup>°</sup>** : Hydrogène Atomique

**Fe (OH)<sub>2</sub>** : Hydroxyde Ferreux

**Fe<sup>°</sup>** : Fer Métallique

**H<sub>2</sub>S** : Hydrogène Sulfuré

**Fe<sup>+3</sup>** : Ions Ferriques

**Fe (OH)<sub>3</sub>**: Hydroxyde Ferrique = Rouille

**S<sup>-2</sup>** : Ion Sulfure

**SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>** : Sulfate

**FeS** : Sulfure de Fer

**SO<sub>2</sub>**: Dioxyde de Soufre



# *INTRODUCTION*



### Introduction:

Quant à l'influence des microorganismes sur l'évolution de la corrosion, elle n'est citée dans la littérature française que depuis les années 1980, Chantereau la définit alors ainsi "la corrosion bactérienne rassemble tous les phénomènes de corrosion où les bactéries agissent directement, ou par l'intermédiaire de leur métabolisme, jouant un rôle primordial, soit en accélérant un processus déjà établi, soit en créant les conditions favorables à son établissement ". Plus récemment les normes française (NF) et internationale (ISO) définissent la corrosion microbienne comme " la corrosion associée à l'action des bactéries". Pour exprimer l'effet des bactéries vis-à-vis de la corrosion des matériaux, plusieurs noms sont employés, certains utilisent le terme CIM: "corrosion influencée par les microorganismes", venant de la traduction de l'anglais MIC : "microbially induced corrosion ", pour simplifier, le mot "bio détérioration" est proposé pour généraliser l'action des microorganismes sur tout type des matériaux, qu' il soit métallique, minéral ou encore organique, Dans ce document, seuls seront considérés les matériaux métalliques, c'est pourquoi le terme " biocorrosion " sera utilisé, ce qui est d'usage classique pour ces conditions. Il est aussi important de préciser que l'action des bactéries ne conduit pas à une nouvelle forme de corrosion, mais provoque une modification de la cinétique des réactions de corrosion, où elle favorise un type de corrosion qui, l'absence des bactéries, n'aurait pas de raison pour se manifester (*Dagbert, 2009*).

Les microorganismes et la corrosion s'intéressent aux éléments inertes: les matériaux. Cependant une spécialité scientifique les unit, l'électrochimie dans le domaine aqueux malheureusement le vocabulaire employé par les spécialistes de ces deux disciplines n'est pas toujours identique pour exprimer une même notion c'est pour quoi une traduction de certain termes couramment employés dans les deux disciplines sera donnée. (*Dagbert, 2009*).

La corrosion conduisant à des modifications des propriétés mécaniques d'un matériau est préjudiciable pour la résistance des structures métalliques qui se dégradent tous les secteurs industriels y sont plus ou moins confrontés. C'est pour des raisons de coûts importants de maintenance, d'indisponibilités d'installations et de risques pour la sécurité des biens et des personnes que les phénomènes de corrosion sont largement étudiés depuis plusieurs siècles (*Dagbert, 2009*).

Notre recherche bibliographique est organisée en 3 chapitres, le premier donne des généralités sur la corrosion des métaux, le deuxième s'intéresse à l'action des

microorganismes sur la corrosion, alors que le troisième chapitre montre les mécanismes de cette corrosion, de même il donne quelque effets de la corrosion sur la qualité des eaux.

# CHAPITRE I

*La corrosion des  
métaux*

### I.1. Historique:

L'histoire complète de la corrosion n'est pas encore écrite, mais il est certain qu'elle va de pair avec les découvertes des matériaux. Les paragraphes qui suivent ne font que rappeler quelques faits connus.

En se reportant aux premiers âges de l'homme sur la terre, on se rend compte que les premiers matériaux utilisés étaient ceux qui se trouvaient à l'état naturel ou qui n'exigeaient qu'une simple transformation. L'or, l'argent et le bronze ont été utilisés depuis les temps les plus reculés, tandis que le fer météorique a été employé au début de l'âge de bronze. Cependant, il devait se corroder très rapidement, car on a utilisé presque exclusivement le bronze par la suite.

Donc la corrosion est connue depuis longtemps, mais son étude scientifique a dû attendre les essais de De La Rive, à l'Université de Grenoble, et ceux de Faraday (1791- 1867) sur l'électricité et la pile de courant en 1830. Ces chercheurs ont alors découvert que la corrosion des métaux était un phénomène électrochimique. Cependant, cette explication ne s'applique pas à toutes les formes de corrosion, ni à la compréhension de la corrosion humide. La corrosion sèche fait intervenir la réaction chimique du milieu extérieur directement sur le matériau. Elle est typique de la corrosion par les gaz et se rencontre à haute température (*Lamoureux, 1994*).

En effet, les dégâts causés par la corrosion entraînent dans le monde des pertes qui se chiffrent chaque année à des milliards de dollars. On pourrait diminuer ces pertes de 25 à 40% si l'on mettait à profit les possibilités actuelles de la technique (*Lamoureux, 1994*).

### I.2. Définition :

On appelle corrosion l'altération que subissent les métaux exposés au contact de l'eau (*Degrémont, 1972*).

Elle désigne aussi l'altération du métal par suite d'une réaction avec le milieu environnant (*Berné et Cordonnier, 1991*). Cette définition admet que la corrosion est un phénomène nuisible: elle détruit le matériau ou réduit ses propriétés, le rendant inutilisable pour une application prévue. Un autre phénomène dégrade le matériau: l'usure, perte progressive de matière de la surface de métal d'un solide, due au frottement ou à l'impact.

Parfois, la corrosion est un phénomène bienvenu, voir souhaité, elle détruit et élimine un grand nombre d'objets abandonnés dans la nature. Certaines procédés industriels font également

appel à la corrosion. Par exemple l'anodisation de l'aluminium est une oxydation de la surface de métal pour former un film d'oxyde décoratif qui protège la corrosion atmosphère (*Landolt, 1997*).

### I.3. L'origine :

Le comportement à la corrosion d'un matériau en service dépend d'une multitude de facteurs. Microstructure du métal, composition chimique et l'environnement, paramètres physiques (température, convection, irradiation, etc...) et sollicitations mécaniques (contraintes, chocs, frottements) (*Landolt, 1997*).

### I.4. Les facteurs :

Les phénomènes de corrosion dépendent d'un nombre de facteurs externes et internes. Ils sont résumés de la manière suivante:

#### Liés au matériau:

- Composition
- Structure cristallographique
- Taille des grains
- Texture (la texture en surface ou dans la zone superficielle, est souvent différente de la texture à cœur).
- Etat de déformation contrainte résiduelle.
- Gradient thermique.
- Appauvrissement ou enrichissement (précipités) aux joints de grains et/ou dans les zones voisins.

#### Liés à la surface:

- Orientation des grains.
- Film superficiel.
- Composition de la surface.
- Précipités et inclusions émergeant en surface.
- Ségrégations intergranulaires.

#### Liés au milieu:

- Composition.
- Teneur en oxygène.
- Différence d'aération.



- pH
- température.
- Cycle thermique, gradient thermique.
- Agitation et écoulement.
- Contraintes appliquées (statiques et dynamiques).
- Bactéries, complexant, irradiation (*Normand et al, 2004*).

## **I.5. Morphologie :**

### **I.5.1. La corrosion galvanique**

La corrosion galvanique peut se définir simplement par l'effet résultant du contact de deux métaux ou alliages différents dans un environnement corrosif conducteur (*Audisio, 2007*). Appelé aussi corrosion bimétallique, est due à la formation d'une pile électrochimique (*Landolt, 1997*)

### **I.5.2. La corrosion caverneuse:**

Elle est due à une différence d'accessibilité de l'oxygène entre deux parties d'une structure, créant ainsi une pile électrochimique on observe une attaque sélective du métal dans les fentes et autres endroits peu accessibles à l'oxygène. (*Landolt, 1997*).

### **I.5.3. La corrosion par piqûres:**

Cette forme de corrosion est particulièrement insidieuse (*Audisio, 2007*) elle est caractérisé par une attaque très localisée évoquant une piqûre (*Dabosi et al., 1994*).

### **I.5.4. La corrosion inter granulaire**

Cette corrosion se manifeste par une attaque préférentielle des joins de grains du métal. Elle est généralement liée à une modification locale de la composition (teneur différente en éléments d'alliages, précipitée...) (*Dabosi et al., 1994*).

### **I.5.5. La corrosion sélective:**

Dans des structures multiphasées, ce même type de corrosion galvanique peut dissoudre sélectivement l'une des phases, Dans la graphitisation des fontes par exemple, la phase ferrite (fer à basse teneur en carbone) se dissout totalement dans les eaux acide, en laissant dernière elle

une structure poreuse non dissoute de cémentite (carbure de fer). De même, certaines brasures à l'argent ont l'une de leurs multiples phases qui est presque instantanément soluble dans l'eau. Est l'oxydation d'un composant de l'alliage, conduisant à la formation d'une structure métallique poreuse. (*Landolt, 1997*).

#### **I.5.6. La corrosion par érosion:**

Elle 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 d'un fluide. Se manifeste dans les condenseurs marins sur les parois intérieures des tubes en milieu d'écoulement. Elle se produit chaque fois que des grosses bulles d'eau turbulente éclatent sur la paroi du tube et amorcent des touts en forme de fer à cheval (*Landolt, 1997*). Aussi cette corrosion est produite par le mouvement relatif d'un fluide corrosif et d'une surface métallique (*Audisio, 2007*).

#### **I.5.7. La corrosion sous contrainte:**

Elle est induite par l'action simultanée de la corrosion et d'une sollicitation mécanique. Si cette sollicitation est constante dans le temps, il s'agit de corrosion sous contrainte. Dans ce cas, une fissure peut se former, se développer au cours du temps et éventuellement provoquer la rupture du métal (*Raharinaivo et al, 1998*).

#### **I.5.8. La corrosion uniforme:**

Elle est caractérisée par une dissolution uniformément répartie du métal, et c'est le moins gênante dès l'instant où elle ne dépasse pas une valeur acceptable (de l'ordre de 50µm par an pour l'acier ordinaire) c'est vers ce but que tendent tous les traitements (*Duvivier, 2006*).

#### **I.5.9. La corrosion localisée:**

C'est la forme la plus insidieuse et elle ne peut être évaluée convenablement par le calcul de son taux. En effet, pour une perte de poids minime, la corrosion localisée peut être catastrophique, par la mise hors service d'une partie de l'équipement. Ce type de corrosion inclut la piqûre, l'aération différentielle et l'attaque microbienne (*Lamoureux, 1994*).

### **I.5.10. Fragilisation par l'hydrogène:**

Ce type de corrosion se définit comme un processus de développement de fissures (*Audisio, 2007*).

## **I.6. Les différentes formes de corrosion:**

### **I.6.1. Corrosion chimique:**

Les corrosions chimiques pures d'une structure enterrée sont rarement seules et, le plus souvent, elles sont accélérées par superposition de réaction électrochimique primaire ou secondaire (*Lamoureux, 1994*).

### **I.6.2. Corrosion bactérienne**

La corrosion bactérienne, appelée encore biocorrosion, rassemble tous les phénomènes de corrosion dans lesquels les bactéries agissent directement ou par l'intermédiaire de leur métabolismes. En jouant un rôle primordial, soit en accélérant un processus déjà établi, soit en créant les conditions favorables à son établissement (*Lemaître, 1998*).

### **I.6.3. Corrosion électrochimique:**

La corrosion électrochimique est l'oxydation d'un métal par son environnement; nous ne considérons ici comme environnement que l'eau et dès lors on a toujours un phénomène électrochimique. Nous verrons que la corrosion est toujours liée à un phénomène d'hétérogénéité (*Duvivier, 2006*).



# CHAPITRE II

*La corrosion  
biologique*

## II.1. Définition:

La corrosion influencée par les microorganismes (CIM) ou biocorrosion est un phénomène étudié depuis du siècle. Des métaux tels que la fonte, les aciers au carbone des alliages de cuivre, l'aluminium ainsi que des aciers inoxydables peuvent présenter des dégradations du type piqûre ou caverne qui sont attribuées à la présence de microorganismes fixés à la surface de ces matériaux (*Feugeas et al., 1996*).

Les bactéries de l'environnement, dans certaines conditions, peuvent former un biofilm sur des surfaces métalliques. Ce biofilm est complexe et présente une structure très hétérogène constituée de protéines adsorbées, de bactéries, de substances extra- polymériques (SEP), d'éléments de corrosion associés éventuellement à des dépôts calcaires, de champignons, d'algues et de coquillages. La présence du biofilm modifie les conditions physicochimiques à la surface du métal (*Feugeas et al., 1996*).

## II.2. Les facteurs influants:

### II.2.1. L'hétérogénéité du métal:

La vitesse de la corrosion peut être fortement influencé par la composition du métal si nous considérons généralement qu'un métal pur se corrode moins vite qu'un des ces alliages. Dans le des cas alliages fer-carbone, ceci n'est pas applicable, car la fonte présente une résistance à la corrosion plus élevée que les aciers, mais pour des alliages incluant d'autre métaux (aciers inoxydables fer-cr-c, fonte à graphite) ou en présence d'un autre métal, il peut apparaitre des piles galvaniques. De plus la présence d'un traitement thermique par exemple présence de soudure, accélère la corrosion de la conduite, en effet des attaques apparaissent le long du cordon de soudure et peuvent conduire au percement de la conduite (*Vrignaud, 1998*).

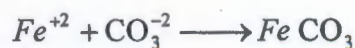
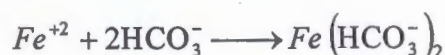
### II.2.2. L'influence du CO<sub>2</sub> :

La présence de gaz carbonique dans l'eau, en l'absence d'oxygène, a pour conséquence la formation d'ions H<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> et CO<sub>3</sub><sup>-2</sup> (*Vrignaud, 1998 et Duvivier, 2006*)



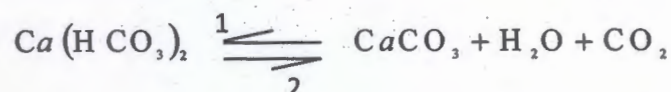
L'apparition des ions H<sup>+</sup> contribue à l'abaissement du pH, l'eau devient plus acide, ces ions H<sup>+</sup> forment une pompe à électrons et de ce fait la corrosion et soit déclenchée soit accélérée.

Dans le cas du fer et des aciers, l'ion  $Fe^{+2}$  de la solution réagissent avec les ions  $HCO_3^-$  et  $CO_3^{-2}$  pour donner du bicarbonate ferreux soluble et du carbonate ferreux qui lorsque le produit de solubilité est atteint précipitent à la surface de l'acier.



L'attaque du fer par le gaz carbonique dissous devient négligeable pour des concentrations égales ou inférieures à 6 – 10 mol/l, cette concentration limitée est fonction du PH et du  $CO_2$  totale.

En effet nous avons dans les eaux naturelles différents éléments chimiques dissous, dont le plus fréquent est le bicarbonate de calcium, l'équilibre pratique de ces sels avec le dioxyde de carbone est défini par la relation: (*Berné et Cordonnier, 1991 et Vrignaud, 1998*).



Il y a agressivité d'une eau vis à vis du marbre, lorsque l'équilibre est déplacé dans le sens 1, il y a mise en solution du carbonate sous forme de bicarbonate. Par contre si la réaction évolue dans le sens 2, il y a précipitation du carbonate de calcium, l'eau est dite entartrant ou incrustante (*Vrignaud, 1998*).

### II.2.3. La minéralisation de l'eau:

La présence des sels à des doses même très faible engendre le phénomène de corrosion, la minéralisation d'une eau augmente sa conductivité et diminue de ce fait la résistance au courant de corrosion, cette eau devient un excellent électrolyte, la mobilité des ions est accrue en particulier celle des ions  $Fe^{+2}$  d'où généralement une augmentation de la corrosion.

Cependant, les sels présents dans l'eau n'agissent pas de la même façon. Ainsi les sels, acides ( $AlCl_3$ ,  $NiSO_4$ ,  $FeCl_2$ ) s'hydrolysent pour donner des solutions acides qui provoquent une corrosion avec dégagement d'hydrogène. Les sels alcalins ( $Na_3PO_4$ ,  $Na_2B_4O_7 \dots$ ), s'hydrolysent et donnent des solutions alcalines. Ils agissent comme des inhibiteurs de corrosion par exemple l'influence des sulfates peut se manifester de deux façons:

- Directement par accroissement de la minéralisation et par diminution de la résistivité électrique.

- Indirectement par la participation au cycle des bactéries sulfatoreductrices (*Vrignaud, 1998*).

#### II.2.4. La température:

La température de l'eau a une action triplement défavorable quand elle s'élève. Elle intervient par l'abaissement de la résistivité et du pH et par l'accroissement des vitesses des réactions de plus l'augmentation de la température diminuent la solubilité de tous les gaz, si la corrosion est contrôlée par la diffusion d'O<sub>2</sub>, celle-ci va s'accroître car la vitesse de diffusion d'O<sub>2</sub> augmente en raison d'une diminution de la viscosité de l'eau (*Vrignaud, 1998*).

#### II.2.5. La vitesse de l'eau:

Le régime hydraulique dans les réseaux peut par des vitesses excessives, s'opposer à la formation ou contribuer à la destruction du précipité calcique protecteur. Il provoque la dépolarisation des microphiles ou des macrophiles par dispersion des ions inhibiteurs.

Si la vitesse est suffisamment importante pour transporter des particules de sable ou d'autres matériaux contenus dans l'eau, un phénomène d'érosion peut prendre place dans la détérioration des canalisations par contre des vitesses de circulation trop faibles favorisent la formation de dépôts qui peuvent engendrer des couples d'aération différentielle (*Vrignaud, 1998*).

#### II.2.6. Le pH :

Le pH de l'eau est le paramètre essentiel de la corrosion, de la biocorrosion et de la dégradation des canalisations le pH détermine l'existence des espèces chimiques présentes dans l'eau, de plus il peut favoriser le développement des bactéries, en générale un pH de la neutralité permettra un développement optimum, cependant certains germes tel que les *Thiobacillus* s'accommodent très bien d'un pH voisin de 1 (*Vrignaud, 1998*).

### II.3. Influence des bactéries sur la corrosion:

En 1981, *Tatnall* écrivait : « le plus grand problème aujourd'hui est de nombreux ingénieurs en corrosion n'admettent pas le rôle des bactéries dans la corrosion, et que ceux qui l'acceptent ne savent pas comment reconnaître et traiter les symptômes » (*Haslay et Lecler, 1993*).

Il est certain que la corrosion des métaux, surtout du fer et de ses dérivés faiblement « alliés » (donc fortement oxydables), peut exister, en l'absence de tous microorganismes, avec une origine purement électrochimique, ou galvanique. Et l'influence des bactéries peut parfois se

borner à un effet d'aération différentielle, du simple fait de la présence d'un amas bactérien en un point de la surface métallique (*Haslay et Lecler, 1993*).

Dans les cas où la responsabilité bactérienne est évidente, il est d'ailleurs fréquent de ne mesurer que des différences significatives de taux de corrosion, entre une expérience menée en milieu stérile, et la même, effectuée en présence de la bactérie ou des bactéries responsables (*Haslay et Lecler, 1993*).

En milieu aérobie, sur un circuit de distribution expérimental, *Hyunlee et al(1980)* ont trouvé des différences importantes de corrosion d'échantillons de fonte, selon que l'eau circulant dans le système était ou non stérilisée par filtration (*Haslay et Lecler, 1993*).

En milieu anaérobie, *Vonwolzogen Kuhr* avait déjà démontré en 1937, que la stérilisation du milieu interrompait le phénomène de corrosion. Bien plus récemment, *Croombie et al(1980)*, *Obuekwe et al(1981)*, ont soutenu que le stade primordial de la corrosion était l'adhérence des bactéries sur la paroi métallique (biofilm) : de grandes quantités de glycocalix sont en effet retrouvées à l'endroit des traces de corrosion (*Haslay et Lecler, 1993*).

Mais, *Crolet (1992)*, à propos de la corrosion bactérienne des aciers inoxydables, estime que « la chimie locale du milieu corrosif sous biofilm peut être très sensiblement différente de ce que l'on imagine par simple référence à un milieu homologue stérile », et qu'en conséquences, les effets microbiologiques peuvent être qu'indirects (*Haslay et Lecler, 1993*).

*Obuekwe et al.(1981a et 1981 b)* ont montré que la dépolarisation anodique d'un échantillon métallique, même artificiellement passivé (par un bain préalable de nitrite), avait lieu en présence d'une bactérie réductrice du fer, mais pas en son absence (*Haslay et Lecler, 1993*).

Les bactéries responsables de la biocorrosion sont :

### II.3.1. Les sulfobactéries :

Ces bactéries aérobies, elles métabolisent le soufre à partir de composés réduits et le rejettent dans le milieu ambiant ou l'emmagasinent dans leurs cellules. Ceci entraîne la formation de boues. Les sulfobactéries peuvent également oxyder le soufre et former des produits acides ( $H_2SO_4$ ) et ainsi provoquer une acidification corrosive avec modification importante du pH de milieu (*Gauthier, 2002*).

### II.3.2. Les sulfatoredutrices:

Les bactéries sulfatoredutrices sont les principales responsables des phénomènes de corrosion métallique en l'absence d'oxygène. Une étude physiologique et enzymatique de quelques *Desulfovibrio* a contribué à la compréhension du rôle de ces bactéries dans les phénomènes de biocorrosion anaérobie.

Les *Desulfovibrio* peuvent être responsables soit d'une corrosion par contact direct avec le métal, en utilisant la couche d'hydrogène formée à la surface, soit d'une corrosion à distance en consommant l'hydrogène dissous ou gazeux (*Chatelus et Legall, 1987*).

### II.3.3. Les ferrobactéries:

Les ferrobactéries tirent l'énergie nécessaire à leur synthèse de la transformation des sels ferreux en sels ferriques, dans les canalisations en métal ferreux, il y a toujours formation en un point non protégé ou altère de la surface d'une légère attaque du métal au contact de l'eau. Avec formation d'hydroxyde ferreux, dans des conditions normales se transforme vite en hydroxyde ferrique et carbonate grâce à l'oxygène et au gaz carbonique dissous.

En général, le phénomène s'arrête là, la présence de ferrobactéries au point d'attaque va entraîner la mobilisation des ions ferreux et leur transformation en sels ferriques et ceci rapidement tant que le milieu contiendra des ions ferreux. Il y a alors formation d'amas volumineuse de "Rouille"(sel ferrique) renfermant les corps bactériens suivie d'une dissolution ininterrompue du métal (*Vrignaud, 1998*).

# CHAPITRE III

*Mécanisme de la  
corrosion biologique*

La corrosion est causée par une pile constituée par deux métaux différents en contact, ou par deux régions dissemblables d'un même métal (appelées région anodique et cathodique) entourées d'eau. Un courant électrique part de la région anodique du métal, traverse l'eau jusqu'à la région cathodique, et traverse le métal pour rejoindre la région anodique (*Duvivier, 2006*).

Le mécanisme influencé par les bactéries, la réaction de dissolution du métal ne change pas et reste de nature électrochimique la réaction partielle anodique est une oxydation



A cette réaction partielle, est toujours associée une réaction cathodique correspondant à la réduction d'une espèce chimique présente à l'interface métal/ solution. La corrosion biologique intervenant fréquemment dans un milieu aqueux plus ou moins acidifié et plus ou moins aéré, deux réactions cathodiques sont couramment citées, il s'agit de la réaction de réduction de l'eau si le milieu est désaéré : (*Normand et al., 2004*).



Ou celle de l'oxygène dissous dans l'eau aérée : (*Normand et al., 2004*).



Il y a différentes hypothèses sur le mécanisme.

### III.1. Modèle de Chantéreau

L'ouvrage de Chantéreau (1977), est une bonne synthèse des connaissances unanimement reconnues à l'époque. Il est utile de la détailler, pour la compréhension des phénomènes, et parce que certains mécanismes ou vocabulaires sont acceptés, encore aujourd'hui par de nombreuses personnes, c'est toujours un phénomène électrochimique, consistant en un effet dit « effet de pile » dû à une hétérogénéité à l'échelon macroscopique ou microscopique, il se forme une zone cathodique et une zone anodique, la première aboutissant toujours puisque nous sommes en milieu aqueux, à la réduction des ions  $H^{+}$  de l'eau en atomes  $H^0$ , la seconde étant le siège d'une oxydation du fer métallique  $Fe^0$  en ions ferreux  $Fe^{+2}$ , donc le cas des conduites à base de fer (fonte ou acier), qui sont de loin les plus fréquentes en distribution publique. La corrosion s'amorce



donc à l'anode, mais l'ion  $Fe^{+2}$  est hydrolysé, au pH voisins de la neutralité, qui est ceux d'une eau de distribution selon l'équation :



Le terme de polarisation est ambigu, car il recouvre plusieurs significations différentes, donc le cas qui nous préoccupe, il signifiera isolement d'une électrode, par recouvrement de celle-ci par une couche de matériaux non conducteur de l'électricité, un gaz, le plus souvent, le terme de dépolarisation signifiera donc : arrêt de la polarisation par destruction chimique, ou biochimique, de la couche électriquement isolante (*Haslay et Leclerc, 1993*).

Bien que l'on sache que la cathode est réductrice et l'anode oxydant « le modèle de Chantéreau » implique, mais sans l'explicitier, mais que l'effet dit pile, est dû à un phénomène l'aération différentielle, seul permettant la coexistence et la prolifération, à des distances.

Extrêmement poches, de bactéries anaérobies strictes, comme les sulfato-réductrices, et de bactéries aérobies, ou du moins microaérophile comme celles du fer.

D'autre part, Chantéreau (1977) signale simplement qu'il y a d'autres bactéries oxydant l'hydrogène, comme *hydrogenomonas*, des bactéries dénitrifiantes (*Micrococcus denitrificans*), certain *Pseudomonas*, pourraient intervenir dans la dépolarisation cathodique en lieu et place des bactéries sulfato-réductrices (*Haslay et Leclerc, 1993*).

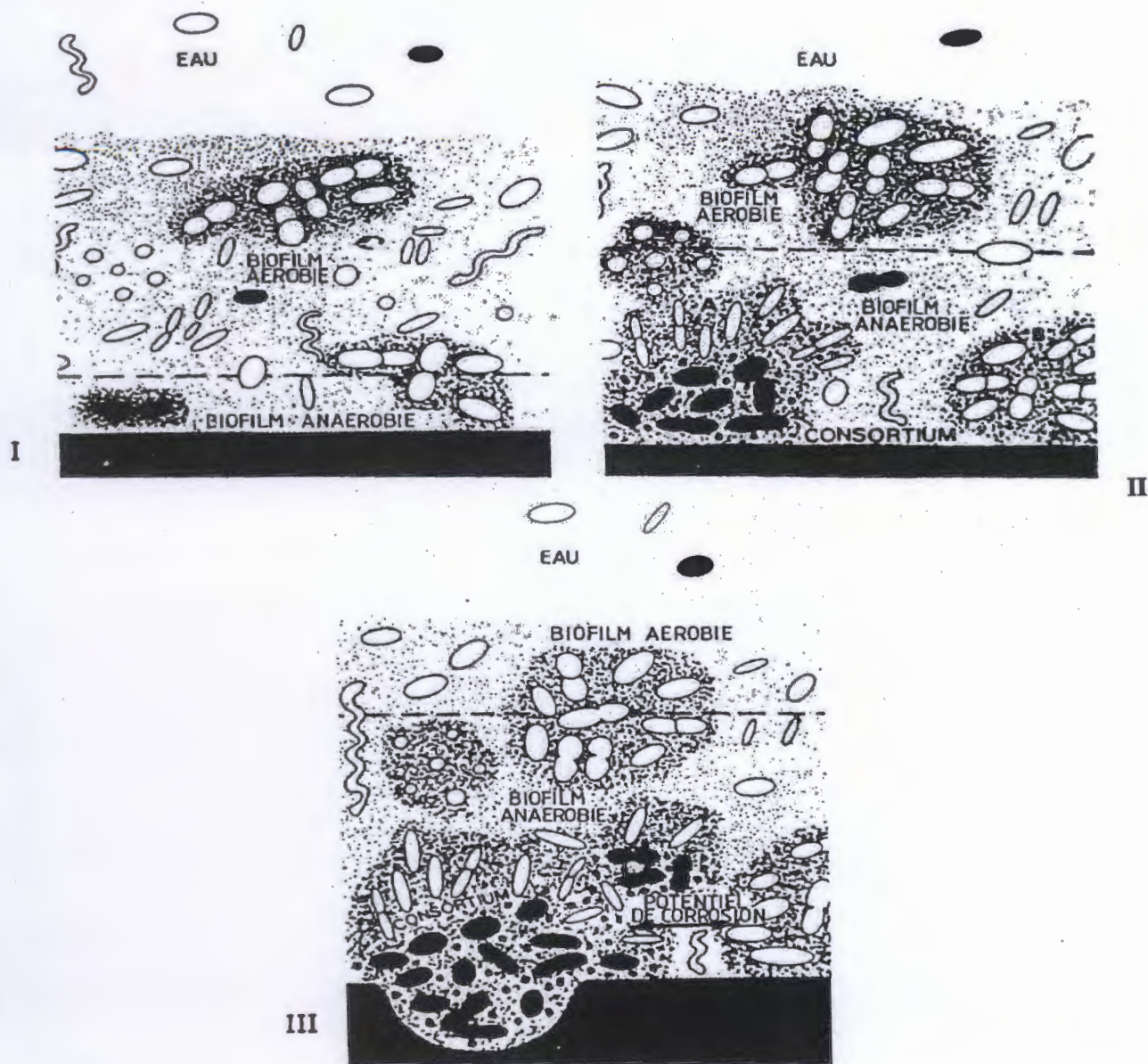
## II.2. Modèle de l'effet de pile :

L'effet de pile c'est une notion complétement abandonnée, de nos jours, car la superposition des réactions anodique et cathodique existe, dès l'échelle microscopique, même en corrosion uniforme, sans courant extérieur. Il n'y a anode et cathode et donc courant extérieur, qu'en cas d'inégalité, dit caverneux (corrosion par piqûre ou pitting en anglais) (*Haslay et Leclerc, 1993*).

Crolet (1992) parle du « mythe de l'aération différentielle », et montre que celle-ci n'est le moteur de la corrosion caverneuse, mais seulement celui du processus d'initiation (*Haslay et Leclerc, 1993*).

Pour Costerton et al (1988), la réaction cathodique n'est pas due à une aération différentielle : la face du biofilm en contact avec le métal est toujours en anaérobiose, sinon elle ne permettrait pas la présence et le développement des bactéries anaérobies, en particulier sulfato-réductrices. L'effet de pile donc dû à des différences localisées de pH, entre microcolonies bactériennes mixtes, de structures différentes. Il appelle ces microcolonies anaérobies, formées de

diverses espèces bactériennes, des « consortiums » et localise des « potentiels de corrosion » entre les « consortiums » (Figure (1)) (Haslay et Leclerc, 1993).



**Figure 01 :** Représentation schématique de communautés bactériennes responsables de corrosion métallique. – Développement de I à III d'un biofilm anaérobie avec des bactéries sulfato-réductrices (en noir) et d'autres espèces anaérobies (en blanc). – les clones mixtes (consortium) finissent par provoquer entre elles des potentiels de corrosion (Haslay et al, 1993).

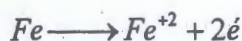
La corrosion s'effectue en deux étapes.

### III.3. La première étape :

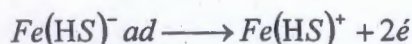
En absence des microorganismes, les phénomènes qui régissent la corrosion aqueuse étant d'ordre électrochimique, chaque métal a un comportement qui lui est propre, mais on assiste toujours à une ionisation anodique (oxydation). Dans le cas de fer, et réduction cathodique dans le cas de l'eau (*Degrémont, 1972*).

#### III.3.1. Polarisation anodique :

Le fer perd deux électrons et devient un ion  $Fe^{+2}$  en solution dans l'électrolyte : (*Duvivier, 2006*).

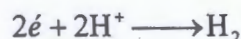
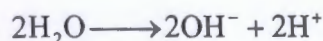


*Iofa (1970,1980)* propose un mécanisme catalytique, faisant intervenir aussi l'ion sulfure, et accélérant la réaction anodique (la réaction préliminaire état identique) : (*Haslay et Leclerc, 1993*).



#### III.3.1. Polarisation cathodique :

Les électrons s'écoulent en sens inverse du sens du courant électrique, vers la cathode. Ils se combinent avec deux ions hydrogène, chargés positivement, pour former une molécule de gaz hydrogène (*Degrémont, 1972 et Duvivier, 2006*).

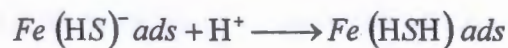


(*Duvivier. L, 2006*).

*Hamilton (1990)* rappelle que la formation de  $H^0$  ou de  $H_2$  à la cathode peut provenir de deux réactions de réduction possibles : (*Haslay et Leclerc, 1993 et Mercier et al, 1999*).



Iofa (1970,1980) propose un mécanisme catalytique d'accélération de la réaction cathodique par l'ion sulfure (ads signifiant adsorbé) (Haslay et Leclerc, 1993).



#### III.4. La deuxième étape :

Dans cette étape intervient le rôle des microorganismes aussi bien au niveau de l'anode qu'au niveau de cathode (Degremont, 1972).

##### III.4.1. Le biofilm :

Les biofilm sont définis, par Costerton et al comme des écosystèmes constitués de populations microbiennes (bactéries, levures, algues et protozoaires) (Normand et al 2004).

Un biofilm est une communauté bactérienne adhérant à une surface. La production excessive de biomasses fixées sur les surfaces métalliques en contact de l'eau, associées ou non à des dépôts minéraux et responsable des problèmes de salissures organiques et de corrosion d'origine bactériennes (Duvivier, 2006). Aussi peut être définie comme l'ensemble des microorganismes, adhérant à une surface. Le biofilm est hautement hétérogène, cette hétérogénéité est morphologique, structurale, microbiologique et chimique (Dupont, 2005).

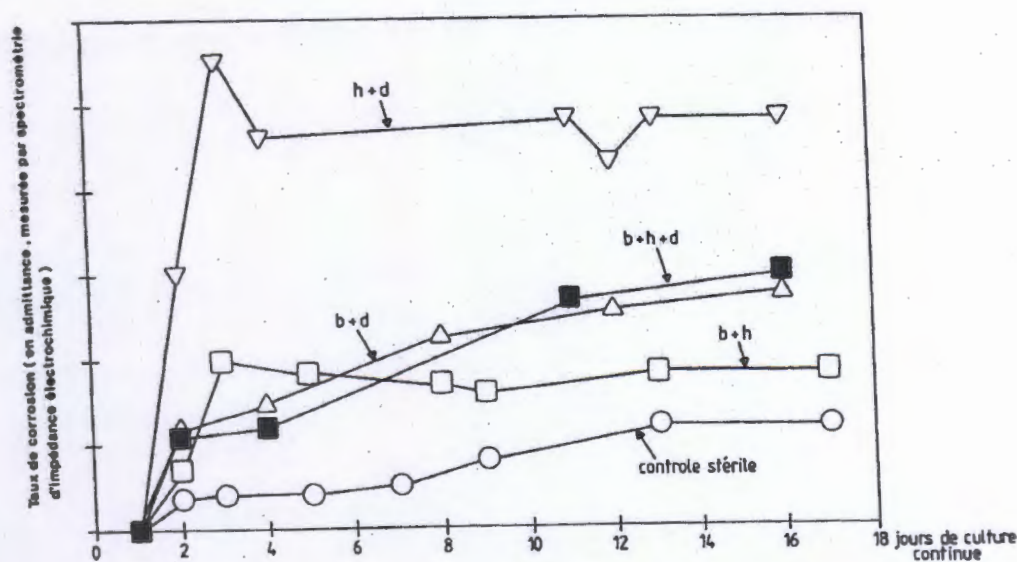
##### III.4.1.1. L'importance du biofilm :

Costerton (1991) signale que les biofilms ne sont pas des films continus mais des structures en mosaïque, constituées d'ilots (colonies) disjoints avec des tailles d'environ 100µm.

Divers chercheurs, comme White et al (1985), Characklis et al (1990) ont associé corrosion bactérienne et biofilm, estimant que seule la présence de ce dernier permettait d'expliquer l'effet de pile, par hétérogénéité biologique, et l'action métabolique de bactéries anaérobies comme les sulfato-réductrices, en présence d'un milieu aqueux oxygéné. Videla (1989) fait intervenir le biofilm dans dissolution du métal, montrant que les corrosions localisées (« pitting ») se trouvent toujours sous une colonie bactérienne (Haslay et Leclerc, 1993).

obtenues n'est avancée. Ici aussi, la traduction des résultats en vitesses de corrosion, donnent des effets très limités (<0,1mm/an) dans le cas de l'association la plus défavorable.

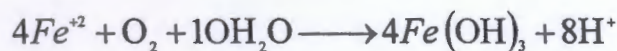
- L'effet complémentaire par contre, clairement été élucidé par Dowling et al (1990), dans l'association *Eubacterium limosum* avec des souches de *Desulfovibrio* ou *Desulfobacter* incapables de se développer en autotrophie avec CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub> seuls (ils ont besoin d'acétate comme source carbone). *Eubacterium limosum* produit par contre de l'acétate, à partir de H<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub>. La corrosion est très faible avec cette dernière bactérie seule, nulle avec les souches sulfato-réductrices étudiées.
- Intense avec une coculture d'*Eubacterium limosum* et *Desulfovibrio* ou de *Desulfobacter* (Haslay et Leclerc, 1993).



**Figure : 2** influence des associations bactériennes sur la corrosivité de l'acier doux (b= Bacillus, d= Desulfovibrio gigas, h= Hafnia alvei) (Haslay et Leclerc, 1993).

### III.4.2. La dépolarisation anodique :

Elle est aussi d'origine microbienne, et a comme responsables les bactéries du fer. Ces dernières oxydent le fer qui s'accumulent sous forme d'hydroxyde ferrique selon de la réaction :



Mais cette accumulation étant intra ou péricellulaire, elle est délocalisée, par rapport à l'anode, et permet la dépolarisation de cette dernière (Haslay et Leclerc, 1993).

Outre le cas de la corrosion des aciers due à la production d'acide sulfurique par les bactéries sulfoxydantes du genre *thiobacillus*, déjà mentionné, il faut signaler également le cas classique de la corrosion interne des tuyauteries en acier par les ferrobactéries (*Lemaître, 1998*).

Les ferrobactéries se trouvent dans des solutions contenant du fer et y accélèrent le processus d'oxydation de fer vers des ions  $Fe^{+3}$

(*Gal, 1989*)



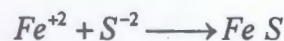
(*Elazher et al, 2008*).



Parmi ces bactéries on trouve les *Gallionella ferruginae* (*Schmidt et Kunzi, 1999*).

Ce sont des bactéries aérobies et tirent leur énergie de l'oxydation des ions ferreux en ions ferriques, ce qui se traduit par la formation d'un dépôt plus moins gélatineux (vésicule) d'hydroxyde ferrique sous le quel peut former une zone d'anaérobiose.

La dépolarisation anodique peut s'expliquer par la présence de sulfure produit par les bactéries sulfato-réductrices (BSR) et qui accélèrent la réaction anodique par la formation de sulfure de fer :



En milieu désaéré, c'est en générale la réaction cathodique qui limite la corrosion, cette dépolarisation anodique par formation de sulfure de fer ( $FeS$ ) ne peut conduire à une augmentation de la vitesse de la corrosion que si une nouvelle réaction cathodique se produit la présence d'hydrogène sulfuré, liée à l'activité des BSR.

Ainsi, dès qu'il y a formation d'un biofilm, des hétérogénéités apparaissent dans la répartition de l'oxygène à la surface du matériau et, même si le milieu est totalement aéré, il s'agit en réalité, à la surface du matériau de conditions mixtes d'aérobiose et anaérobiose partielle.

En milieu naturel, le biofilm qui se forme sur l'acier au carbone est hétérogène que soit au niveau chimique (présence des zones aérobies et anaérobies) ou microbiologique (croissance de microcolonies interdépendantes : les bactéries en utilisant l' $O_2$  rendent possible le développement de bactéries anaérobies). Ce sont donc des conditions favorables à l'établissement des cellules de concentration, en particulier d'aérations différentielles.

De plus, les mécanismes mis en évidence dans le cas d'aérobiose et d'anaérobioses strictes peuvent également s'appliquer aux zones correspondantes dans le biofilm ou créer une synergie. C'est ainsi que dans un biofilm initialement aérobie contenant des BSR attribuable à la formation de cellules galvaniques  $Fe/FeS$  (Lemaître, 1998).

#### III.4.2.1. L'intervention des sulfures :

L'addition de forte concentration de  $Fe^{+2}$  au milieu accélère la corrosion par réaction avec les ions sulfures présents, qui sont détournés de leur fonction de polarisation de l'anode, par formation probable que l'ion sulfure agit à la fois au niveau de la cathode et de l'anode, mais son effet réagit plus intense vis-à-vis de cette dernière (Haslay et Leclerc, 1993).

Selon Gognolino et Tuovinen (1984) qui suggèrent la participation d'ions soufrés métastables, de valences intermédiaires (tels les sulfites, ou les divers polythionates) identifiées dans la réduction bactérienne des sulfates ; Masuo et al (1978) ont d'ailleurs prouvé expérimentalement une augmentation très significative du courant de dépolarisation anodique, par ajouts de solution de  $H_2S$  ou de  $SO_2$  (Haslay et Leclerc, 1993).

D'autre part, un milieu de culture *Gallionella ferruginea* préconisé par Kucera et Wolfe (1957), utilise du sulfure de fer fraîchement précipité, comme source de fer ferreux. Ce qui prouve que *Gallionella ferruginea* est capable d'oxyder  $FeS$  et donc de dépolariser une anode recouverte par une pellicule de composé par formation d'hydroxyde de ferrique « délocalisé » puisque situé au niveau des pédoncules des bactéries, et non plus à la surface du métal (Haslay et Leclerc, 1993).

#### III.4.2.2. Les exopolysaccharides du biofilm :

Certain auteurs (Geesey et al, 1986) ont montré que le fait de déposer côté à côté deux glycocalix provenant de colonies bactériennes différentes, suffit à provoquer une corrosion, même en l'absence de bactéries (Haslay et Leclerc, 1993).

La même équipe (Geesey et al, 1986), à la suite d'études en spectroscopie infrarouge sur des échantillons de cuivre, estime que la présence de groupements carboxyles acides, ionisés, au sein du polysaccharide, permet la complexation des métalliques et donc la dépolarisation anodique et la corrosion (Haslay et Leclerc, 1993).

Ford et al (1988) ont montré que les polymères émis par des bactéries d'espèces diverses ont des propriétés différentes de complexation des ions métalliques (Haslay et Leclerc, 1993).

### III.4.3. Dépolarisation cathodique :

Certaines bactéries sulfato-réductrices possèdent une enzyme, appelée hydrogénase, qui oxyde l'hydrogène atomique  $H^0$  ou moléculaire  $H_2$  cathodique, en réduisant les sulfates contenus dans l'eau, selon la réaction : (*Haslay et Leclerc, 1993*).



L'hydrogène sulfuré résultant de la réaction peut s'allier aux ions ferreux produits à l'anode : (*Haslay et Leclerc, 1993*).



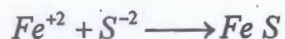
L'hydrogène participe, d'une manière ou d'une autre, à presque toutes les réactions. Lors de la réduction de sulfates par des bactéries, il y a réduction des protons à la cathode et il se forme de l'hydrogène moléculaire qui sera réincorporé ultérieurement on métabolisme (*Schmidt et Kunzi, 1999*).

En plus de ces manifestations microbiennes, l'hydrogène, en lui-même, peut affecter les matériaux et leur revêtement (*Schmidt et Kunzi, 1999*).

La caractéristique principale des réactions anaérobies des bactéries sulfato-réductrices est la formation d'hydrogène sulfuré, pendant longtemps on a supposé que la corrosion résultait d'une dépolarisation de la cathode, ce qui aurait été une conséquence de la diminution de la concentration en hydrogène à la cathode, ce processus est favorisé par l'oxydation de l'hydrogène par les hydrogénases bactériennes pour former des protons. Suite à des considérations ultérieures, on tient compte de la production de sulfure par des bactéries sulfato-réductrices : (*Schmidt et Kunzi, 1999*).



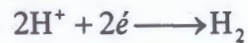
Ainsi que de la formation d'un film en sulfure de fer selon la réaction : (*Schmidt et Kunzi, 1999*).



Cette formation est comparée aux matériaux de base a un effet cathodique partielle, elle ne constitue pas une cathode durable, la vitesse de la réaction dépend en premier lieu de la formation de hydrogène par les hydrogénases bactériennes (*Schmidt et Kunzi, 1999*).



En absence d'oxygène, la vitesse de corrosion de l'acier au carbone est faible dans un milieu aqueux proche de la neutralité ou de l'alcalinité, cette vitesse est limitée par celle de la réaction cathodique (*Lemaître, 1998 et Marie et al., 2006*).

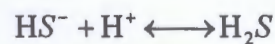
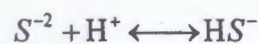


Cependant des attaques sévères ont plusieurs fois été mise en évidence en milieux désaérés, que ce soit sur des tuyauteries enterrés, des circuits de refroidissement d'eau désaéré ou des canalisations de transport de pétrole (eau+ pétrole), il s'agit de corrosion localisée dont les vitesses sont supérieures de plusieurs ordre de grandeur à celles attendues et qui atteignent le millimètre ou le dizaine de millimètres par an, il est admis que ces attaques sévères sont attribuables aux bactéries sulfato-réductrice (BSR), il faut cependant souligner que les BSR sont présents dans presque tous les environnements anaérobies, mais que ces dégradations sévères ne surviennent heureusement que dans un nombre limité de cas (*Lemaître, 1998*).

La dépolarisation cathodique par  $\text{H}_2\text{S}$  est en relation avec le pH du milieu plus souvent un pH de 7 à 8 (*Lemaître, 1998*).



L'espèce prédominante est  $\text{HS}^-$ , Il faut cependant souligner que les BSR produisent des sulfures  $\text{S}^{2-}$  qui doivent au par avant s'équilibrer suivant les réactions : (*Lemaître, 1998*).



Le tableau rassemble les différents mécanismes proposés pour expliquer ces corrosions, les quatre premières mécanismes (théorie de dépolarisation cathodique, mécanisme d'Iverson, dépolarisation anodique par  $\text{FeS}$  et cathodique par  $\text{H}_2\text{S}$ ). Permettent d'expliquer une augmentation de la corrosion généralisée en présence de BSR, mais ne tiennent pas compte du caractère localisé de cette corrosion (*Lemaître, 1998*).

La théorie de dépolarisation cathodique à été mise des 1934 par Von Wolgazen Khür et Van Dervhuyt pour expliquer le rôle des BSR dans la corrosion du fer en milieu anaérobie :

Elle repose sur la consommation de l'hydrogène, produit par la corrosion cathodique, selon la réaction enzymatique de réduction des sulfates : (Lemaître, 1998).



Elle suppose donc que les BSR ayant une hydrogénase positive sont responsables de la corrosion en anaérobiose de l'acier. Il a été démontré dans les années 70/80 que plusieurs espèces de BSR à hydrogénase négatif peuvent également conduire à des vitesses de corrosion importantes. De plus, elle est en contradiction avec de nombreuses mesures électrochimiques qui mettent en évidence une diminution du potentielle de corrosion libre de l'acier en carbone lié à une augmentation de la réaction anodique ou un chargement complet du système équilibre conduisent également à abandonner cette théorie (Lemaître, 1998)

**Tableau III.1 : les différentes formes de corrosion (Lemaître, 1998)**

Nom	Mécanisme
Théorie de la dépolarisation cathodique ,1934.	Consommation d'hydrogène cathodique par hydrogénase des BSR
Dépolarisation anodique par formation de $FeS$	Augmentation de la vitesse de la réaction anodique par la réaction $Fe^{+2} + S^{2-} \longrightarrow Fe S$
Mécanisme d'Iverson ,1966.	Production par les BSR d'un composé phosphoré volatile et corrosif.
Corrosion galvanique $Fe / FeS$ , 1973.	$FeS$ étant plus noble que $Fe$ , les zones où l'acier est à nu se corrodent plus que celles où il est recouvert par $FeS$
Dépolarisation cathodique par $H_2S$ , 1974.	Nouvelle réaction cathodique $H_2S + e \longrightarrow HS^- + H_2$
Cellule de concentration de soufre, 1980	En présence d'un biofilm, hétérogénéité à la surface du matériau dans les concentrations en espèces sulfurées non complètement réduites.
Acidification locale, 1993.	Régulation par les BSR de leur pH optimal de croissance, acide pour certaines espèces

L'oxydation de l'hydrogène (atomique  $H^0$  ou moléculaire  $H_2$ ) s'effectue par l'intermédiaire de l'hydrogénase bactérienne.

L'action de l'hydrogénase bactérienne été mise en évidence, en absence de bactéries sulfato-réductrices, sous l'action de divers micro-organismes possédant cette enzyme (Haslay et Leclerc, 1993).

- Modification des propriétés organoleptiques de l'eau (eau rouge, les odeurs nauséabondes, saveur)
- Enrichissement progressif en substances indésirables (Fer, plomb) ou Toxique.
- Support pour un développement de bactéries.
- Inactivation de désinfection (réduction des oxydants : chlores) (*Gisele, 2008*).

#### IV.2. Effet du biofilm sur la chloration des eaux d'alimentation :

Le développement d'un biofilm sur la paroi des canalisations est un phénomène inévitable, mais si le biofilm se développe trop, la qualité de l'eau ainsi que la "santé" du réseau peuvent être affectées d'où les inconvénients suivants :

- instabilité des oxydantes désinfections, le biofilm est consommateur d'oxydant et il accroît la demande en Chlore si tel est l'oxydant utilisé. C'est pour cette raison qu'ils font 3 à 4 jours pour stabiliser la concentration en Chlore libre dans un réseau qui n'a jamais été chloré.
- Chloration à des niveaux élevés, en tête de réseau, ou rechloration en cours de distribution, pour pallier cette consommation (le biofilm n'étant pas le seul consommateur de chlore en réseau, indépendamment de la consommation par l'eau elle-même).
- Formation de sous-produit organochlorés toxiques.
- « Hébergement » de bactéries pathogènes blessées mais avec reprise de l'activité métabolique
- Développement possible de bactéries dénitrifiantes (en cas d'anoxies) avec dépassement des normes pour les nitrites.
- Mise en place d'écosystèmes avec organismes "brouetteurs" qui sont souvent macroscopique et visibles à l'œil nu.
- problèmes de goût, d'odeur et de coloration ; relargage de débris biologique.
- Contamination plus générale du réseau du fait des mises en suspension, et jusqu'au robinet de l'usage (*Haslay et Leclerc, 1993*).
- Les risques de cancer liés aux sous produit chlorés ou bromés ont été montrés significatifs sur la vessie chez les consommateurs d'eau de réseau public à fort niveau de chloration résiduelle (*Houzelot, 2007*).



*CONCLUSION*

**Conclusion :**

De nombreux phénomènes chimiques, physiques ou biologiques contribuent à la dégradation des ouvrages et à la corrosion des matériaux.


Il faut donc améliorer la structure et la résistance des matériaux vis-à-vis des divers facteurs de dégradation afin d'éviter les relargages de composés indésirables comme les métaux (Fer, Plomb, Cuivre) ou de composés de résines (solvants, phénols), les biocides et procédés de nettoyage ne sont pas optimisés et les matériaux à propriétés biocides limitant les biofilms n'existent pas sur le marché.

Des innovations sont possibles pour réaliser des progrès dans les matériaux de canalisation qui seraient résistants légers, peu onéreux, à action biocide, inertes recyclables, et qui pourraient même être équipés de microcapteurs capables d'informer sur la qualité de l'eau pendant sa distribution pour donner l'alarme en cas de dégradation, le développement de l'usage des eaux conditionnées a créé un nouveau système de distribution dont la fiabilité doit être étudiée.

Concernant les problèmes de contamination des ressources ou des eaux potables, certains dangers sont connus et étudiés depuis longtemps parmi lesquels s'identifient les contaminations microbiennes d'origine fécale, les métaux lourds, les diverses classes de pesticides et leur métabolites ou les sous-produits de la désinfection. La solution, la prévention et le traitement correspondant sont existents et leur mise en œuvre n'est conditionnée que par les choix politiques et les investissements disponibles.

Pour lutte contre les phénomènes de corrosion biologique, il existe à ce jour trois moyens de protection principaux :

La protection cathodique, les produits biocides et les revêtements qui sont également appelés « protection active », on peut aussi concevoir une « protection passive » contre la corrosion biologique, il s'agit pour l'essentiel d'utiliser un matériau dont la résistance aux microorganismes présente dans le milieu industriel a été vérifiée, mais aussi d'éviter les zones confinées, les bras morts et favoriser la vidange totale des installations lors des arrêts prolongés.



*REFERENCE*  
*Bibliographique*

## Références bibliographiques

**Audisio, S. 2007.** Multimedia de la corrosion. Éd: INSA lyon laboratoire physicochimique industriel, 2, 4, 7 et 11.

**Berné, F ; Cordonnier, J. 1991.** Traitement d'eaux. Éd : technique, Paris et institut, français du pétrole, 7, 24 et 247.

**Chatelus, C ; Legall, J. 1987.** Contribution à l'étude du rôle des bactéries sulfato-réductrices. Éd: INIST, 1.

**Dabosi, F ; Béronger, G ; Baroux, B. 1994.** Corrosion localisée. Éd : les éditions de physique. 8-9.

**Dagbert, C. 2009.** Biocorrosion. Éd: TISSOT, 1.

**Degrémont, G. 1972.** Mémento technique de l'eau. Éd: copyright by dégréement, 51.

**Depont Morral, I. 2005.** Microorganismes la corrosion microbienne à la loupe, Éd: directrice industrielle corrodays, 85- 86.

**Duvivier, L. 2006.** Traitement des eaux refroidissement. Éd : Lavoisier, 1, 10, 51, 90, 117, 119 et 121.

**Elazher, N ; Gourich, B ; Vial, C ; Soulami, B et Ziyade, M. 2008.** Study of ferrous iron oxydation in moroccodrinking water in an airlift reactor, Éd: chemical Engineering and Processing, volume 47, 878- 886.

**Feugeas, F; Magnin, J; Cornet, A et Rameau, J. 1996.** Microsonde électronique et caractérisation de biofilm sur acier. Volume : 6, C4-931- C4- 937.

**Gal, J. 1989.** Etude analytique des réactions chimiques dans l'eau. Éd: technique et documentation Lavoisier, 200.

**Gathier, F. 2002.** Biofilms et qualité biologique de l'eau potable au cours de sa distribution, Éd: Mémoire de DESS Qualité et Gestion de l'eau université de Picardie Amiens, 1- 69.

**Giséle, D. 2008.** Les causes de dégradation de la qualité de l'eau du réseau. Éd : OFIS, pp : (1-52).

**Haslay, C ; Leclerc, H. 1993.** Microbiologie des eaux d'alimentation. Éd : technique et documentation Lavoisier, 418, 420- 426 et 428.

**Houzelot, J. 2007.** L'eau, Éd: MSTP, 01-110.

**Lamoureux, J. 1994.** Précis de corrosion. Éd: Beauchemin, 16, 21 et 39.

**Landolt, D. 1997.** Traitement des matériaux corrosion et chimie de surface des métaux. Éd: polytechniques et universitaire romande CH 1015 Lausanne, 1, 2, 10- 12.

**Lemaitre, C. 1998.** Biodéterioration de la matériaux. Éd: EDP sciences, 82, 91, 93 et 95.

**Marie, J. 2006.** Synthesis of green rusts byolidation of Fe (OH)<sub>2</sub>, their products of oxidation and reduction of ferric oxhydroxides.Ed: chemical engineering and processing, 434-446.

**Mercier, J ; Zembelli, G et Kurz, W. 2004,** Introduction à la science des matériaux. Éd: presses polytechniques et universitaire romandes, 437.

**Normand, B; pébér,N ;Richard,C et Wery, M. 2004.** Prévention et lutte contre la corrosion, Éd : presses polytechnique et universitaire romandes, 20, 703 et 710.

**Raharinaivo; Grimaldi, G ; Arliguie, G et chaussadent, T. 1998.** La corrosion et la protection des aciers dans le béton. Éd : presses de l'école nationale de pontis et chaussées, 96.

**Schmidt, R; Kunzi, L. 1999.** Comportement des matériaux dans des milieux biologiques, Éd: presses polytechniques et universitaire romand103, 108.

**Vrignaud, E. 1998.** Les facteurs influants .Éd: université. picardie Amiens.1-6.



<b>Noms :</b> Abdelli Belemrabet	<b>Prénoms :</b> Wassila Nawal	<b>Encadreur : M<sup>me</sup> Benhamada Wahiba</b> <b>Date de soutenance : 29/06/2010</b> <b>8 :00 à 9 :00</b>
--	--------------------------------------	--

**La Corrosion biologique : causes, microorganismes responsables et effet sur la qualité des eaux de consommation**

**Résumé :**

Les canaux de distribution des eaux de consommation peuvent être victime de la corrosion, cette dernière peut être chimique causée par l'ionisation du fer, ou biologique déclenchée par l'action des bactéries dont les sulfatoréductrices jouent le rôle le plus important.

La corrosion biologique induite en stade final à la formation de la rouille qui donne une couleur désagréable à l'eau. Pour minimiser ce problème l'utilisation des matériaux présentant une résistance vis-à-vis des microorganismes est très essentielle.

**Mots clés :** corrosion, fer, sulfatoréductrice, corrosion biologie, rouille

**Abstract**

Distribution channels of water consumption; may fall victim; to corrosion the latter may be caused by chemical ionzation iron, or biological triggered by the action of bacteria including sulfate-play the Important.

Biological induced corrosion in stage in the formation of rust, which gives a color and odor to water to minimize this problem; the use of ;arterials having strengths towards the ;microorganisms is very essential

**Key words:** corrosion, iron, bacteria including sulfate; Biological induced corrosion; rust

**الملخص:**

قنوات صرف مياه الاستهلاك قد تكون عرضة للتآكل، هذا الأخير قد يكون كيميائيا ناتجا عن تأين الحديد أو بيولوجيا ناتج عن تأثير البكتيريا حيث أن الجنس sulfatoréductrices يلعب الدور الأكثر أهمية. التآكل البيولوجي يؤدي في مرحلته الأخيرة إلى تشكيل الصدأ الذي يعطي لون ورائحة غير مقبولة للمياه.

للتقليل من هذا المشكل، استعمال قنوات ذات مقاومة للكائنات الدقيقة مهم جدا.

الكلمات المفتاحية: التآكل، الحديد، sulfatoréductrices، التآكل البيولوجي، الصدأ.