

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur

et de la Recherche Scientifique

جامعة أبو بكر بلقايد – تلمسان

UNIVERSITE DE TLEMCEEN

كلية التكنولوجيا

Faculté de Technologie



قسم الري

Département d'hydraulique

Mémoire de projet de fin d'études pour l'obtention du Diplôme de

Licence En Hydraulique :

Option : Science et technique de l'eau, (S.T.E.).

**PROTECTION DES CANALISATIONS CONTRE LA
CORROSION**

Soutenu : ...juin 2013

Par : Mr ZEDDAM ABDELHAKIM

Devant les membres du Jury :

M^r ADJIM M.

Encadreur

M^{me} ADJIM F.

Encadreur

M^r BOUCHELKIA H.

Examineur

Promotion: 2012-2013

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents

En témoignage de l'affection du respect, et en guise de votre soutien de dévouement tout au long de mes études, veuillez récolter les fruits de votre éducation. Nulles dédicaces ne peuvent exprimer mon amour pour vous

A mes frères

A mes sœurs

A la mémoire de mon oncle BOUBAKAIRE

A toute ma famille a tous mes amis (es)

ZEDDAM ABDELHAKIM

REMERCIEMENTS

Je remercie vivement Monsieur ADJIM.M et Mme.Adjim.F qui m'ont fait l'honneur de diriger ce travail, qu'il trouve ici l'expression de ma haute considération.

Je tiens à présenter ma vive gratitude à Monsieur HABI surtout pour sa sympathie

Mes remerciements vont également à Mme BOUCHALKIA.F, Mme BOUKLI, et pour toute les enseignants.

Je tiens a remercie MR BOUCHALKIA.H qui ma fais l'honneur de juger ce travail

RESUME

De nos jours la détérioration des conduites souterraines par les phénomènes de corrosion est devenue une préoccupation croissante des secteurs industriels et environnementaux .En effet la croissance annuelle du nombre de bris surgissant dans les réseaux de distributions énormes de réhabilitation qui en résultent sont à l'origine de la recherche de technique innovatrices en termes d'évaluation et de prévention contre l'avarie de la corrosion.la dégradation des conduites d'eau a reçu une grande attention de la part des ingénieurs des compagnies de distribution d'eau et aussi des producteur

Mot clé :

Conduites souterraines

La corrosion

La conduite

Les réseaux de distribution

La dégradation

ABSTRACT

Keyword:

ملخص

الكلمات المفتاحية :

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Pile galvanique [5].	6
Figure 2: $E=f(\text{pH})$ du système Fe H ₂ O [8]	9
Figure 3: Corrosion par piqûres	13
Figure 4: corrosion intergranulaire [9].	14
Figure 5: Corrosion par fatigue	16
Figure 6: Corrosion – érosion [9]	17
Figure 7: Pile fer (cathode), zinc ou magnésium (anode réactive)[15]	22
Figure 8: protection cathodique de canalisation par soutirage de courant[15]	22
Figure 9: Schéma de principe du drainage direct [15].	24

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	I
REMERCIEMENTS	II
RESUME	III
ABSTRACT	IV
ملخص	V
LISTE DES FIGURES	VI
TABLE DES MATIERES	VII
INTRODUCTION	1
1. ELEMENTS DE BASE DE LA CORROSION	3
1.1. Définition	3
1.2. Environnements corrosifs	3
1.3. Mécanismes électrochimiques	3
1.3.1. Réaction chimique et thermodynamique	3
1.3.2. Phénomènes d'oxydo-réduction	5
1.3.3. Electrode de référence	5
1.3.4. Anode et cathode	6
1.3.5. Potentiel d'une électrode et possibilité de corrosion	7
1.4. Diagrammes de Pourbaix	7
2. TYPES DE CORROSION	10
2.1. <i>Corrosion uniforme ou généralisée</i>	10

2.2.	<i>Corrosion galvanique</i>	11
2.3.	<i>Corrosion par crevasse</i>	12
2.4.	<i>Corrosion par piqûres</i>	13
2.5.	<i>Corrosion intergranulaire</i>	14
2.5.1.	Aspect métallurgie	14
2.5.2.	Aciers inoxydables austénitiques	14
2.5.3.	Prévention	15
2.6.	Corrosion sous contrainte	15
2.7.	Corrosion par fatigue	16
2.8.	Corrosion – érosion	16
3.	PROTECTION DES CANALISATIONS DES EAUX	18
3.1.	Protection externe	18
3.1.1.	Protections chimiques	18
3.1.1.1.	Revêtement par goudrons et vernis aux brais de Houille.	18
3.1.1.2.	Revêtement à base de zinc (par galvanisation)	18
3.1.1.3.	Revêtement épais	18
3.1.1.4.	Revêtement par bande	19
3.1.1.5.	Revêtement plastique	20
3.1.2.	Protection active	20
3.1.2.1.	Les anodes réactives	20
3.1.2.2.	Soutirage de courant	21
3.1.2.3.	Drainage de courant	22
3.2.	<i>Protection des canalisations contre la corrosion interne</i>	24
3.2.1.	Processus et conditions de formation de la couche protectrice de TILLMANS.	25
1.2.1.1-	processus de formation de la couche de TILLMANS	25
1.2.1.2-	condition de formation de cette couche protectrice de TILLMANS	26
1.2.1.3-	L'équilibre calco-carbonique et les notions d'agressivité et de corrosion	27
3.2.2.	Neutralisation de l'agressivité	29
1.2.2.1-	Elimination du CO ₂ (agressif) par aération	29
1.2.2.2-	Addition de réactifs alcalins	29
1.2.2.3-	Neutralisation par filtration sur neutralité	30

1.2.2.4- Conditionnement de l'eau avec des produits filmogène	30
3.3. Les système de contrôle de la corrosion dans les cas des installations de distribution d'eau [17]	31
3.3.1. Diagnostic et contrôle de la corrosion	32
3.3.1.1. Diagnostic de la corrosion	32
3.3.1.2. Evaluation de la vitesse de corrosion	32
CONCLUSION	35
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	36

INTRODUCTION

La durabilité des canalisations des eaux dépend de leur comportement face aux conditions climatiques et environnementales qui existent dans les milieux où elles sont installées. Ces installations sont souvent exposées à de nombreuses agressions physico-chimiques auxquelles elles doivent résister afin de remplir de façon satisfaisante, pendant leur période d'utilisation, toutes les fonctions pour lesquelles elles ont été conçues. Lorsqu'elles ne peuvent plus résister à ces agressions, des désordres, dont le plus fréquent est la corrosion, apparaissent dans les conduites des eaux. Ces désordres sont généralement dus à des défauts de conception et/ou à une mauvaise mise en œuvre; ils hypothèquent la durabilité, la résistance et la stabilité de l'ensemble des installations et peuvent entraîner des dégradations chaotiques.

Bien conçues et mises en œuvre suivant les règles de l'art, les conduites offrent une protection à la fois physique et chimique. L'enrobage assure la protection physique en jouant un rôle de barrière vis-à-vis de l'environnement. Sa qualité et son épaisseur, sont des facteurs essentiels à la bonne tenue des conduites face à la corrosion.

La corrosion pourrait apparaître avec comme conséquences la réduction des épaisseurs des conduites ce qui peut entraîner des fissurations qui accélèreront le processus de corrosion en facilitant la diffusion de l'oxygène et des espèces corrosives.

Il existe actuellement plusieurs méthodes de protection ou de réparation. Celles-ci agissent directement au niveau de l'acier (revêtements organiques ou métalliques des conduites, inhibiteurs de corrosion et protection cathodique).

Des études faites à travers le monde montrent que la corrosion est responsable de la dégradation de 75% des ouvrages et absorbe la plus grande partie des ressources financières destinées aux activités d'entretien et de renouvellement des installations ; ceci est la preuve que ce phénomène doit être pris très au sérieux. De nombreuses installations dégradées par la corrosion exigent de nouvelles interventions peu de temps seulement après qu'elles aient été réparées. Ceci nous amène à penser que la corrosion qui fait tant de mal à nos installations n'est pas traitée avec un maximum d'attention. Cela peut résulter du fait que beaucoup d'ingénieurs et de techniciens ne procèdent pas au préalable à des investigations sérieuses pour évaluer l'ampleur des dégâts dans les installations avant d'engager des travaux de réparation, soit par leur méconnaissance du phénomène de la corrosion et de la démarche à

suivre pour résoudre les problèmes de corrosion, soit alors qu'ils ne se fient uniquement qu'à l'apparition des dégradations visuelles sur l'ouvrage telles que : les tâches de rouille, les infiltrations d'eau. Les conséquences qui en découlent sont : la non détection des dégradations cachées qui vont se propager avec le temps, le risque de baser les travaux sur un concept erroné, la mauvaise évaluation du coût des réparations. Compte tenu de l'ampleur des dégradations, qui peuvent être provoquées par la corrosion et qui sont susceptibles d'affecter gravement le bon fonctionnement des installations et des infrastructures relatives à la gestion et la protection des eaux. J'ai décidé de faire une étude bibliographique dans le cadre de mon mémoire de fin d'étude pour améliorer et enrichir ma formation de base. L'objectif principal de cette étude consiste à :

- expliquer les mécanismes de la corrosion,
- présenter les différents types de corrosion.
- donner des mesures préventives pour empêcher ou retarder le plus longtemps possible la corrosion conformément à l'adage qui dit que : « prévenir vaut mieux que guérir »

1. ELEMENTS DE BASE DE LA CORROSION

1.1. Définition

La corrosion est l'attaque destructive d'un métal par réaction chimique ou électrochimique avec son environnement. Les propriétés mécaniques des matériaux sont altérées. Par contre, la détérioration par des moyens physiques n'est pas appelée corrosion, mais suivant le cas : Erosion - Usure - Grippage - etc. [1].

1.2. Environnements corrosifs

Les environnements corrosifs rencontrés dans les installations pétrolières sont principalement :

- a) les gaz de combustion (SO_2 , SO_3 , CO , CO_2 , O_2 + sels de vanadium) à haute et basse température dans les fours et chaudières.
- b) les acides naphthéniques et les acides polythioniques.
- c) l'hydrogène et l' H_2S sec ou humide à haute et basse température.
- d) l'eau, l'air, l'humidité, les sols, les vapeurs qui se condensent.
- e) les acides minéraux (ClH , SO_4H_2 , etc.) et les bases ($NaOH$, NH_4OH , etc.).
- f) l'eau de mer ($ClNa$) et l'eau recirculée (bactéries) [2].

Pour les installations hydrauliques, les milieux corrosifs les plus fréquemment rencontrés sont l'eau, l'humidité, les sols, les courants vagabonds aussi bien que certains produits acides.

1.3. Mécanismes électrochimiques

1.3.1. Réaction chimique et thermodynamique [3]

La plupart des métaux existent dans la nature sous forme de composés (oxydes, sulfures, etc. ...). C'est leur état thermodynamique stable.

Le passage de l'état de minerai à celui de métal pour article de consommation courante, exige un apport de chaleur considérable (haut fourneau, etc. ...).

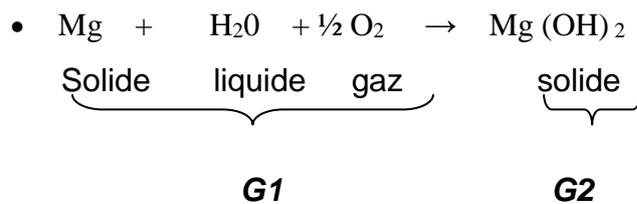
Ce métal exposé à l'environnement naturel reviendra après corrosion à l'état de composé (oxyde, sulfure, ...).

Les métaux comme l'or, qui existent quelquefois à l'état pur dans la nature ont une excellente résistance à la corrosion dans un environnement naturel.

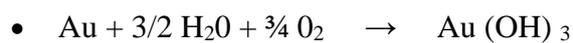
La corrosion ne peut se produire que si les produits de corrosion sont plus stables que le métal et le milieu environnant. Plus précisément les lois de la thermodynamique disent qu'une corrosion ne se développe que si le système formé par le métal et le milieu environnant possède une enthalpie libre positive par rapport aux produits de corrosion.

La thermodynamique permet de calculer cette enthalpie libre dans le cas de métaux purs placés dans des conditions bien définies et par suite de prévoir leur comportement.

Exemples



$$\Delta G = G1 - G2 = -142 \text{ kcal/Mole}$$



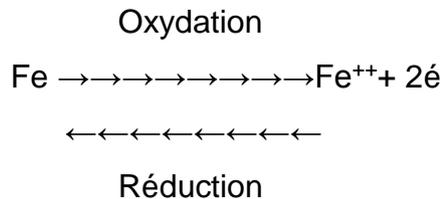
$$\Delta G = 16 \text{ kcal/Mole} : \text{L'or ne se corrodera pas.}$$

où **G** est l'enthalpie libre appelée aussi « potentiel thermodynamique ». ΔG , est fonction de la température et de la pression (peut changer de signe), donne la direction de la réaction, mais ne donne aucune indication sur la vitesse de corrosion.

1.3.2. Phénomènes d'oxydo-réduction [4]

On appelle communément "oxydation" la fixation de l'oxygène sur un système chimique. Cette notion est maintenant généralisée : L'OXYDATION correspond à une perte d'électrons et la REDUCTION correspond à un gain d'électrons.

Considérons la réaction équilibrée suivante :



- ❑ Un OXYDANT est un système qui peut capter des électrons.
 - Exemple : Oxygène dans l'eau : $\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4\text{e} \rightarrow 4 \text{OH}^-$

- ❑ Un REDUCTEUR est un système qui peut libérer des électrons.
 - Exemple : Sodium dans l'eau : $\text{Na} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{e}$
 - Comportement d'une tige de métal plongée dans l'eau pure : L'électrolyte est de l'eau pure parfaitement désaérée. Des atomes de métal perdent des électrons et entrent en solution. L'équilibre est rompu à la surface du métal qui contient un excès d'électrons et est devenu négatif, tandis qu'il se forme dans la solution au voisinage de la surface métallique un nuage d'ions positifs. Les forces électrostatiques d'attraction maintiennent les ions positifs et les électrons au voisinage immédiat de la surface métallique. Il s'établit une couche double et un champ électrique constant. On a une différence de potentiel entre le métal et la solution, au voisinage immédiat du métal - c'est le "potentiel d'électrode".

1.3.3. Electrode de référence [5]

La mesure directe serait très délicate. On préfère mesurer la différence de potentiel par rapport à une électrode à hydrogène dans des conditions "standards" dont le potentiel est pris égal à 0 par convention, et avec

Pression hydrogène = 1 bar

Température = 25°C

Activité de l'ion H⁺ = 1

En pratique on utilise des électrodes de référence, moins délicates à manipuler - calomel saturé (Cu/SO₄Cu)

1.3.4. Anode et cathode [5]

Un système composé de 2 électrodes différentes plongées dans un électrolyte est appelé "pile galvanique" en souvenir des travaux de Luigi GALVANI (en 1791).

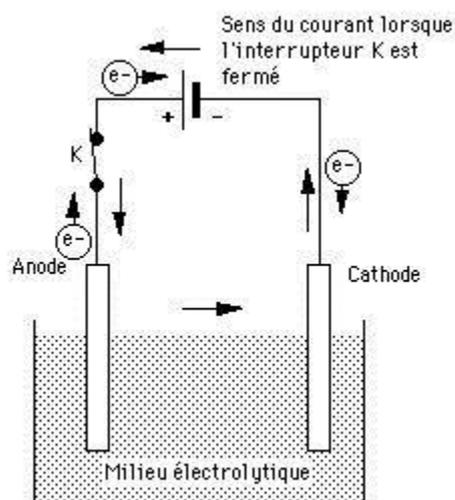
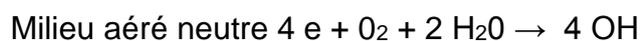
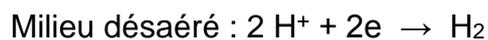


Figure 1: Pile galvanique [5].

Si l'on court-circuite une telle pile – un courant s'écoule de l'électrode positive jusqu'à l'électrode négative (sens conventionnel du courant).

Au sein de l'électrolyte le courant est transporté à la fois par des porteurs positifs et négatifs –les ions - Ce sont des atomes ou groupes d'atomes chargés électriquement.

- SUR UNE CATHODE, la réaction qui se produit est REDUCTION du type





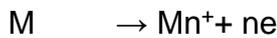
- SUR UNE ANODE, la réaction qui se produit est une OXYDATION du type



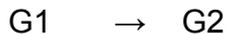
1.3.5. Potentiel d'une électrode et possibilité de corrosion [6]

C'est un métal M plongé dans une solution ; les lois de la thermodynamique nous disent que

$$\Delta G = - nFE$$



$$\Delta G = G_2 - G_1$$



NERNST a trouvé, pour le cas particulier d'un métal plongé dans un électrolyte la relation suivante :

$$E = E_0 + (0.059/n) \cdot \log [\text{M}^{n+}] \quad \text{en volts}$$

Il n'y a possibilité de corrosion, c'est-à-dire progression de la réaction dans la direction 1 qui si $\Delta G < 0$ C'est-à-dire $E > 0$

Pour une réaction générale du type $\text{Red} \rightleftharpoons \text{Ox} + ne$

$$E = E_0 + (RT/nF) \cdot \ln [a.\text{Ox}/a.\text{Red}]$$

1.4. Diagrammes de Pourbaix [8]

Dans la figure 02, le comportement électrochimique des métaux dans l'eau a été présenté sous forme de diagramme exprimant le potentiel d'électrode en fonction du pH. On peut ainsi voir d'un seul coup d'œil dans quelle condition on aura :

- corrosion
- immunité
- passivité

Mais on n'aura aucun renseignement

- sur la vitesse de corrosion
- sur l'influence d'impuretés ou d'ions en solution dans l'eau
- sur l'efficacité des films passifs en présence de Cl⁻, SO₄²⁻, etc.

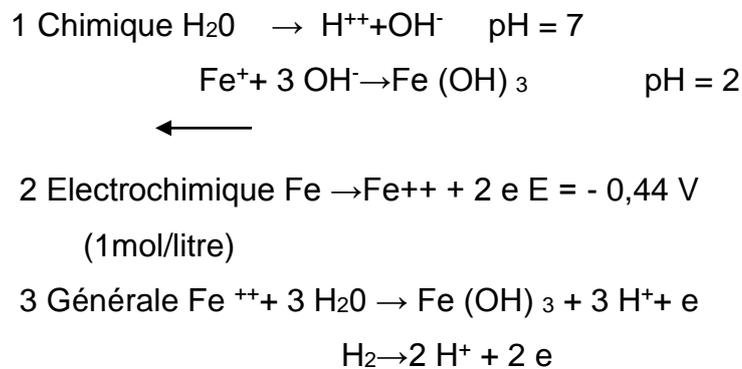
Le domaine d'immunité correspond à une teneur de 10⁻⁰⁶ mol/litre en ions ferreux Fe⁺⁺.

On voit sur le diagramme que l'on peut s'échapper du domaine de corrosion de 3 façons différentes

- en abaissant E au-dessous de - 0,62 V (protection cathodique)
- en augmentant le pH - (neutralisation des eaux acides)
- en ajoutant des oxydants (qui élèvent E) (inhibiteurs)

Le domaine de passivation correspond à la précipitation des hydroxydes mais le précipité ne forme pas toujours un film protecteur. (Il doit avoir pour cela des propriétés physico-chimiques convenables).

On aperçoit nettement sur ce diagramme, la différence entre une réaction chimique et une réaction électrochimique.



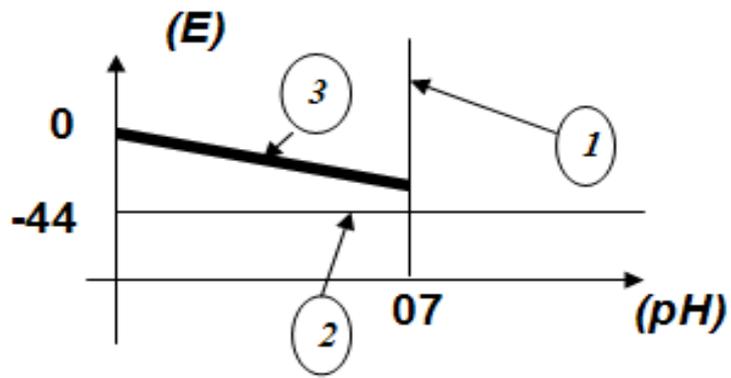


Figure 2: $E=f(pH)$ du système Fe H₂O [8]

2. TYPES DE CORROSION

2.1. Corrosion uniforme ou généralisée [9]

C'est la forme la plus commune caractérisée par une réaction chimique ou électrochimique qui se produit uniformément sur toute la surface considérée. Exemple :

- acier ordinaire ou Zinc immergé dans une solution acide sulfurique diluée.
- acier ordinaire en présence d'air humide
- acier ordinaire en eau de mer.

La résistance à la corrosion peut être exprimée comme étant excellente, bonne, satisfaisante ou non satisfaisante (voir tableau 1) en fonction du taux de corrosion qui s'exprime, généralement, en millimètres par an (mm/an). Le taux de corrosion est estimé par la formule suivante :

$$\text{Taux de corrosion} = \frac{9742 Mp}{S \cdot \rho \cdot t} \quad [\text{mm/an}]$$

où

S : surface du métal [mm²].

ρ : densité,

t : temps en heure,

Mp : Masse perdue pendant le temps t .

Tableau 1: Classification de la tenue à la corrosion [9]

TAUX DE CORROSION [mm/an]	TENUE
<0,05	Excellente
0,05 à 0,130	Bonne
0,130 à 1,25	Satisfaisante
>1,25	Non satisfaisante

La prévention contre ce type de corrosion, qui est en fait très facile à mesurer, peut être assurée en :

- a) inspectant régulièrement les équipements et installations ce qui permet d'éviter les catastrophes,
- b) prévoyant une surépaisseur de corrosion dès la conception de du système,
- c) utilisant des revêtements (peintures, plaquages, etc. ...), des inhibiteurs ou la protection cathodique.

2.2. **Corrosion galvanique [9]**

Entre deux métaux dissemblables plongés dans un électrolyte, existe une différence de potentiel. Si ces métaux sont en contact (c'est-à-dire connectés électriquement), un courant électrique s'établit. Le métal le moins noble (qui a un potentiel de dissolution moins élevé dans la série galvanique) joue le rôle d'anode et se corrode. C'est ce qui se passe dans une pile sèche avec le zinc. La loi de Faraday énonce que:

$$\text{Perte de métal en (g)} = \frac{I \cdot t \cdot M}{F \cdot z}$$

où

t : temps en secondes,

I : courant en Ampères,

z : valence du métal,

M : masse molaire en grammes,

F : nombre de Faraday = 96485 C mol^{-1}

La corrosion d'origine galvanique se situe toujours au voisinage de la jonction des 2 métaux. Exemples de piles :

- hélice bronze connectée à coque en acier dans eau de mer
- canalisation acier oxydée avec canalisation masse enterrées.
- métal écroui en contact avec métal non écroui
- zone de soudure thermiquement affectée par la chaleur
- assemblage à brides réunissant des métaux différents
- boîtes de distribution des échangeurs et tubes laiton sur eau de mer.

La corrosion galvanique peut être évitée ou minimisée en respectant un certain nombre de mesures, à savoir :

- a) Sélectionnez les métaux / alliages aussi rapprochés que possible dans la série galvanique,
- b) Éviter l'utilisation de rapports de surface défavorables ($S_{\text{Anode}}/S_{\text{Cathode}} < 1$).
- c) Isoler les métaux dissemblables dans la mesure du possible
- d) Appliquer des revêtements avec prudence. Peindre la cathode (ou les deux) et de garder les revêtements en bon état sur l'anode.
- e) Évitez les raccords filetés pour des matériaux très éloignés dans la série galvanique.

2.3. Corrosion par crevasse [9]

Ce type de corrosion est généralement associé à la présence de petits volumes de solution stagnante dans les trous, sous les dépôts, à l'interface des brides et joints, à l'interface d'un objet tombé dans le fond d'un récipient. C'est une attaque électrochimique par "aération différentielle" qui se prolonge par une ou des réactions secondaires.

La prévention contre ce type de corrosion peut être assurée en respectant les points suivants :

- a) Les assemblages soudés sont préférables aux assemblages boulonnés. Il faut exiger pour les soudures une pénétration complète.
- b) Refermer les crevasses lorsque c'est possible par soudage.
- c) Concevoir des récipients facilement nettoyables et lavables de façon à empêcher tout dépôt de se former.
- d) Inspecter et enlever les dépôts régulièrement.
- e) Prévoir l'enlèvement des solides en suspension dès le début du procédé.
- f) Utiliser des joints qui n'absorbent pas l'humidité.

2.4. Corrosion par piqûres [9]

L'attaque se limite à des trous, très localisés, pouvant progresser très rapidement en profondeur alors que le reste de la surface reste indemne. L'installation peut être perforée en quelques heures avec une perte en poids négligeable. C'est la forme de corrosion la plus insidieuse. Le mécanisme est assez semblable à celui de la corrosion par crevasse (figure 3). La différence réside surtout dans l'auto-propagation par gravité et l'auto stimulation par Cl^- et aussi le fait qu'à l'intérieur de la crevasse le métal n'est pas protégé par le film passif qui n'a pas le temps de se former. La prévention peut être assurée en respectant les points suivants :

- a) l'utilisation des méthodes déjà retenues pour la corrosion par crevasse sont utilisables.
- b) l'augmentation de la vitesse de circulation des fluides.
- c) l'affinement l'état de surface.
- d) en utilisant l'acier ordinaire qui résiste mieux au pitting que l'acier inoxydable dans certains milieux (eau de mer par exemple)
- e) l'addition de 2 % de Mo en 18/8 améliore considérablement la résistance au pitting.
- f) les matériaux qui présentent du pitting lors des essais (même très peu) doivent être éliminés.
- g) les inhibiteurs ne sont utilisables que s'ils sont efficaces à 100% ; dans le cas contraire ils peuvent renforcer le pitting.
- h) la protection cathodique au-dessous d'un potentiel critique de pitting peut être intéressante.



Figure 3: Corrosion par piqûres

2.5. Corrosion intergranulaire

2.5.1. Aspect métallurgie [9]

Le métal en fusion versé dans une lingotière forme en se refroidissant des cristaux composés d'atomes, qui se rangent suivant des dendrites. Entre chaque cristal viennent s'interposer des atomes non rangés accompagnés d'atomes d'impuretés qui vont constituer les joints de grain. Les joints de grain sont chimiquement plus actifs et par conséquent sont attaqués plus rapidement que les faces des grains lorsqu'ils sont exposés dans un milieu corrosif. Dans certaines conditions les joints de grain sont le siège d'une corrosion localisée très importante alors que le reste du matériau n'est pas attaqué. L'alliage se désagrège et perd toutes ses propriétés mécaniques (la charge à la rupture et l'allongement décroissent sensiblement). La corrosion intergranulaire est due à la présence d'impuretés dans le joint et à l'enrichissement ou l'épuisement local de l'un des constituants dans la zone proche du joint (voir figure 4).

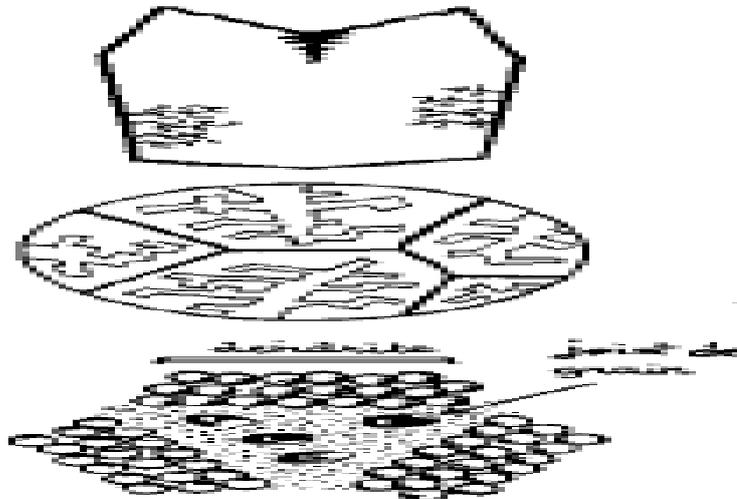


Figure 4: corrosion intergranulaire [9].

2.5.2. Aciers inoxydables austénitiques [9]

L'appauvrissement en Cr près du joint traduit par la corrosion intergranulaire.

Ce phénomène est sensible à la chaleur. La susceptibilité à l'attaque intergranulaire résulte d'un traitement thermique (par exemple soudage ou relaxation des contraintes) et peut être corrigé par un autre traitement thermique.

La zone de susceptibilité thermique se situe entre 400 et 850°C.

Le soudage électrique par point qui est suivi d'un refroidissement très rapide ne présente pas de susceptibilité thermique pour les austénitiques par contre le soudage à l'arc présente à quelques millimètres de la soudure une zone thermiquement affectée par la chaleur susceptible de l'attaque intergranulaire.

Dans cette zone comprise entre 420 et 850°C les carbures de Cr précipite hors de la matrice si la teneur en carbone est supérieure à 0,02 %. Les grains de la zone appauvrie en chrome ne résistent pas à certains environnements corrosifs et se désagrègent. Frappée avec un marteau, une zone attaquée rend un son sourd à l'opposé du son métallique d'une pièce saine.

2.5.3. Prévention

1 - Traitement thermique à 1100°C suivi d'une trempe rapide. A cette température le carbure de chrome est dissous et un alliage plus homogène est obtenu.

2 - Stabilisation de l'acier par des éléments ayant une plus grande affinité pour le C que le Cr (Niobium, Ta, Titane) 3 - Abaissement de la teneur en C (on a moins de carbures de Cr).

2.6. Corrosion sous contrainte [9]

Les actions simultanées de contraintes et d'un milieu corrosif produisent des fissurations dans un métal. Les fissures sont intergranulaires ou transgranulaires et se présentent souvent sous forme ramifiée. La prévention peut être réalisée en respectant les points suivants :

1- Contraintes résiduelles. Augmentation de la section ou réduction des charges.

2 - Elimination de l'élément corrosif dans l'environnement.

3 - Changer l'alliage. Par exemple utiliser l'Inconel (davantage de Ni) quand le 304 n'est plus satisfaisant. L'acier ordinaire, bien que moins résistant à la corrosion généralisée que l'acier inoxydable, est plus résistant que celui-ci à la corrosion sous contrainte.

4 - La protection cathodique est efficace quand la fissure se propage par dissolution d'ions métalliques, mais il faut s'assurer qu'il n'y a pas dégagement d'hydrogène, car l'effet de la protection cathodique s'inverserait et deviendrait néfaste.

5 - Utiliser des inhibiteurs (avec les réserves déjà précisées antérieurement, c'est-à-dire utilisation suffisante d'inhibiteur pour s'assurer qu'il n'y a pas possibilité de corrosion localisée ou piqûres).

6 - Mise en compression de la surface par sablage.

2.7. Corrosion par fatigue [9]

La fatigue représente la tendance du métal à se fracturer sous l'action répétée d'un cycle de contraintes. La fissuration apparaît normalement au-dessous de la limite élastique (fig. 5).

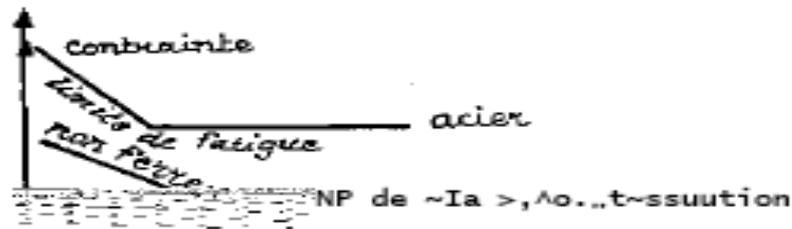


Figure 5: Corrosion par fatigue

La "corrosion sous fatigue" est une réduction de la résistance à la fatigue due à la présence d'un milieu corrosif. En eau de mer, les inox austénitiques ne conservent que 75 % de leur résistance à la fatigue. Les fissures sont généralement transgranulaires ; elles prennent naissance grâce aux piqûres.

Comme prévention, on retrouve les mêmes remèdes que pour la corrosion sous contrainte. On peut aussi utiliser un revêtement Zn, Cr, Ni, Cu, par électrodéposition.

2.8. Corrosion – érosion

Phénomène produit par le mouvement relatif d'un fluide corrosif et d'une surface métallique. L'aspect mécanique du mouvement est important ; le frottement et l'usure peuvent intervenir. On a apparition de sillons, surfaces ondulées, trous, ... ayant un aspect directionnel caractéristique [9].

Les phénomènes de turbulence, collision, couplage galvanique, peuvent contribuer à détruire les films protecteurs et entraîner des vitesses de corrosion très élevées sur des matériaux par ailleurs très résistants à l'état statique (voir figure 6).



Figure 6: Corrosion – erosion [9]

Pour la prévention on peut :

- a) Choisir des matériaux résistants (grande dureté)
- b) Procéder à une meilleure conception (forme-géométrie. Agrandissement de diamètre, renforcement de l'épaisseur des zones susceptibles, etc ...).
- c) Réaliser des revêtements

3. PROTECTION DES CANALISATIONS DES EAUX

3.1. Protection externe

Il est à rappeler qu'une canalisation enterrée véhiculant un fluide se trouve au contact de milieux corrosif tant par sa paroi intérieure qu'extérieure. Le rôle du revêtement est d'assurer une protection efficace et de longue durée de ces parois. Nous ne traitons dans ce chapitre que des revêtements constituant une barrière étanche entre les parois extérieures de la canalisation et le milieu agressif.

3.1.1. Protections chimiques [11]

Les produits les plus utilisés pour la réalisation des revêtements sont :

- les dérivés de goudrons de houille.
- les dérivés de pétrole.

3.1.1.1. Revêtement par goudrons et vernis aux brais de Houille.

Les goudrons utilisés dans ce cas sont obtenus par distillation partielle des goudrons bruts ou par plastification du brai de houille.

Les vernis résultent de la dissolution dans un solvant de dérivés à base de brai de houille. La couche de protection est de faible épaisseur (de l'ordre de 200 microns) mais uniforme et étanche à l'eau, résistante aux chocs et aux manutentions normales.

Du point de vue anticorrosion, ces vêtements conviennent pour les tuyaux en fonte.

3.1.1.2. Revêtement a base de zinc (par galvanisation)

Ce type de revêtement ne se pratique que sur des tubes d'acier et parfois sur de raccord. L'épaisseur de zinc déposé par ce procédé ou trempé a chaud est en généralement de l'ordre de 70 microns. Il est généralement déconseillé d'enterrer les tubes galvanisés notamment dans le cas de terrain humides, ou argileux. Ils ne peuvent être utilisés durablement que dans un sol bien aéré et sec.

3.1.1.3. Revêtement épais

Les revêtements épais sont réalisés à l'aide des liants hydrocarbonés dérivés des goudrons de houille ou des bitumes de pétrole. Ils sont souvent désignés sous le nom d'email

bitumineux (épaisseur de 2 à 4 mm). Un revêtement comprend normalement les différentes parties ci-après :

- Une couche primaire : application sur la surface de la conduite. Elle est destinée à assurer l'adhérence du revêtement.
- La couche de protection proprement dite : elle est constituée par le liant hydrocarboné appliqué à l'état liquide après fusion.
- La protection extérieure : suivant le cas, celle-ci est constituée soit d'une couche complètement de feutre d'amiante soit d'un badigeon blanc pour protéger le revêtement du rayonnement solaire.

3.1.1.4. Revêtement par bande [12]

Les bandes constituent un revêtement préfabriqué que l'on enroule à froid autour de la canalisation. On distingue :

- Les bandes adhésives minces : constituées par un support généralement en chlorure de polyvinyle, polyéthylène ou polyester. D'une épaisseur de 0,3 à 5/10 de mm, recourent sur une de ses faces d'une fine couche d'une substance qui lui permet, à la température ambiante, d'adhérer énergiquement à des substances variées sous l'effet d'une pression minimale. Cette substance, couramment appelée adhésif est à base d'élastomère, de matière plastique ou de résines synthétiques.
- Les bandes adhésives épaisses : constituées par un support en matière plastique (polyéthylène) ou en textile (verre, coton) recourent sur ses deux faces ou sur une seule, d'une masse isolante en épaisseur d'au moins 0,35 mm et pouvant atteindre 03 mm. La masse adhésive utilisée est à base de produits dérivés du pétrole ou dérivés de houille.
- Les bandes auto-adhésives : constituées uniquement par un ruban en élastomères (caoutchouc butyle par exemple) qui a la propriété d'adhérer parfaitement à lui-même à la température ambiante, sous l'effet d'une contrainte. On peut les employer pour la protection des canalisations souterraines.

3.1.1.5. Revêtement plastique [13]

Il existe divers techniques de revêtements plastifiés, notamment :

- a) Revêtement par manchage : appliqué sur tuyau en fonte, ou en file autour de celui-ci une manche en polyéthylène, véritable tube mince extrudé, d'une épaisseur de l'ordre de 150 à 200 microns.
- b) Revêtement par plastique extrudé : consiste à entourer le tube métallique d'une gaine obtenue par extrusion. Un enduit adhésif est placé entre la gaine et le tube afin de réaliser une adhésion parfaite de la gaine.
- c) Revêtement par poudre plastique : ce type de revêtement met en œuvre les matériaux plastiques sous forme de poudre très fine. Ces matériaux peuvent être le polyéthylène, le chlorure de polyvinyle, les polyamides ou des résines époxy. (plusieurs procédés peuvent être utilisés pour la mise en œuvre, à savoir :
 - La projection au pistolet. La poudre est véhiculée dans un courant d'air avec passage à travers une flamme. C'est la plastification
 - La projection au pistolet électrostatique sur des surfaces chaudes ou froides. Il est, en général, nécessaire de procéder ensuite à un étuvage du revêtement.
 - Par trempage en bain fluidisé, procédé qui consiste à plonger les pièces chaudes dans la poudre maintenue en suspension par un léger courant d'air. Ces méthodes sont surtout utilisées pour la protection des pièces spéciales.

3.1.2. Protection active

3.1.2.1. Les anodes réactives [14]

En plongeant deux métaux de nature différente dans un électrolyte il s'effectue une circulation de courant allant dans le câble de liaison extérieure, du métal le plus électropositif vers le métal le plus électronégatif. Le circuit se referme dans l'électrolyte. L'anode est dans ce cas le métal au potentiel le plus électronégatif.

La protection par anode réactive consiste à réaliser une pile dont le fer sera la cathode. La classification des métaux indique qu'il est possible d'associer le fer avec trois métaux qui seront anodiques par rapport au fer, le zinc, l'aluminium, le magnésium. Pratiquement on n'utilise que le zinc et le magnésium.

Les anodes réactives (ou sacrificielles) s'utilisent dans de nombreux cas, en particulier lorsque la zone à protéger est relativement localisée ou lorsque le réseau peu étendu ne justifie pas la mise en place d'un poste de soutirage.

Les anodes réactives commercialisées sont à base de zinc, d'aluminium et de magnésium. Cependant, les anodes en aluminium ne sont pratiquement plus employées pour la protection cathodique d'ouvrages internes, voire la figure 07.

3.1.2.2. Soutirage de courant [15]

L'abaissement de potentiel des canalisations à la valeur portant le fer en phase d'immunité est obtenu en connectant la conduite en un ou plusieurs de ses points, au pôle négatif d'une source électrique de courant continu.

Généralement, on ne dispose pas de source à courant continu il est donc nécessaire de transformer le courant alternatif du secteur basse tension en courant continu, à l'aide d'appareils dits « redresseurs ». La borne (+) de sortie du redresseur est reliée à une masse métallique enterrée nommée : anode, prise de terre, ou masse sacrifiée et sur laquelle la corrosion sera reportée. La borne (-) correspondante est reliée au réseau de conduits à protéger. Le courant continu issu du redresseur se répartit dans le sol par la prise de terre, gagne le réseau et pénètre dans la canalisation par sa surface latérale, chemine longitudinalement dans les conduites jusqu'à la connexion au pôle négatif du redresseur. Il en résulte un abaissement de potentiel dans les conduites. Cet abaissement de potentiel est variable et croît depuis les extrémités de la canalisation les plus éloignées de la connexion au (-) du redresseur pour être maximum au droit de celle-ci, il doit être suffisant pour que le critère de protection soit surtout atteint et maintenu (seuil minimale du potentiel de -850 mV par rapport à l'électrode de sulfates et de cuivre), voire la figure 08.

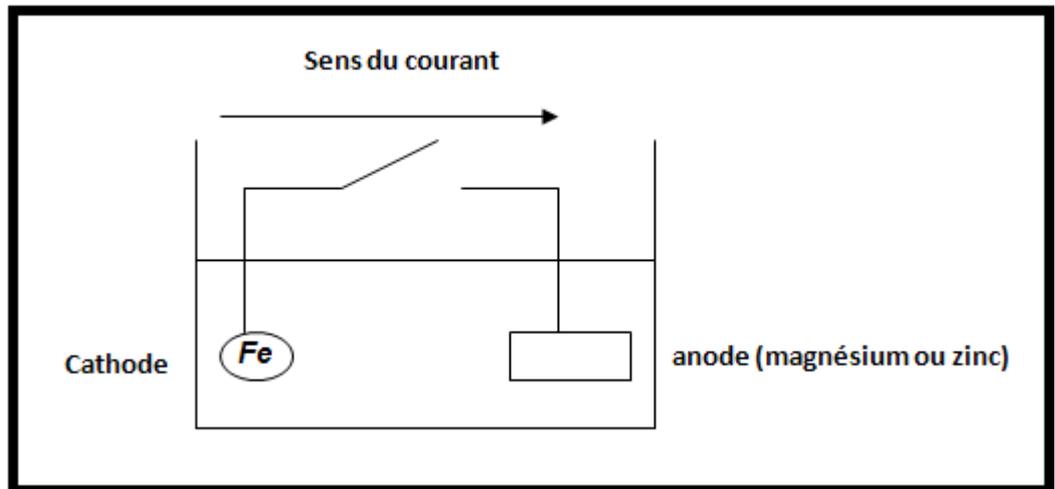


Figure 7: Pile fer (cathode), zinc ou magnésium (anode réactive)[15]

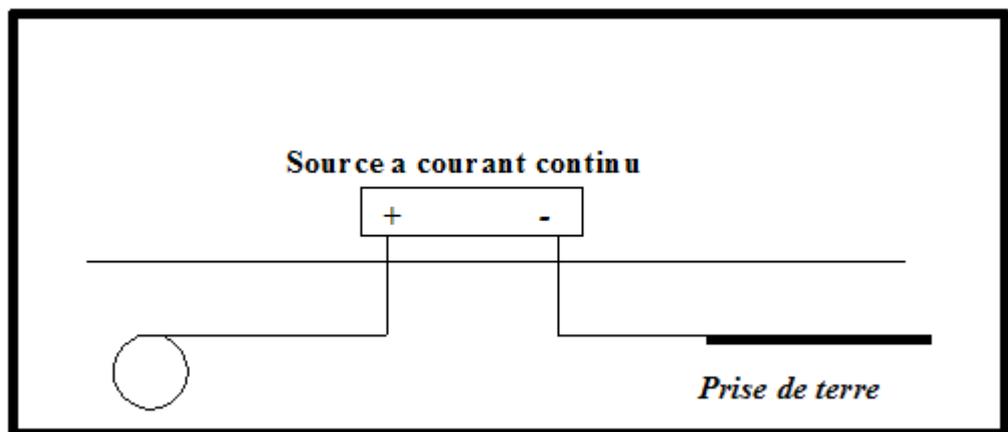


Figure 8: protection cathodique de canalisation par soutirage de courant[15]

On voit que, dans ces conditions aucune sortie de courant ne peut se produire de la canalisation vers le sol. Tout le courant transporté s'échappe de la canalisation par liaison de la borne négative du redresseur il est ainsi "soutiré" en totalité du réseau d'où le nom donné au dispositif.

3.1.2.3. Drainage de courant

Lorsque la corrosion des canalisations se produit, ou risque de se produire en raison du voisinage d'installations susceptibles d'émettre des courants vagabonds, il est quelque fois possible d'écarter tout danger en raccordant électriquement les conduites au pôle négatif de la génératrice créant le désordre ou à la toute structure reliée à celle-ci.

Les courants vagabonds qui circulent alors dans les réseaux, seront directement restitués à la génératrice par le câble de liaison.

Ainsi les cellules d'électrolyses constituées aux points où les courants quittaient les conduites pour rejoindre le pôle négatif de la source, par le sol, sont exprimées.

Les conditions, pour qu'une telle solution soit possible sont les suivantes :

- a) Il faut que le réseau à protéger passe à proximité de la génératrice ou de structure en rapport électriquement avec son pôle négatif. L'intensité du courant ramené à la source peut être considérable et l'on ne peut pas toujours prévoir la pose d'un câble de forte section en tranchée sur une très grande longueur.
- b) Les cas intéressants sont, par exemple, ceux où les conduites longent l'usine émettrice de courant ou la voie ferrée, dans le voisinage d'une sous station. Un câble peut alors facilement rejoindre la génératrice dans l'usine, ou le rail près de la station.
- c) Il faut et cette condition est formelle, que la connexion soit faite sur un conducteur toujours négatif, par rapport au sol, car il ne faut pas s'exposer à introduire à certain moments dans le réseau, un courant qui pourrait provoquer, à quelques kilomètres de là, des corrosion ou de nouveaux points de sortie .ce risque n'existe pas la plupart du temps si l'on peut se relier directement à la barre négative d'une génératrice, mais il en est autrement si la liaison est faite à un rail O.N.C.F par exemple même près d'une sous-station. Si le rail est le plus souvent négatif par rapport au sol en ces points, il peut être parfois fortement positif :
 - Soit au cours du passage de certains trains.
 - Soit pour toute cause résultant de l'exploitation.

Il y a donc lieu d'interposer sur le câble de liaison (Figure 9) entre l'installation émettrice et réseau, un appareil contenant une cellule assurant le passage unidirectionnel du courant drainé pendant les périodes de drainage, le potentiel au point de connexion est toutefois variable et il en résulte que la distance sur laquelle se fait sentir la chute de potentiel peut n'être pas suffisante pour intéresser tout le réseau. En d'autres termes, le critère de

protection cathodique peut n'être pas partout atteint, et les régions où il est atteint varient sans cesse. Cela signifie que le réseau. La protection est alors interrompue, mais si cette éventualité ne se produit que peu d'heures par jour, une telle installation est d'un grand intérêt, puisque son fonctionnement est gratuit, voire la figure 09

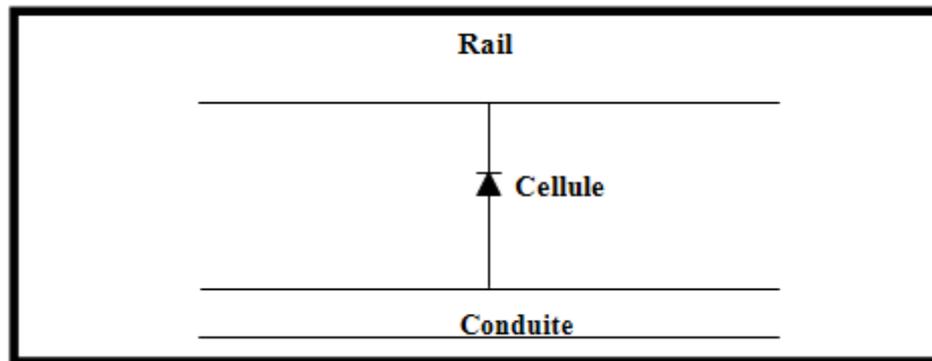


Figure 9: Schéma de principe du drainage direct [15].

3.2. Protection des canalisations contre la corrosion interne

On se place dans le cas des eaux naturelles distribuées pour la consommation humaine, c'est-à-dire contenant des gaz (oxygène et gaz carbonique en particulier) et des sels dissous, on protège les canalisations contre la corrosion interne par deux moyens principaux :

- a) La formation d'une couche protectrice carbonatée, c'est une propriété de l'eau qui permet de réaliser la protection voulue à moindre frais. Il faut donc savoir profiter toutes les fois que la composition de l'eau le permet.
- b) Le conditionnement de l'eau avec des produits filmogènes par injections d'inhibiteurs de corrosion susceptible de former un film protecteur sur le métal. Il faut bien sûr que ces produits soient agréés pour l'usage dans les eaux potables.

3.2.1. Processus et conditions de formation de la couche protectrice de TILLMANS.

3.2.1.1. Processus de formation de la couche de TILLMANS [17]

Les processus de formation de cette couche protectrice sont repris ci-après :

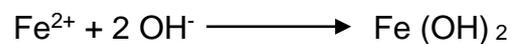
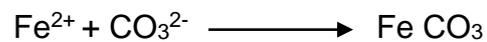
Dissolution anodique du fer :



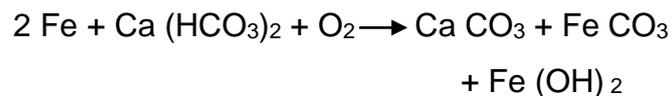
Dépolarisation cathodique par l'oxygène dissous :



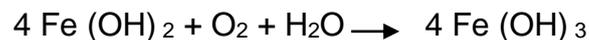
Formation de la couche protectrice :



Reaction global:



D'autre part:



Composition de la couche protectrice.



3.2.1.2. Condition de formation de la couche protectrice de TILLMANS [17]

Cette protectrice carbonatée ou couche de TILLMANS est, comme le montre les formules précédentes, constituées d'un mélange de carbonates (de calcium et de fer) et d'hydroxydes ferriques.

La réaction globale de sa formation nous montre que participent directement :

- L'oxygène dissous, dont la teneur doit être en pratique de 4 à 5 mg/l au minimum (sans atteindre la saturation, pour éviter les corrosion par l'oxygène dissous) ce qui est du reste prévu dans la norme algérienne relative à la qualité des eaux d'alimentation humaine (est considéré comme pleinement satisfaisante de ce paramètre, toute valeur située à l'intérieur de l'intervalle 5 à 8 mg/l d'oxygène dissous).
- Le bicarbonate de calcium, dont l'analyse révèle la fraction anionique (HCO_3^-) par la mesure de TAC et la fraction cationique (Ca^{2+}) par celle de TH calcique, en pratique, il faut que : $\text{TAC}=\text{TCA}= 6 \text{ à } 7 \text{ }^\circ\text{F}$ au minimum. Les normes relatives aux eaux de consommation ne sont pas encore très claires à ce sujet

Néanmoins, la norme algérienne relative à la qualité des eaux humaine exige que la valeur minimale requise en TH doit être supérieure à 10 Française pour pouvoir produire une couche ($\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{CaCO}_3$) ayant des propriétés protectrices suffisantes. Dans les eaux très minéralisées (comme on en trouve dans les terrains pauvres en calcaire. Il conviendra d'augmenter artificiellement le TAC et TH calcique de l'eau par un traitement approprié de reminéralisation, tels que

CO_2 + chaux, $\text{NaHCO}_3 + \text{CaCl}_2$ sous forme de neutralité. En outre, il faut aussi que les sulfates et surtout les chlorures en éléments de base de la couche protectrice, l'eau ne doit pas être susceptible de le redissoudre au fur et à mesure de sa formation. En d'autre terme l'eau doit avoir un pH égal ou très légèrement supérieur au pH d'équilibre calco-carbonique pHs, cet équilibre est en fait la résultante d'un ensemble d'équilibre chimiques dont l'eau est le siège, comme nous l'avons vu précédemment.

Les conditions de formation de cette couche protectrice peuvent être résumées ci-après :

O_2 dissous > 4-5 mg/l

TAC TCA > 6 °F – 7 °F

$[\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}]$ exprimé en m.e.q < TAC.

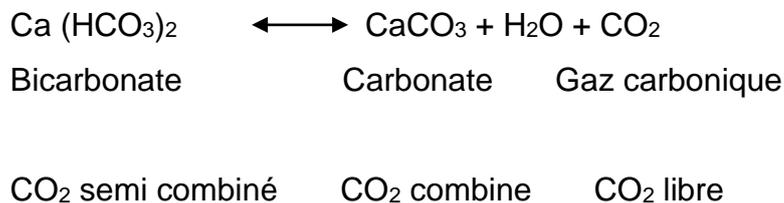
$$pH_s < pH < pH_s + 0.2.$$

3.2.1.3. L'équilibre calco-carbonique et les notions d'agressivité et de corrosion

Les eaux naturelles ne sont pas pures et contiennent différents éléments chimiques dissous dont le plus fréquent est le bicarbonate de calcium. Or, nous avons vu que l'un des premiers sels qui risque de précipiter dans l'eau est le carbonate de calcium. Fréquemment les phénomènes de corrosion sont masqués ou perturbés par la formation d'une couche plus ou moins épaisse de carbonate de calcium.

En effet l'équilibre pratique du bicarbonate de calcium avec le dioxyde de carbone (CO₂) est régi par des lois assez complexes et son déplacement peut créer des réaction chimiques soit de dissolution du carbonate de calcium (ou agressivité) soit de précipitation de sel (ou incrustation). Ces réactions peuvent se superposer aux processus électrochimique de corrosion qui sont spécifique des métaux.

Le bicarbonate de calcium est instable en solution aqueuse et peut se décomposer suivant la réaction réversible :



Pour maintenir en solution une concentration donnée de bicarbonate de calcium, l'eau doit contenir à l'état dissous quantité correspondante de CO₂ libre appelée le « CO₂ équilibrant » le CO₂ libre présente au-delà de la quantité nécessaire pour maintenir l'équilibre est appelé « CO₂ agressif » en ce sens qu'il est capable de dissoudre du carbonate de calcium jusqu'à rétablir l'équilibre.

$$\text{CO}_2 \text{ libre} = \text{CO}_2 \text{ équilibrant} + \text{CO}_2 \text{ agressif.}$$

Si le CO₂ libre est inférieur au CO₂ équilibrant, l'eau est incrustante. Si le CO₂ libre est supérieur au CO₂ équilibrant, l'eau est agressive (vis-à-vis du calcaire et cette détermination peut se faire lors de « l'essai de marbre » paramètre classique utilisé par les producteurs et distributeurs des eaux potables.

Pour une teneur en CO_2 libre égal au CO_2 équilibrant, on peut déterminer un « pH d'équilibre » ou pH de saturation -pHs- valable pour une température donnée.

Il faut donc que $\text{pH} = \text{pH}_s$ pour que l'eau soit indifférente au calcaire et par conséquent, qu'elle n'attaque pas les parois des citernes, des réservoirs ou de certaines canalisations munies d'un revêtement en béton ; si le pH est supérieur, il y aurait risque d'entartrage si l'eau est très incrustante, (quelque soit le matériau en contact avec l'eau), contre lequel on lutte soit en abaissant le pH pour le ramener à une valeur très proche de l'équilibre, soit en pratiquant un traitement d'adoucissement ou décarbonations, soit en pratiques qui sortent du cadre de ce travail. Si le pH est inférieur au pH_s , il y aura donc attaque du calcaire, du ciment, du béton, etc. ... il y aura aussi impossibilité de former la couche protection carbonatée sur les canalisations métalliques, (redissolution du Ca CO_3 au fur et à mesure qu'il précipite).

Une eau de ce type, agressive, peut donc être corrosive, en effet, il y a encore bien d'autres causes de corrosivité d'une eau : sursaturation en oxygène dissous, concentration excessivité en sels minéraux (chlorure et sulfates), présence de bactéries oxydant le fer et/ou réduisant les sulfate, présence de certain métaux (Fe, Cu, Mn, ...) etc. une eau à l'équilibre peut donc être quand même corrosive, ce que l'on peut encore énoncer ainsi : l'agressivité n'est qu'un cas particulier de corrosivité, et le réglage du pH d'équilibre est une condition nécessaire, mais non suffisante pour éviter les corrosion dans certains cas. Il ne faut pas confondre l'agressivité, phénomène électro-chimique d'attaque des matériaux métalliques.

Dans l'ensemble, les cas de corrosion les plus courants sont dus à :

- Un pH inférieur au pH_s , du fait de la présence de CO_2 agressif.
- Une minéralisation mal adaptée (trop de sels d'acides forts ou pas assez de bicarbonate de calcium).
- Une absence d' O_2 dissous, paradoxalement, on voit que l'oxygène favorise les corrosions par les eaux peu ou pas minéralisée (c'est pour cela qu'il faut l'éliminer des eaux de chaudières, pour éviter la corrosion par l'oxygène dont le mécanisme a été expliqué plus haut), mais est par contre nécessaire pour la formation de la couche protectrice dans le cas des eaux naturelles.

3.2.2. Neutralisation de l'agressivité

3.2.2.1. Elimination du CO₂ (agressif) par aération [17]

Lorsqu'on met en contact avec l'atmosphère des eaux riches en gaz carbonique, elles laissent échapper une plus ou moins grande proportion de ce gaz.

Mise en œuvre du procédé d'aération :

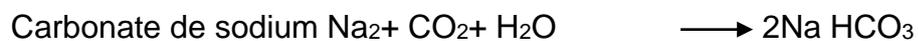
- Soit gravitaire par pulvérisation et/ou ruissellement
- Soit 'forcée' par insufflation d'air.

Le lieu d'installation est, en générale, en tête de traitement et le résultats est:

- pH augmente
- TAC et TCa reste constants
-

3.2.2.2. Addition de réactifs alcalins

Réactifs utilisables :



Mise en oeuvre:

- Soit sous forme pulvérulente, par des doseurs à sec.
- Soit en solution en suspension par des pompes doseuses ou des systèmes gravitaires eau de chaux préférable à lait (turbidité).
- Régulation par le pH d'équilibre ou légèrement supérieur (pHs + 0.1 ou 0.2).

Lieu d'installation :

- En général en fin de traitement
- Parfois en 2 points (tête et fin).

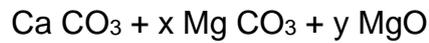
Résultats :

- pH augmente

- TAC augmente d'avantage avec les carbonates
- TCA augmente suivant le réactif.

3.2.2.3. Neutralisation par filtration sur neutralité [17]

Réactif : neutralité



Mise en œuvre :

- Filtre fermé (sous pression)
- Epaisseur de neutralité 0.8m à 1.5m
- Percolation théoriquement possible dans les 2 sens
- Recharge en matériau à -20%

Lieu d'installation : souvent pratiquée sur les eaux profondes qui ne demandent pas d'autres traitements.

Résultats :

- pH augmente
- TAC augmente
- Tca augmente
- TMg augmente

Néanmoins, il faut prévoir un traitement d'appoint supplémentaire par la soude pour atteindre l'équilibre calcocarbonique.

3.2.2.4. Conditionnement de l'eau avec des produits filmogène [17]

Parfois, on peut recourir à des traitements par des inhibiteurs de corrosion à base de produits phosphatés ou silicates, agréés pour dans le domaine de l'eau potable, pour stabiliser les eaux corrosives, on distingue :

- Les phosphates
- Les silicates de sodium
- Les orthophosphates

Les polyphosphates sont généralement utilisés à la dose d'environ 2 mg/l. ils ne présentent pas d'inconvénients dans l'eau potable, mais ils séquestrent le calcium de sorte que les eaux traitées avec les polyphosphates ne peuvent pas réagir complètement dans les procédés d'échange d'ions. Dans de nombreux cas cela est sans inconvénient, mais si l'on désire une eau de grande pureté, cette teneur de 0.1 à 0.5 mg/l de dureté peut être gênante.

Les silicates de sodium sont moins fréquemment utilisés car la dose nécessaire est généralement de l'ordre de 8 à 10 mg/l en SiO₂, ce qui nécessite une injection d'environ 20 à 25 mg/l de silicate de sodium.

Néanmoins, les traitements sont efficaces et bien qu'ils ne soient pas économiques pour traiter la totalité de l'eau, ils peuvent être utilisés en des points du système de distribution là où le prix du traitement peut se justifier eau douce, eau très corrosive.

Dans ces circonstances on peut traiter l'eau municipale avec le silicate de sodium pour alimenter les centres commerciaux et les immeubles à usage commercial.

Le zinc est efficace pour neutraliser la corrosion des systèmes de distribution, comme les installations de réfrigération.

Il est généralement accompagné de polyphosphates mais là où les polyphosphates présentent les inconvénients on peut utiliser les orthophosphates. Etant donné que les orthophosphates sont des inhibiteurs anodiques et qu'on ne peut les utiliser qu'à faibles teneurs pour éviter la précipitation du phosphate de calcium, un tel traitement doit être soigneusement contrôlé pour éviter les attaques par piqûres. Un tel traitement peut fournir une protection contre une corrosion généralisée, mais il peut être l'occasion de piqûres localisées.

3.3. Les système de contrôle de la corrosion dans les cas des installations de distribution d'eau [17]

Le contrôle de la corrosion dans les systèmes de distribution d'eau présente des problèmes difficiles à résoudre du point de vue économique et oint de vue de la chimie de l'eau. Dans les installations municipales de distribution d'eau le choix des traitements chimiques est limité du fait que l'eau traitée doit demeurer dans les normes de potabilité.

De nombreuses installations industrielles ont les mêmes problèmes parce que l'eau de boisson est souvent captée à partir d'une même source d'approvisionnement. Un problème secondaire se pose sur le choix des produits chimiques pour éviter la corrosion de sorte qu'ils ne soient ni dangereux, ni indésirable quelle que soit l'utilisation de l'eau dans l'usine.

Le point de vue économique est un facteur important car l'utilisation s'oppose à une augmentation de coût de traitement.

3.3.1. Diagnostic et contrôle de la corrosion

3.3.1.1. Diagnostic de la corrosion [17]

Les méthodes de diagnostic et les indices usuels pratiqués par les producteurs ou les distributeurs d'eau pour le diagnostic des phénomènes de la corrosion dépendent des types de matériau de conduites utilisés pour le transport des eaux [17].

Conduites métalliques (en matériaux ferreux) [17]

- Perte de débit (indice de la corrosivité interne qui engendre des pertes de charges)
- Augmentation des ions de fer dans les eaux
- Apparition d'une coloration brunâtre dans les eaux (hydroxyde ferrique)
- Augmentation de la turbidité (particules d'hydroxyde ferrique colloïdales)
- Augmentation de pH de l'eau (de l'amont vers l'aval de la conduite).
- Consommation de l'oxygène dissous (de l'amont vers l'aval).

Conduites en matières à base de ciment. [17]

- Augmentation persistante de pH de l'eau (de l'amont vers l'aval)
- Augmentation persistante des ions calcium (de l'amont vers l'aval).

3.3.1.2. Evaluation de la vitesse de corrosion [17]

La plupart des installations d'eau sont continuellement en service de sorte qu'il est rare de pouvoir y accéder afin de vérifier l'installation pour pouvoir observer et mesurer la corrosion et son inhibition. De nombreux appareillages ont été mis au point pour mesurer la corrosion de façon indirecte. Un résumé de ceux qui sont aujourd'hui les plus utilisés est présenté-ci-dessous :

- Echantillons témoins de corrosion (plaquettes)

Ces échantillons métalliques, pesés au préalable sont implantés dans le circuit pendant une période de 30 à 90 jours.

La vanne de gauche, qui relie l'installation à la conduite d'eau que l'on veut contrôler, est étranglée de façon à obtenir la vitesse de passage souhaitée sur les témoins, qui sont insérés dans chaque T.

Après ce laps de temps on les prélève, on les nettoie, on les pèse et on procède à leur examen. La perte métal (exprimée en micro par an), ainsi que les types d'attaques (généralisée ou par piqûres) sont définis et notés.

Occasionnellement, les échantillons ne sont soumis qu'à un nettement selon l'état de finition de l'échantillon (poli ou sablé), de son implantation dans l'installation, de la durée d'exposition, du type de métallurgie et du genre de prétraitement s'il y en a un. Les utilisés et jugés à propos. La feuille d'évaluation de la **figure 10** présentes un rapport type de l'examen d'un échantillon.

- Manchettes de corrosion

Le principe est identique à celui des plaquettes mais elles ne sont soumises qu'à un examen visuel. Elles ont un avantage sur les plaquettes de corrosion dont la conception et la mise en place sont précaires, c'est qu'elles prennent en compte la vitesse du fluide.

Cependant les plaquettes sont généralement plus utilisées, car elles fournissent une information plus importante lorsque le support des témoins a été bien conçu.

Une manchette est constituée par un simple tube qui est implanté sur un by-pass du circuit de sorte que l'on peut à tout moment le prélever pour examen.

- Cellule d'essais

La **figure 11** présente un type de cellule d'essais. Elle comporte plusieurs points clés. Tout d'abord on y a incorporé un porte-plaquettes de corrosion de conception scientifique.

Le débit (et par conséquent la vitesse) à travers cette boîte est déterminé et contrôlé. Il y a des emplacements à la fois pour des sondes de mesurer de façon effective les taux de corrosion à court terme et à long terme. De plus, l'appareil simule les surfaces de transfert de chaleur. Etant donné que la

température ou le flux de chaleur à un effet important sur la quantité de dépôts, de salissure et de corrosion qui se présente dans une installation, il était important de simuler ces variables. La mise en place d'une cellule d'essais convenablement placée, peut fournir une excellente lecture et une indication visuelle de ce qui se passe dans l'installation industrielle. La cellule d'essai

Mesure de façon efficace la corrosion à la fois pour des surfaces à qui reproduisent étroitement les débits, la métallurgie et les flux de chaleur de l'installation réelle.

CONCLUSION

La corrosion est la principale cause de dégradation des installations hydrauliques pour cela, elle doit être prise très au sérieux. De nombreux ouvrages nécessitent, très souvent, de nouvelles interventions contre cette pathologie alors qu'ils venaient d'en être traités. Cette situation peut être imputée soit à la non maîtrise du phénomène de corrosion par les techniciens et les ingénieurs, soit à une mauvaise démarche adoptée lors des réparations ou au choix d'une méthode de réhabilitation inadéquate inefficace.

L'objectif visé dans ce travail était de mettre en relief les effets néfastes de la corrosion et de donner un descriptif succinct relatif à ce phénomène. Ce document a été établi dans le cadre de mon projet de fin d'étude tout en espérant qu'il puisse m'être utile afin de me permettre d'aborder, dans l'avenir, avec compétence et savoir-faire, le problème de corrosion des canalisations, d'adopter une démarche appropriée pour une réhabilitation durable et efficace des ouvrages dégradés par la corrosion.

Pour y parvenir, j'avais jugé indispensable :

- d'expliquer le mécanisme de la corrosion et les dommages qu'elle peut causer aux structures métalliques,
- de donner les étapes à suivre pour pouvoir établir un diagnostic fiable sur un ouvrage,
- de présenter les contraintes et les exigences dont il faut tenir compte lors d'une réparation,
- de présenter les méthodes de réhabilitation des ouvrages dégradés par la corrosion, leur mise en œuvre et leur limite,
- de donner quelques mesures préventives contre la corrosion, prévenir valant mieux que guérir.

Ce travail, m'a été très précieux car il m'a permis d'approfondir beaucoup mes connaissances relatifs à la corrosion en général et à la *protection des canalisations contre la corrosion en particulier*.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Béranger G. et Dabosi F., « Corrosion et protection des métaux », (Les Houches, 1981), Editions CNRS, Toulouse, 1982.
- [2] Audisio S., Caillet M., Galerie A. et Mazille H., « Traitement de surface et protection contre la corrosion », (Aussois, 1987), Les Editions de Physique, Les Ulis, 1989.
- [3] Ouahes R. et Devaller B., « CHIMIE GENERALE », 2^e Editions corrigée, SNED-Alger.
- [4] Corrosion Doctors. Information Modules. <http://corrosion-doctors.org/Modules/Modules.htm>. (Consultation le 26/05/2013)
- [6] www.lachimie.fr/solution/electrode-reference.php.(consultation le 26/05/2013)
- [7] <http://cla.vidal.free.fr/corrosion.htm>
- [8] Energie. Théorie de la corrosion. <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=10982>. (Consultation le 26/05/2013)
- [9] www.argentumsolutions.com/tutorials/refelectrode_tutorialpg3.html. (Consultation le 22/03/2013)
- [10] INSA Lyon, Laboratoire MATEIS-CorrIS. Le livre multimédia de la corrosion. http://www.cdcorrosion.com/mode_corrosion/corrosion_galvanique.htm. (Consultation le 25/05/2013)
- [11] EuroInox. Corrosion par piqure. http://mobile.euroinox.org/map/pitting_corrosion/FR_pitting_corrosion.php. (Consultation le 30/5/2013).
- [12] Fluorotechnique, Traitement des surfaces. <http://www.fluorotechnique.fr/>. (Consultation le 27/05/2013).

- [13] INSA Lyon, Laboratoire MATEIS-CorrIS. Le livre multimédia de la corrosion.
http://www.cdcorrosion.com/mode_corrosion/corrosion_galvanique.htm.
(Consultation le 29/05/2013)
- [14] Normand B., Pébère N., Richard C., Wery M., « Prévention et lutte contre la corrosion: Une approche scientifique et technique », Edition INSA Lyon .
- [15] Fascicule 56 du C.C.T.G., « Protection des ouvrages métalliques contre la corrosion », Fascicule spécial n° 86-6 bis (Décret n° 86-290 du 25.02.86)
- [16] BENSIMON R., « Protection contre la corrosion - La métallisation », Edition CLIF/ACCT, 1981.
- [17] Encyclopedia Universalis. Corrosion.
<http://www.universalis.fr/encyclopedie/corrosion/ressources/>. (Consulté le 20/5/2013)
- [18] SCHMID E. V., « Durabilité extérieure et protection anticorrosion », Librairie des traitements de surface, Paris, 1985.