



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère De l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENT HYDRAULIQUE
Projet de fin d'études

Pour l'obtention du titre d'ingénieur d'état en hydraulique

Présenté par

BOUASLA Khaled

Thème

***La corrosion des conduites d'alimentation en eau potable
en acier
Application à l'évaluation de l'état de corrosion de la
chaîne d'adduction SPIK***

Proposé par :

M. M.BELLACHE

Dirigé par :

M.S.BENZIADA

M.S.BOUKHETALA

Promotion : juin 2009
ENSP 10, Avenue Hassen Badi, BP.186 EL HARRACH, ALGER



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère De l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENT HYDRAULIQUE
Projet de fin d'études

Pour l'obtention du titre d'ingénieur d'état en hydraulique

Présenté par

BOUASLA Khaled

Thème

***La corrosion des conduites d'alimentation en eau potable
en acier
Application à l'évaluation de l'état de corrosion de la
chaîne d'adduction SPIK***

Proposé par :

M. M.BELLACHE

Dirigé par :

M.S.BENZIADA

M.S.BOUKHETALA

Promotion : juin 2009
ENSP 10, Avenue Hassen Badi, BP.186 EL HARRACH, ALGER

Remerciements

Merci à notre bon Dieu, notre guide, notre force, notre bonheur, et la raison de notre existence. C'est lui qui nous a fait comprendre le but de cette vie, et qui nous a donné le pouvoir d'aimer les gens et d'apprécier les choses. Merci d'être là dans les moments les plus difficiles.

Tout d'abord, Je remercie Monsieur S.BENZIADA de m'avoir fait l'honneur d'être mon promoteur et surtout de travailler avec lui. Je suis très reconnaissant pour sa disponibilité, pour son écoute, ainsi que pour sa confiance mener à bien ce travail.

Les travaux présentés dans ce mémoire ont été réalisés au sein de l'entreprise SEAAAL, sous la co-direction de Monsieur S.BOUKHETAL, que je remercie pour sa disponibilité et son écoute, la résolution des difficultés rencontrées ainsi que son encouragement dans le long de ce travail.

J'adresse ma profonde reconnaissance aux personnels de la SEAAAL (Société des eaux et de l'assainissement d'Alger), qui m'ont chaleureusement accueilli et permit d'effectuer ce travail. Sans leurs aides, ce travail n'aura jamais avancé. Particulièrement Monsieur M.BELLACHE, Directeur de l'unité Production et ressources qui ma proposé ce sujet au sein de sa direction. Et Mlle BOUAZIZ qui ma aidé et qui a été présente tout au long de cette période de stage.

Je tiens aussi à remercier tous mes enseignants qui ont contribué à ma formation particulièrement ceux du département d'Hydraulique, de m'avoir donné la chance d'apprendre, et de nous faire partager leurs savoirs, sans eux je ne serai jamais arrivé à ce stade.

Je remercie toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce travail de près ou de loin.

ملخص:

من خلال هذا العمل المتواضع أردنا أن نسلط الضوء على ظاهرة تآكل الأنابيب المدفونة والمسؤول عن ضياع كميات هامة من المياه. وكذلك تأثير التآكل على تغيير الخصائص الميكانيكية و الهيدروليكية للأنابيب و الإمكانيات التي تستعمل للحماية من ظاهرة التآكل من أجل المحافظة على هذه الأنابيب المدفونة طوال مدة استعمالها.

كلمات مفتاحية: تآكل, حماية مهبطة, الأنابيب المعدنية.

Résumé :

Dans ce modeste travail, on a voulu éclairer le phénomène de corrosion des conduites enterrées, chose responsable d'importantes pertes d'eau. Ainsi que l'impact de la corrosion sur les changements de caractéristique mécanique et hydraulique des conduites et les moyenne de lutte contre la corrosion pour garantir une certaine durée de vie lente que possible pour un coût minimal.

Mots clés : corrosion, protection cathodique, conduites métalliques.

Abstract:

In this work, we try to focus on the corrosion phenomena of burried pipes wich causes important water losses. As well as the impact of corrosion on the changes of mechanical and hydraulic characteristic of the conduits and the average of fight against corrosion to guarantee a certain slow lifespan that possible at a minimal cost.

Keywords: corrosion, cathodic protection, metallic conduits.

Liste des Figures

Numéros du figure et titre	Pages
Figure (II, 01): schéma de corrosion de Fer	16
Figure (II, 02): schéma d'une pile électrochimique	18
Figure (II, 03): dépôt microbien	19
Figure (II, 04): courbe de polarisation (diagramme d'EVANS)	22
Figure (II, 05): Polarisation de diffusion	23
Figure (II, 06) : courbe de polarisation anodique d'un alliage passivable	23
Figure (II, 7) : Schémas de corrosion par aération différentiel	24
Figure (IV,01) : Diagramme de PURBAIX	47
Figure (IV,02) : Dispositif de protection par anode réactif	48
Figure (IV,03) : Dispositif de protection par soutirage de courant	50
Figure (IV, 04) : Dispositif de drainage de courant	51
Figure (IV,05) : Installation des quatre piquets	52
Figure (IV,06) : Schémas explicatif de mesure de résistivité le long de conduite	58
Figure (VI,07) : Schémas d'emplacement des anodes	59
Figure (V, 01) : Les ressources d'Alger du 1 ^{er} trimestre 2009	62
Figure (V, 02) : Production mensuelle des eaux de surface par station	64
Figure (V, 03) : Synoptique de la chaine SPIK	67
Figure (V, 04) : Pourcentage de chaque matériau dans le transfert	69

Liste des tableaux

Numéro du tableau	Titre	Pages
Tableau (I, 01)	: Manifestations et origines de la dégradation des conduites d'eau potable	09
Tableau (II, 01)	: Corrosivité en fonction de la résistivité	27
Tableau (II, 02)	: Tableau de STARKEY ET WIGHT : corrosivité en Fonction du potentiel REDOX	27
Tableau (IV, 1)	: Résistivité de sol en fonction de l'intensité	56
Tableau (V, 01)	: Production mensuel par ressources du 1 ^{er} trimestre 2009	61
Tableau (V, 02)	: Evolution de la production d'eau au niveau des deux stations De traitement et volume d'eau refoulé à partir de TAKSEBT	62
Tableau (V, 03)	: Caractéristique de la station de pompage de Béni amrane	64
Tableau (V, 04)	: Conduite de la station de Pompage à la retenue de Keddara	65
Tableau (V, 05)	: Caractéristiques des conduites de Keddara à la station de traitement de Boudouaou	65
Tableau (V, 06)	: Caractéristiques des Conduites de Boudouaou à Alger	66
Tableau (V, 07)	: Récapitulatif du nature de matériau des conduites reliant la Station de pompage de Béni amrane-barrage de Keddara-station de traitement des eaux de Boudouaou	67
Tableau (V, 6)	: Point kilométrique de chaque poste de soutirage de courant	69
Tableau (V, 7)	: Tableau Récapitulatif d'état du chaque Poste	73

Sommaire

Introduction général

Chapitre I : Problématique

I-Notion des pertes d'eau	03
I-1-Définition	03
I-2-Répartition des pertes d'eau	03
I-2-1-Pertes d'eau à la production	03
I-2-2-Pertes d'eau à la distribution	03
I-3- Nature des pertes d'eau	04
I-4-Rendement des réseaux	04
II-Sources des pertes d'eau	06
II-1- Introduction	06
II-2- Les volumes d'eau prélevés hors comptage	06
II-3- Les défauts d'enregistrement	07
II-4- les fuites	07
II-5- Influence du type et de l'environnement de la conduite sur l'ampleur et le taux de fuite	12
III- Conclusion	13

Chapitre II : Etude théorique de la corrosion

I- Introduction	14
II -Définition	14
III- Classification de la corrosion	15
III- 1- Aspects morphologique de la corrosion	15
III-2- Modes de formation de la corrosion	16
IV- Mécanismes de corrosion	19
IV-1- Oxydation est réduction	19
IV-2- Aspects électrochimiques de la corrosion	19
IV-3- Phénomènes de passivités	21
V- Principaux facteurs de corrosion	23
V-1- Association d'un métal avec un métal plus noble dans un électrolyte	23

V-2- Aération différentielle	23
V-3- Acidité	23
V-4- Salinité	23
V-5- Hétérogénéité thermique	23
VI- Corrosivité de l'eau	24
VI-1- Agressivité de l'eau	24
VI-2- Corrosivité	24
VI-3- facteurs de corrosivité de l'eau	24
VII- Corrosivité des sols	25
VII-1- position du problème	25
VII-2- Caractéristiques d'un sol	26
VII-3- Modes de corrosion dans les sols	28
VII-3-1- Corrosion électrochimique	28
VII-3-2 Corrosion par électrolyse	29
VII-3-3- corrosion bactérienne	29
VIII- Changement des caractéristiques hydrauliques	29
VIII-1- l'impact de l'augmentation de rugosité	29
VIII-2- l'apparition des fuites	30
IX- Changement des caractéristiques mécaniques	30
XI-1- Corrosion sous contrainte	31
XI-2- influence de corrosion sur les dimensions (effet échelle)	31
XI-3- influence de la corrosion sur les fissures	31
XI-4- corrosion et phénomène de fatigue	31
XI-5- corrosion et calcul de résistance	32
X- Vieillessement des conduites d'eau potable	33
XI- Conclusion	34
Chapitre III : Matériaux des conduites	
I- Introduction	35
II- Matériaux métalliques	35

II-I - Acier	35
II-1-A – Caractéristiques	35
II-1-B- Vulnérabilité	35
II-2- Fonte	36
II -2-1- Fonte grise	36
III -2-1-A- Caractéristiques	36
III -2-1-B- Vulnérabilité	36
II-2-2 - Fonte ductile	36
III -2-2-A- Caractéristiques	36
III -2-2-B- Vulnérabilité	37
III- Matériaux à base de ciment	37
III-I – Béton	37
III-I-A - Caractéristiques	37
III-I-B- Vulnérabilité	37
IV- Matériaux organique	38
IV-I- PVC: (poly vinyl chlorure)	38
IV-I-A - Caractéristiques	38
IV-I-B - Vulnérabilité	38
IV-2 - Polyéthylène	38
IV-2-A- caractéristiques	38
IV-2-B- Vulnérabilité	38
IV-3 - Plastique renforcé de fibre de verre	39
IV-3-A- Caractéristique	39
IV-3-B – Vulnérabilité	39
V - Recommandations	39
VI- Conclusion	41
Chapitre IV : Protection anti-corrosion	
I-Introduction	42
II- Revêtements protecteurs	42

II-1- Revêtements passifs	43
II-2- Revêtements actifs	44
III- Traitement du milieu	45
IV - La protection cathodique	46
IV.1- Principe de la protection cathodique	46
IV-2 Protection par anodes réactives	48
IV-3- Le soutirage de courant	49
IV-4- Drainage de courant	50
IV-5- Conditions d'application de la protection cathodique	51
IV-6- Compagne de mesure de la résistivité des sols	51
IV-7- Mesure du potentiel instantané par l'Electrode de cuivre/Sulfate de cuivre	52
IV-8- Les anodes déversoirs	52
V- Les éléments complémentaires de la protection cathodique	53
V-1- Joints isolants	53
V-2- Cales et supports isolants	53
V-3- Les shunts	53
V-4- Les prises de potentiels	54
IV - Etablissement Des Soutirage	55
VI- Surveillance de la protection cathodique	58
VII- Consignes d'exploitation d'un dispositif de protection cathodique	59
VIII- Conclusion	60
Chapitre V : Problématique de corrosion dans la chaine SPIK	
I- Présentation des ressources d'Alger	61
II- Eaux de surface	62
III- Données Principales Du Système D'alimentation En Eau Isser-Keddara-Boudouaou-Alger	63
III-1- Principaux ouvrages du système d'alimentation en eau	
Isser-Keddara-Boudouaou-Alger	63
III-2- Caractéristique De La Station De Pompage De Béni Amrane	64
III-3- Conduite De La Station De Pompage A La Retenue De Keddara	65
III-4- Caractéristiques Des Conduites De Keddara A La Station De	

Traitement De Boudouaou	65
III-5-Conduites De Boudouaou A Alger	66
IV-Décomposition Du SPIK Selon La Nature De Matériau Des Conduites	67
V- La Prévention Contre La Corrosion Dans Le Transfert	
(Barrage de béni amrane-barrage de Keddara)	68
V-1-La Prévention Contre La Corrosion Externe	69
V-1-1-Diagnostic Des Postes Du Soutirage De Courant	69
V-2- La Prévention Contre La Corrosion Interne	74
VI-Conclusion	74
Conclusion général	75
Bibliographie	
Annexes	



Introduction générale

Introduction

L'investissement dans le secteur de l'alimentation en eau potable comme cela est le cas pour toute réalisation industrielle, nécessite une dépense immédiate en vue d'obtenir des revenus futurs. En ayant des charges d'exploitation et de réparation les moins élevées possibles et des frais de construction très élevés de ce type d'infrastructures. Il est important donc d'assurer une bonne gestion du capital investi. Et donc, il est impératif d'accroître au maximum la durée de vie de l'ouvrage et d'éviter ainsi les arrêts imprévus susceptibles d'entraîner des manques à gagner importants.

De nos jours, l'eau reste la source qui fuit des mains de l'homme, malgré tous les efforts de mobilisation en temps et en argent. De plus, l'eau subit les méfaits du développement par sa surexploitation et de la détérioration de sa qualité. La protection de cette ressource rare doit être prise très au sérieux.

La corrosion des conduites d'eau potable (adduction ou distribution) est une des causes directes des pertes de volume en eau considérables. Les incidences de la corrosion, doivent être prises en compte dans les études de projet (nouvelles conduites et/ou réhabilitation de l'existant). Et cela, par la mise en place des infrastructures afférentes au traitement spécifique de ce type de difficulté. Les solutions techniques de traitement et de protection contre les problèmes de corrosion doivent être choisies afin de permettre d'augmenter la durée de vie des conduites en tenant compte du coût minimal de premier équipement.

Dans cette optique, ce mémoire de fin d'études traitera dans un premier temps du phénomène de la corrosion et son impact sur le changement des caractéristiques mécaniques et hydrauliques des conduites d'alimentation en eau potable. En second lieu, un état des lieux sur les moyens utilisés pour lutter contre la corrosion dans la chaîne d'adduction SPIK sera abordé. Une attention particulière sur les moyens de protection contre la corrosion existant dans les conduites de transfert (barrage de BENI AMRANE vers KEDDARA) avec un diagnostic exhaustif de ces moyens et des propositions de réhabilitation pour une optimisation de ces moyens de protection.

Ce mémoire se décompose en :

Un **chapitre I** qui traitera des paramètres et des phénomènes responsables des pertes en eau dans les systèmes d'alimentation en eau potable.

En **chapitre II**, le phénomène de corrosion sera décrit précisément. Notamment, en abordant les paramètres responsables à l'apparition de celui-ci. De même que l'impact de la corrosion sur les changements des caractéristiques mécaniques et hydrauliques des conduites d'alimentation en eau potable.

Le **chapitre III** viendra passera en revue les principales types de conduites selon la nature du matériau utilisé dans d'alimentation en eau potable ainsi que leurs caractéristiques.

En **chapitre IV** une méthode de prévention contre la corrosion sera proposée (protection cathodique par soutirage de courant) dans le cas des conduites en acier nu, pour une application à des conduites anciennes.

Enfin en **chapitre V** une description de la chaîne SPIK avec un diagnostic des postes de soutirage de courant utilisé dans le transfert (barrage de BENI AMRANE vers KEDDARA) sera présentée.

I-NOTION DES PERTES D'EAU

I-1-Définition

On définit les pertes d'eau dans les réseaux d'AEP comme l'ensemble des eaux produites mais n'atteignant pas le consommateur, du point de vue économique c'est l'eau produite mais qui est ni facturée ni enregistrée.

I-2-Répartition des pertes d'eau

Les pertes d'eau sont classées comme suit :

I-2-1-Pertes d'eau à la production

C'est l'ensemble des pertes au stade de la production, elles sont enregistrées au niveau :

- 1) *Du champ de captage* : par ce que les eaux chargées nécessitera toujours un rinçage et un nettoyage des éléments de production, ce qui nécessite l'utilisation de quantités énorme d'eau qui ne peuvent pas être réutiliser après , ce qui entraîne des pertes d'eau considérables.
- 2) *Du manque d'étanchéité des ouvrages de stockage* : soit au niveau du béton (fissures, mauvaise dosage,...), soit au niveau des joints à l'entrée des conduites, ou au débordements des réservoirs.
- 3) *Des station de traitement d'eau potable* : ou on a tendance a enregistrer des pertes d'eau considérables. Ces pertes sont dues essentiellement aux volumes utilisée pour le rinçage des filtres à sable.

A l'adduction : ce sont les pertes dues à la ruptures des conduites de transport ou à la détérioration par corrosion , elle sont similaires aux pertes dans les réseaux ,**sauf que le transport d'eau brute présent de forts risque de corrosion .**

I-2-2-Pertes d'eau à la distribution

Ce sont les volumes perdus au cours de la distribution.

I-2-3-Branchement des particuliers

Ce sont les volumes d'eau qui se perdent à l'intérieur du domaine privé de l'abonné, ils sont dues aux défauts d'étanchéité des conduites ,ainsi que la robinetterie défectueuse .

I-3- Nature des pertes d'eau

Les pertes d'eau se subdivisent selon leurs natures en se qui suit :

A / les pertes d'eau réelles

Ce sont les volumes d'eau qui s'écoulent dans la nature à partir du réseau à cause du manque d'étanchéité des conduites , ou des réservoirs ...

B /les pertes d'eau virtuelles

Ce sont les volumes d'eau non enregistrées à cause des défauts de comptage , ou pour des besoins spéciaux (lutte contre l'incendie ...).

I-4-Rendement des réseaux

On entend par le rendement d'un réseau de distribution d'eau, l'écart entre le volume entrant dans le réseau et les volumes consommés ou facturés , donc c'est un élément essentiel pour le gestionnaire du service pour la réduction des fuites et des pertes et amélioration du comptage , réduction des coûts d'entretien.

Le calcul de rendement est très délicat à cause de l'imprécision des volumes d'eau produits et surtout les volumes distribués.

Ces imprécision sont dues à

A) des erreurs de comptages provoqués par l'imprécision du compteur, ou la lecteur de ce dernier .

B) des erreurs dues à la non simultanété des relevés des compteurs car la consommation n'obéit à aucune loi ,c'est la simultanété de consommation.

C) des erreurs d'estimation des volumes prélevés hors comptage.

I-4-1- Rendement de production

Ce rendement permet de nous donner une idée sur l'état de fonctionnement du système de production (captage , adduction , station de traitement ...).

Il est donné par la formule suivante:

$$R_p = \frac{V_{produit}}{V_{prélevé}} \quad (I.01)$$

I-4-2- Rendement primaire

IL est donné par :

$$R_1 = \frac{V_{comptabilisé}}{V_{mis.en.distribution}} \times 100 \quad (I.02)$$

C'est le rendement le plus simple à calculer

I-4-3- Facteur des pertes

Définit comme suit :

$$p = \frac{V_{non.comptabilisé}}{V_{comptabilisée}} \times 100 \quad (I.03)$$

Il permet de nous renseigner sur l'importance de perte.

I-4-4- Indice linéaire des pertes ($m^3 / j/km$)

C'est une relation entre le volume des pertes et différentes longueurs

$$IL_p = \frac{V_{des.pertes}}{L_{cond.transert} + L_{réseau} + L_{branch}} \quad (I.04)$$

(L : longueur en KM).

Cet indice permet de rapporter le volume de perte à l'importance du réseau. [1]

II-SOURCES DES PERTES D'EAU

II-1- Introduction

Les sources des pertes peuvent être définies comme étant tout fait ou acte par la suite duquel des pertes peuvent apparaître.

Les procédés de réduction des pertes sont souvent fonctions des origines et de l'importance des eaux perdues.

Selon leurs sources les pertes se subdivisent en ce qui suit : [1]

II-2- Les volumes d'eau prélevés hors comptage

Ces derniers sont de diverses origines, pour la plupart il s'agit d'utilisations à usage de la collectivité:

A/ Lutte contre les incendies

Ce sont les volumes utilisés non seulement pour la défense anti-incendie, mais aussi pour les exercices des pompiers, et l'entretien des bouches d'incendie.

B/ Les bouches d'arrosage

Pour l'arrosage des espaces verts et jardins publics, elles sont souvent mal contrôlées, et ne contiennent presque jamais de compteurs.

C/ Chasses d'égout

Utilisées pour éviter les dépôts dans les canalisations d'assainissement, ils sont soit à fonctionnement continu, soit discontinu. La mesure des débits se fait souvent par jaugeage

D/ Les sanitaires et fontaines publiques

Ils sont souvent dotés de compteurs qui facilitent l'appréciation des volumes déversés.

E/ Branchements illicites

Ce sont le branchement inconnu par les services des eaux, le branchement sans

compteurs (forfaitaires), ainsi que les branchements avant l'installation du compteur.

F /Les purges et vidanges des réseaux

Les bouts de conduites doivent être purgés, pour éviter la stagnation des eaux

J/ Equipements de contrôle de niveau

La défaillance d'équipements de contrôle de niveaux (Grippage de flotteur..) provoque le débordement de quantités très importantes d'eau par le trop plein.

II-3- Les défauts d'enregistrement

Les compteurs sont parfois affectés de sous comptage, des volumes sont alors consommés, mais non comptés, ce qui peut donner naissance à des pertes virtuelles. Le sous comptage est souvent dû au mauvais dimensionnement des compteurs ou l'absence d'entretien des anciens.

On admet souvent une erreur de comptage de 5% à 10%.

II-4- Les fuites

On appelle fuites, les points où l'eau jaillit vers l'extérieure des conduites ou des accessoires etc., ce sont les eaux réellement perdues dans la nature, elles sont dues à :

II-4-1 La rupture de conduite

C'est les casses des conduites, elles sont dues à une majoration d'efforts favorisés par plusieurs facteurs.

A/Ruptures dues à des erreurs de planification

- mauvais choix du matériau, ou la combinaison de plusieurs ;
- la projection de zones d'alimentation avec des pressions très importantes
- favoriser le coté économique sur le technique.

B/ Erreurs d'installation

La pose de conduite a une importance majeure, les modalités de poses sont fonction du type de sol d'accueil et du type de conduite.

C/ Erreur de gestion

Ce sont toutes les erreurs commises pendant la gestion du réseau, tel que: favoriser des coups de bélier par des manœuvres. Trop rapides de vannes, ou arrêt brusque des pompes.

D/ Défaut de matériau

Ce sont les erreurs de fabrication où les canalisations n'obéissent pas aux paramètres mécaniques sur la base desquelles elles ont été projetées.

E/ Assèchement de sol

Surtout dans les sols cohérents, l'assèchement entraîne une rétractation du sol et soumet la conduite a des sollicitations encore plus graves

F/ Rupture due au gel

La baisse de température au dessous de 0°C provoque des efforts internes dans le matériau, a fin de s'équilibrer avec ces forces, la conduite se casse. Quand le gel est à craindre il faut augmenter la profondeur de pose.

L'action du gel sur les compteurs est aussi désastreuse

G/ Vieillessement des conduites

La corrosion, les variations de pression...etc. affaiblissent la conduite et la rendent vulnérable à des efforts encore plus faibles.

II-4-2- Corrosion des conduites

La corrosion est un phénomène électrochimique complexe qui peut sérieusement détériorer la conduite si aucune mesure de protection n'est prise, les dégâts se pressente sous forme de trous, ou une diminution sensible de l'épaisseur, rendant la conduite

vulnérable à des tentions moins importantes.

Manifestation	-Dégradation de qualité de l'eau	- Diminution de la capacité de transport	- Augmentation des fuites diffuses
Origines	-Corrosions internes (chimiques ou biologiques) et Porosité des joints ou tuyaux	-Entartrage -Protubérance de produits de corrosion	-Corrosions internes et externes -Détérioration des joints

Tableau (I, 01) : Manifestations et origines de la dégradation des conduites d'eau potable [2]

Synthétise les différentes manières d'estimer l'état de dégradation d'une conduite en fonction de l'origine et des manifestations observés

Dans ce sens, notre étude sera orientée afin de mieux comprendre le phénomène de corrosion pour des conduites existant sur le réseau d'adduction de la Willaya d'Alger.

II-4-3- Dégâts au niveau des pièces spéciales

Les accessoires constitués souvent de plusieurs pièces, de matériaux différents. Les éléments ne se comportent pas de la même façon, ce qui engendre des vides par lesquels l'eau s'échappera.

Le presse étoupe, en élastomère est souvent le siège de ces pertes; le gel, la température, le nombre de manœuvres provoquent l'usure des joints de filetage au niveau des robinets vannes.

II-4-4- Fuites au niveau des réservoirs :

Ces fuites apparaissent à cause de la mauvaise étanchéité des parois, ou au débordement des réservoirs et surtout au niveau des traversés des conduites à travers les parois.

La mauvaise étanchéité des parois à cause de fissures, mauvais dosage du béton .L'isolement du réservoir en amont est en aval, permet la mise en évidence des pertes

par l'appréciation de la baisse de niveau.

II-4-5- Le gaspillage

A/ Définition

Le gaspillage est l'utilisation excessive des volumes d'eau par le consommateur, une consommation qui peut dépasser de loin ses besoins réels.

Le gaspillage des eaux restera pour la plupart du temps une source de pertes vu:

- Le coût de l'eau produite.
- L'augmentation du régime de fonctionnement du réseau (sur exploitation).
- effet sur la durabilité des ressources hydriques.

B/ Types de gaspillage

1. Gaspillage au niveau des installations domestiques :

Souvent c'est au niveau des installations domestiques que le gaspillage est fréquent, surtout les robinets laissés ouverts, et non étanches,etc.

2. Gaspillage au niveau des établissements publics:

Vue que l'eau n'est pas payée par les employés, et n'est pour la plupart du temps pas du tout payée à cause de l'absence de compteur ou, a cause de la nature de l'établissement; le gaspillage peut devenir money courante, et peut prendre des dimensions importantes si une sensibilisation dirigée n'est par mené à bien.

3. Gaspillage au niveau des bornes fontaines et sanitaires publics :

Au même titre que dans les entreprises et les entablements publics, le gaspillage au niveau des bornes fontaines est assez important

C/ Gaspillage du point de vue économique

Le gaspillage a beaucoup d'effets nuisibles sur entreprise distribution d'eau surtout si le

tarif ne résulte pas de péréquations équilibrée.

Ces effets apparaissent dans :

- L'élargissement d'infrastructures de production sans être sujettes d'amortissement ;
- La non couverture des frais de production par le tarif de l'eau ;
- Le non paiement des redevances, par les abonnés ;

Dans ce cas la meilleure façon de lutter contre le gaspillage est la sensibilisation.

II-5- Influence du type et de l'environnement de la conduite sur l'ampleur et le taux de fuite

Les pertes d'eau sont la plus part du temps les résultats de plusieurs facteurs existants dans, et autour de la conduite.

II-5-1 Nature des matériaux de canalisation

Le choix du matériau de la conduite doit prendre en considération plusieurs facteurs dont :

- la nature du sol ;
- nature de l'eau transportée ;
- pression de service ;
- profondeur de pose ;
- diamètre de la conduite.

II-5-2- l'efficacité de la protection cathodique

La protection cathodique a pour but de protéger la conduite contre la corrosion, si elle n'est pas bien mise en œuvre des zones de corrosions localisées peuvent apparaître et peuvent percer la conduite.

II-5-3- Longueur du réseau

Il est évident que plus le réseau est long plus les pertes sont importantes à cause de la multiplication des raccordements, des branchements et à cause aussi de la difficulté de surveillance.

II-5-4- Le diamètre moyen

Les canalisations de diamètre important sont plus affectées de fuites, les conduites sont plus sensibles aux sollicitations qui peuvent les endommager à des taux différents.

II-5-5- Densité de branchements

Une densité importante de branchements veut dire une forte densité de raccordements qui sont le plus souvent sujets de fuites, ajoutant à cela les piquages illicites qui ne peuvent pas être bien contrôlés.

II-5-6- Nature du sol

Etant considéré comme le nid de la canalisation, le sol a une action directe par son agressivité, son action mécanique.

II-5-7- Profondeur de pose

La profondeur de pose est fonction du type de conduite, du trafic, des facteurs climatiques ...

Les terres sur jacentes présentent des sollicitations continues sur les conduites et peuvent fissurer ou écraser la conduite si elles sont importantes surtout à conduite vide.

II-5-8 -Variation de la pression de service au court du fonctionnement

La variation de la pression surtout à des intervalles de temps réduits peut fatiguer la conduite et la rendre plus vulnérable à des sollicitations de plus en plus faibles.

II-5-9- L'entretien du réseau

Un réseau mal entretenu a tendance à vieillir rapidement où on remarque

l'accroissement des fuites, en sachant qu'une fuite peut favoriser la formation d'autres.

III- CONCLUSION

Les pertes au niveau du réseau d'AEP sont dues à des facteurs complexes qui entrent en cohésion pour donner naissance à divers types de pertes.

L'étude de tous ces facteurs est très difficile vu le nombre de variables; hydrauliques, géotechniques, chimiques et mécaniques qui entrent en jeu. Dans ce qui suit on ne traitera que des fuites dues à la corrosion des conduites du point de vue théorique. Puis nous aborderons l'influence de la corrosion sur les caractéristiques mécaniques et hydraulique des conduites dans la suite de ce travail.

I- Introduction :

Les civilisation anciennes se sont trouvés confrontés à des problèmes de changement des propriétés des matériaux depuis apparemment fort longtemps, ainsi les ROMAINS avaient identifié et résolu certains problèmes de corrosion dans la construction naval en bois.

Au xx^{eme} siècle les problèmes de corrosion ont vu leur importance grandir considérablement en devenant un poids économique qui ne peut pas être négliger, pour cette raison l'intérêt s'est dirigé vers la recherche de nouveaux matériaux qui peuvent atténuer ces phénomènes de dégradation qui sont les causes direct des fuites.

II –Définition

On appelle corrosion ,la destruction lente ou progressive des métaux et leurs alliages , la corrosion est l'attaque chimique des surfaces métalliques par un milieu agressif extérieur. Elle se traduit généralement par l'altération de la surface du métal .L'expérience montre que ce genre d'altération dépend surtout des trois facteurs suivants la nature chimique du métal ou de la composition de l'alliage et de leur structure . ,la nature chimique du milieu et de sa teneur en matières corrosives (oxygène, humidité , acides , ...etc.).Et la température du milieu ambiant, donc La corrosion est le résultat des réactions chimiques et électrochimiques.

Selon la nature du milieu d'accueil on distingue : - la corrosion sèche

-la corrosion humide

A) - corrosion sèche

La corrosion sèche est produite par l'attaque d'un métal par un gaz généralement à température élevée .

Par exemple :
$$\text{Fe}_2 + \text{cl}_2 \longrightarrow \text{Fe}_2\text{cl}_2 \quad (\text{II}, 01)$$

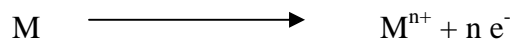
B) - corrosion humide

Elle se produit en présence d'une solution cela veut dire que la majorité des problèmes de corrosion rencontrées sont lies à la présence d'eau au contact des métaux , c'est le cas de

la nature (eau douce , eau de mer, les soles sales ,..Etc.) . Les différents phénomènes de corrosion humide sont tous d'origines électrochimiques qui se ramène à l'étude des piles ..

Une pile de corrosion comprend

Une partie métallique anodique (siège de la réaction d'oxydation).



Une partie métallique cathodique (siège de la réaction de réduction).

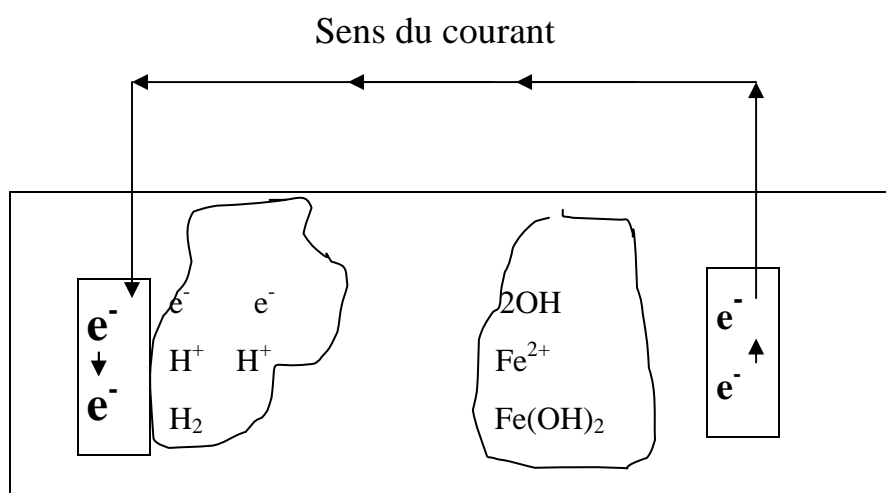
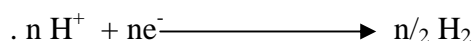


Figure (II, 01): schéma de corrosion de Fer

III- Classification de la corrosion

On peut classer la corrosion suivant :

- Les aspects morphologiques;
- les modes de formation.

III- 1- Aspects morphologique de la corrosion

D'une manière générale l'examen à l'œil nu , à la loup ou au microscope, permet d'identifier quatre types de corrosion. [5]

III-1-1 Corrosion uniforme

Dans ce cas , la corrosion se développe uniformément sur surface du métal,(la vitesse de dégradation est identique en tout point) ,les caractéristiques des conduites ne s'altèrent qu'à long terme.

III-1-2 Corrosion par piqûre

La corrosion attaque certaines parties localisées du métal, elle peut se propager rapidement, des perforations graves du métal. peuvent apparaître .elle est due aux dépôts qui provoquent une aération différentielle d'où de l'apparition des piqûres .

III-1-3 Corrosion inter granulaire

C'est l'attaque corrosive des joints entre les grains du métal, ce qui provoque une décohésion du métal, et une modification dangereuse de ces propriétés mécaniques.

III-1-4 Corrosion transgranulaire

C'est la corrosion la plus dangereuse sur les conduites enterrées, du fait qu'elle caractérise la corrosion sans contraintes. Elle se développe suivant les fines fissures où le métal se dissout. Elle peut se développer très rapidement provoquant des fissures profondes et éclatement des conduites.

Ces quatre types de corrosion peuvent coexister dans une même installation .

III-2- Modes de formation de la corrosion

La corrosion se subdivisent selon leur mode de formation en se qui suit :

III-2-1- Corrosion électrochimique

C'est la destruction du métal par des réactions chimiques et électrochimiques lorsqu'il est en contact avec un milieu gazeux ou liquide.

L'aspect électrochimique de la corrosion se manifeste par la formation de diverses piles en phénomènes primaires (Piles à métaux différents, Pile volta, Pile de concentration, Electrolyse simple.)

Les phénomènes secondaires se manifestent par des :

- Equilibres électrochimiques;

- Oxydoréduction

Vu que la corrosion électrochimique est la plus couramment rencontrée, donc l'étude qui suit sera basée sur cet aspect.

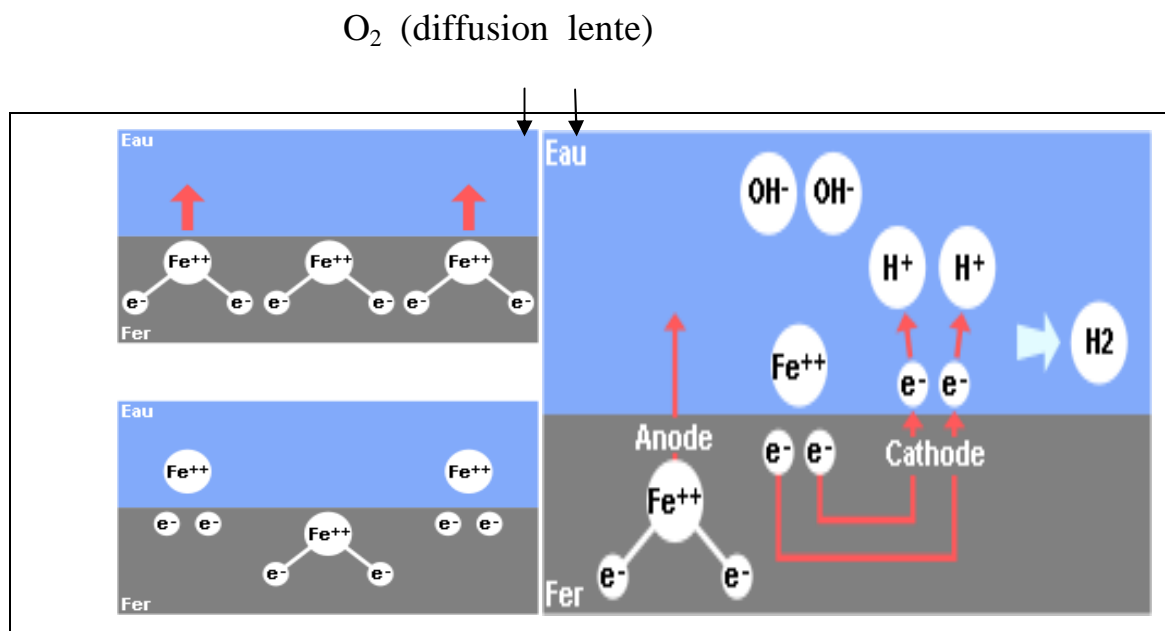


Figure (II, 02): schéma d'une pile électrochimique

III-2-2- Corrosion biochimique

dans certaines conditions climatiques, la corrosion des structures métalliques enterrées peut être accélérée par l'activité de certaines bactéries de la manière suivante : Formation de dépôts adhérents au métal. Libération d'agents chimiques agressifs, et L'activation anodiques par oxydation des ions métalliques, puis la stimulation cathodique par action de déshydrogénés

a - Dépôt microbien

Dans ces dépôts se mêlent : algues, bactéries, levures et moisissures...etc.

Ces dépôts provoquent une aération différentielle qui peut causer des corrosions par piqûres;

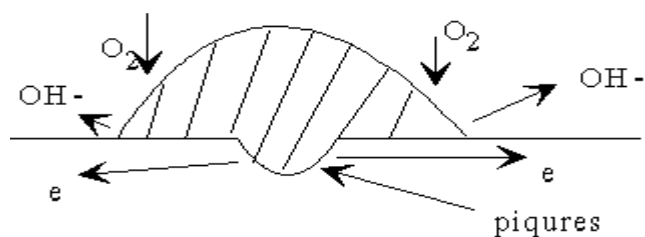


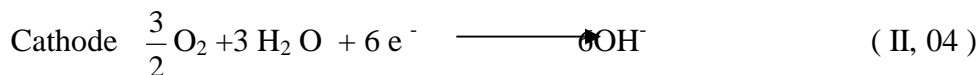
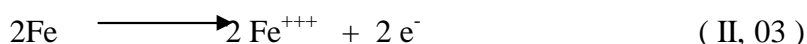
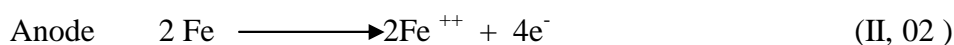
Figure (II, 03): dépôt microbien

b - Libération d'agents chimiques Agressifs

Au cours de leurs métabolisme vital, et spécialement en absence d'oxygène les bactéries libère des acides organiques tel que les lactiques citriques ... etc., ces dernières provoquerons un abaissement local du PH ainsi une attaque du métal.

C - L'activation anodique

Certains micro-organismes métabolisent le fer ferreux, ce qui favorise la dissolution du métal en contact avec le milieu aqueux, entre autre certain bactéries transforme le fer ferreux en hydroxyde ferrique hydraté :



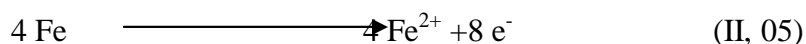
Jusqu'aujourd'hui on connaît mal les bactéries responsables de ce type de corrosion.

d - la corrosion cathodique :

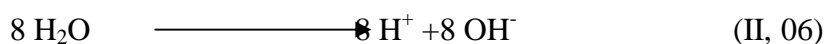
Ce type de corrosion est fréquent dans les canalisations enterrées, en terrain argileux anaérobies.

L'ensemble des réactions peut présenter comme suite :

Processus anodique pour le fer



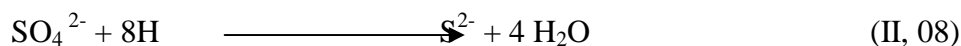
Dissociation électrolytique de l'eau



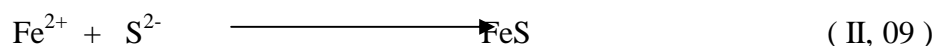
Processus Cathodique (milieu neutre privé d'O₂)



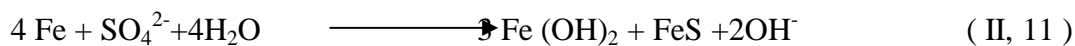
Processus biochimique de polarisation cathodique



Processus chimique secondaire (produit de corrosion)



Soit globalement:



IV- Mécanismes de corrosion

Le mécanisme de la corrosion se subdivise en ce qui suit :

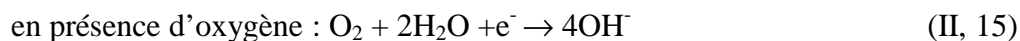
IV-1- Oxydation et réduction

On parle d'oxydation lorsque un corps sous certaines sollicitations électrochimiques perd des électrons, par contre la réduction qui le gagne des électrons.

Donc on peut écrire :



En présence d'oxygène la molécule H_2O capte ces électrons



Les réactions (II, 14), (II, 15) sont les réactions d'oxydoréduction.

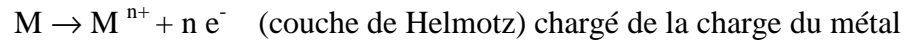
IV-2- Aspects électrochimiques de la corrosion

Il est connu que la nature du matériau et les facteurs du milieu sont les facteurs essentiels des phénomènes de corrosion. On distingue ici deux aspects: le premier est thermodynamique qui décide de la possibilité de déroulement des réactions de corrosion, l'autre est cinétique qui s'intéresse aux mécanismes qui conditionnent la vitesse de corrosion.

IV-2-1- Aspect thermodynamique

Soit un métal M pur est homogène plongé dans un électrolyte à l'interface métal solution se forme une couche double.

La première couche compacte d'ions adsorbés



La deuxième couche c'est une couche diffuse dont laquelle la concentration des ions métalliques est supérieure à celle dans le milieu à laquelle se mêlent des colloïdes chargés électriquement (couche de Gouy-Chapman). Cette couche double inspire un équilibre métal - solution, toute perturbation de cet équilibre par les facteurs du milieu lance le processus de corrosion. Dans le milieu (sols), le métal a tendance à atteindre un équilibre stable, cette stabilité ne peut s'atteindre que si on a un niveau d'énergie minimale. La différence de potentiel entre le métal et le milieu est donnée par la formule de :

$$\text{NERSTE: } (E_0 + (RT/ nF) \ln (a (M^{+n})/m).$$

Où E : Potentiel du métal

E_0 : Potentiel normal du métal à la température T

R : constante des gaz parfaits

a : coefficient d'activité de l'ion métallique

(M^{+n}) concentration de la solution ions en M^{n+} (mol/l)

F : nombre de Faraday **96487** coulomb

n : Charge de l'ion métallique

La réaction sera plus spontanée dans le sens où "a" décroît, puisque les réactions de corrosion sont réversibles, le potentiel varie avec le temps, la variation d'enthalpie (ΔG) varie donc avec le temps.

IV-2-2- Aspect cinétique de la corrosion

La corrosion se traduit souvent par la formation de piles de corrosion, la vitesse de corrosion est liée directement dans de larges mesures à l'intensité du courant de corrosion. La relation entre le courant de corrosion et le potentiel peut être mise en évidence par la courbe de polarisation cathodique et anodique.

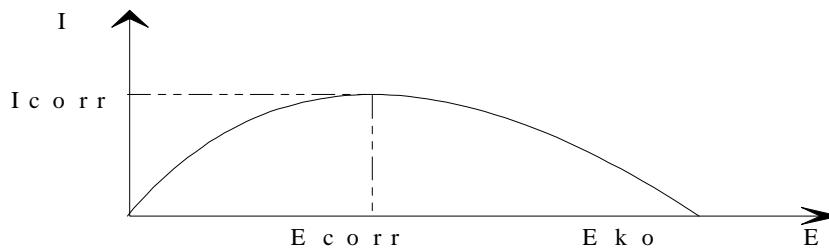


Figure (II, 04): courbe de polarisation (diagramme d'EVANS)

I_{corr} est le courant le plus important que peut produire la pile de corrosion.

Les phénomènes de polarisation se subdivisent en trois étapes :

IV-2-2-A- polarisation d'activation

Elle correspond aux variations d'énergie libre à l'interface métal - solution liée au passage des atomes du métal à l'état d'ions et inversement

La surtension d'activation peut être donnée par la droite de TAFEL malgré qu'elle n'est pas vraiment une droite :

$$\eta = a + b \log j$$

η : Surtension d'activation = E imposé - E corrosion

a, b : constante liée aux système (métal - solution)

j : densité du courant = i (Ampère par seconde)

L'intersection des droites de TAFEL (anodique et cathodique) donne le courant de corrosion.

IV-2-2- B- Polarisation de diffusion

Elle intervient lorsque la vitesse de diffusion des ions limite la vitesse de réactions.

L'intensité de courant tend vers une valeur limite, les droites de TAFEL ont tendance à fléchir

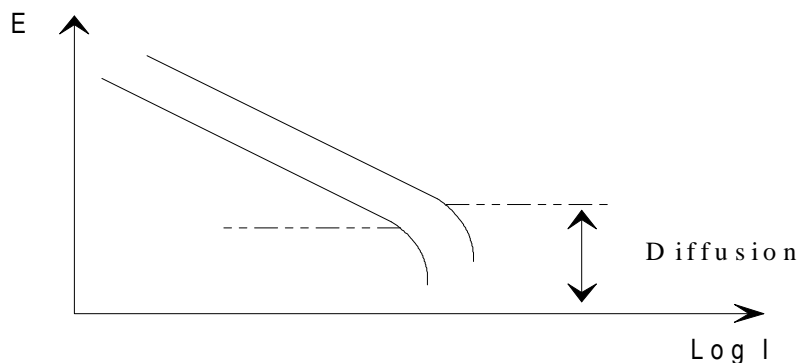


Figure (II, 05) : Polarisation de diffusion

IV-2-2- C- Polarisation de résistance

Lorsqu'une couche de produit de corrosion se forme sur le métal, celle-ci présente une certaine résistance au passage des électrons, le courant est donc plus faible, le processus de corrosion est amorti.

IV-3- Phénomènes de passivités

le phénomène de passivité présente une très grande importance, elle se caractérise par la présence d'un film passif ou couche passive à la surface de l'alliage métallique qui rend sa vitesse de corrosion faible

le film passif, fortement solidaire du substrat métallique empêche ou rend insignifiant le contact entre l'alliage et les agents plus ou moins agressifs du milieu environnant

La couche polarisation d'un alliage passivable apparaît comme cela

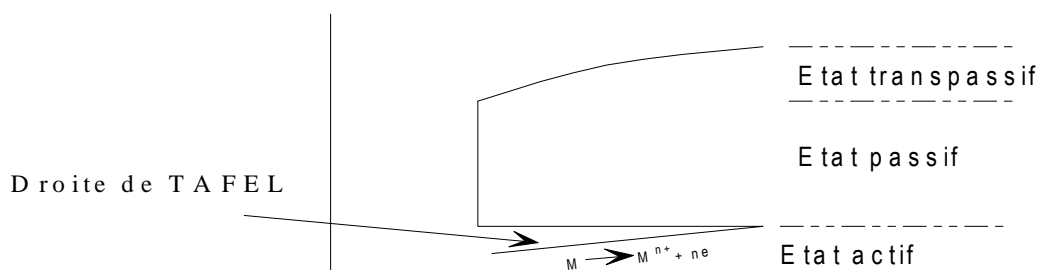


Figure (II, 06) : courbe de polarisation anodique d'un alliage passivable.

V- Principaux facteurs de corrosion

les processus chimiques et électrochimiques se produisent au sein de l'électrolyte, les facteurs inhérents au milieu peuvent donc avoir une influence sur leur déroulement. [2]

V-1- Association d'un métal avec un métal plus noble dans un électrolyte

Dans ce cas il y a création d'une pile corrosion avec comme anode le métal le moins noble et cathode le plus noble il y a donc une destruction d'un métal par rapport à l'autre. Cela ne se produit pas seulement pour deux métaux différents mais dans un même métal aux niveaux des zones hétérogènes.

V-2- Aération différentielle

Si une partie du métal est aérée au détriment d'une autre partie du même métal, il y a création de pile d'aération différentielle ou pile d'EVANS. Cela est due à l'augmentation du potentiel d'électrode du métal en présence d'O₂ ce qui rend la partie aérée cathode et non aérée anode, l'anode enregistre une dissolution du métal et perforation.

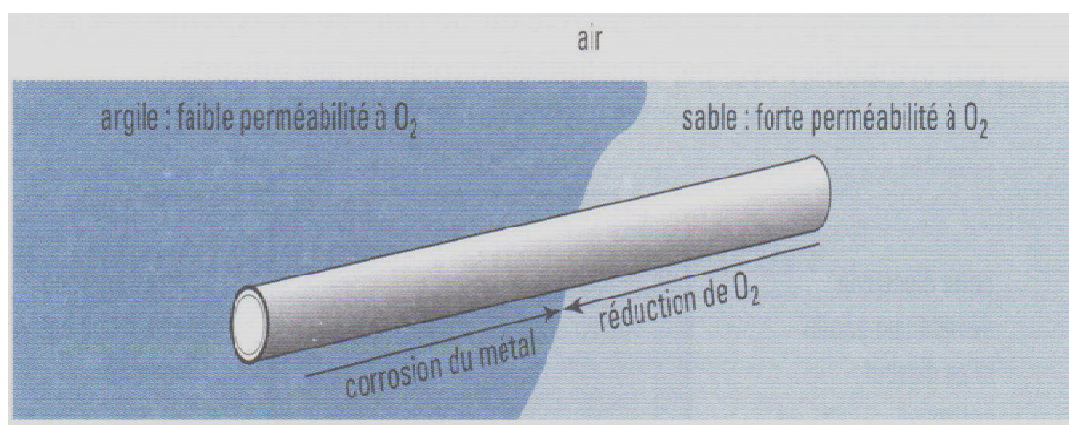


Figure (II, 7) : Schémas de corrosion par aération différentiel.

V-3-Acidité

la susceptibilité du matériaux composite aux différents type de corrosion est en fonction de PH de l'électrolyte, en effet le potentiel et l'intensité de courant électrochimique plus élevé en milieu acide .

V-4-Salinité

la salinité du milieu de corrosion provoque l'augmentation de la conductivité du milieu agressif aqueux .

V-5- Hétérogénéité thermique

Si la température du métal différent d'un endroit à un autre il y a création de pile locale de corrosion plus intense que l'hétérogénéité est grande.

Il y a d'autres facteurs. Tel que la variation de concentration de l'électrolyte, et phénomène d'électrolyse par l'existence de courants vagabonds.

VI- Corrosivité de l'eau

On devra au début distinguer entre la corrosivité et l'agressivité de l'eau.

VI-1- Agressivité de l'eau

C'est l'action de l'eau provoquée par le CO_2 libre agressif, c'est une action chimique due aux ions H^+ . Ceci est causé surtout par un déséquilibre calco-carbonique. Les paramètres qui surveillent l'agressivité sont : pH, CO_2 libre agressif

VI-2- Corrosivité

C'est l'action de l'eau provoquée par les électrolytes forts et complètement ionisés principalement des chlorures et des sulfures, l'action est surtout électrochimique elle est due à la conductivité ionique de l'eau à laquelle on ajoute l'action de l'aération différentiel, le résultat est souvent des piqûres profondes.

Le paramètre essentiel de surveillance de la corrosivité est la conductivité. L'action de l'eau est fonction de la vitesse de circulation, la tendance en gaz dissous, - dégazage possible, phénomène micro – biologique et l'ionisation du métal.

VI-3- facteurs de corrosivité de l'eau

Les principaux facteurs de corrosivité de l'eau sont :

VI-3-1- Oxygène dissous

L'oxygène joue un rôle particulièrement important en corrosion, on peut dire que le fer n'est pas corrodé dans une eau exempte d'oxygène dissous.

Dans une solution neutre l'oxygène est indispensable pour avoir une corrosion appréciable, sauf que la formation d'oxyde ferrique, réagit comme barrière vis à vis de l'oxygène, une eau mal aérée ne favorise pas la formation de cette couche tandis qu'elle peut favoriser la corrosion...

VI-3-2- CO_2 libre

Un déséquilibre chimique peut produire des quantités de CO_2 libre qui peuvent provoquer une abaissement du pH ce qui favorise l'agressivité.

Les points hauts qui ne sont pas munis de ventouse, les coups de béliers peuvent donner des accumulations gazeuses qui provoquent des émulsions corrodantes.

VI-3-3- Les ions Cl^- , SO_4

Ces éléments s'adsorbent aux matières spécifiques sur les couches passives de protection et peuvent les détruire.

Exemple : s'il s'agit de précipité calcique, celui-ci est rendu poreux par ces éléments et favorise la corrosion par piqûres.

La concentration critique de Cl^- est de 100mg/l et 150 mg/l SO_4 . Il faut donc veiller à ce que les teneurs ne dépassent pas les valeurs critiques surtout pour le Cl^- en phase de désinfection.[8]

VI-3-4- NH_4

Favorise la corrosion par piqûres surtout pour les alliages cuivreux.

VI-3-5- La température

Une augmentation de température peut amorcer les réactions électrochimiques de corrosion.

VI-3-6- La Résistivité

Une eau de résistivité faible facilite les échanges électrochimiques (une corrosion plus intense).

VII- Corrosivité des sols

VII-1- Position Du Problème

Les sols en étant le milieu d'accueil de la canalisation, sont le siège des réactions de corrosion. Les métaux sont des édifices industriels instables, qui ont tendance à devenir des minerais stables au cours de leurs séjours dans le sol. Le temps nécessaire à cette digestion varie en fonction des caractéristiques des métaux et du sol lui-même.

L'étude de la corrosion dans les sols est plus complexe (capillaire, poreux, souvent colloïdal) les caractéristiques ne sont pas uniformes tant à l'échelle microscopique qu'à l'échelle macroscopique) que l'étude suivant les lois d'électrochimie dans un électrolyte homogène du fait de la diversité des facteurs intervenants dans le processus de corrosion (pH, température, humidité,

salinité, ...etc.) et la variabilité de ces dernières dans le temps et dans l'espace .de ce fait l'étude de la corrosivité des sols s'est basé surtout sur l'étude de cas concret d'où la diversité des écoles d'appréciation de cette corrosivité .

VII-2- Caractéristiques d'un sol

Chaque sol se distingue par un certain nombre de caractéristiques qui permettent de la classé et d'apprécier sa corrosivité

Les principaux sont :

VII-2-1- Facteurs physiques

VII-2-1- A- nature géologique

L'origine géologique peut nous renseigné sur beaucoup choses parmi les quelles, la composition chimique l'activité biologique, teneurs en matière organiques,...etc.

VII-2-1- B- texture du sol

Nous renseignons sur la porosité aération et teneur en eau. L'humidité est en relation directe avec la résistivité qui conditionne les processus électrochimiques de corrosion dans le sol et aussi par son incidence sur l'aération du sol.

VII-2-2- Facteurs électrochimiques

VII-2-2- A- résistivité

la valeur de la résistivité est un critère important ,si non décisif ,d'appréciation de la corrosion , la résistivité nous renseigne aussi sur la teneur en sels, reste qu'elle est un facteur décisifs d'appréciation de la corrosivité. Le tableau suivant nous donne une idée sur le lien résistivité/corrosivité.

Tableau (II ,01) : corrosivité en fonction de la résistivité [2]

Résistivité du sol $m\Omega .cm^2$	corrosivité
<500	très élevé
500 à 2000	élevé
2000 à 5000	moyenne
5000 à 10000	faible
>10000	très faible

Il faut prendre en considération les autres facteurs pour apprécier exactement la corrosivité de sol.
(Voir Annexe II.1)

VII-2-2- B- pH

Le pH des sels naturel est compris entre 4 et 8 la mesure du pH est essentiel pour l'appréciation du potentiel REDOX.

VII-2-2- C- Le potentiel REDOX

le potentiel redox est un potentiel qui représente l'équilibre entre le métal et la solution et est représentatif de la corrosion du matériaux La mesure du potentiel REDOX permet surtout de mettre en évidence de degré de sensibilité à la corrosion .

Le tableau (II.02) montre que le potentiel redox à un effet sur l'agressivité du sol de point de vue corrosion.

Tableau (II.02) : Tableau de STARKEY ET WIGHT : corrosivité en fonction du potentiel REDOX :

E_H (pH = 7 à 20°C)	Corrosivité
>+400 mV	Négligeable
100 à 400 mV	faible
100à 200 mV	modéré
<+100 mV	forte

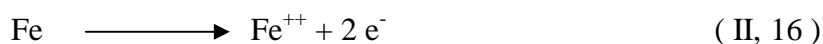
VII-3- Modes de corrosion dans les sols

VII-3-1- Corrosion électrochimique

Malgré que les lois électrochimiques ne puissent pas décrire fidèlement la corrosion dans le sol le métal se comporte tout de même dans de larges mesures de la même manière que dans un électrolyte. Les réactions anodiques dans les sols pour les canalisations en aciers sont des réactions d'oxydation du fer, on enregistre ce processus surtout dans les sols lourdes, compacts, très humides ou l'oxygène fait défaut.

Ce processus peut être accéléré par une activité bactérienne comme il peut être freiné par :

- un manque d'humidité
- constitution d'une couche barrière de produit de corrosion



Puis la formation de $\text{Fe}(\text{OH})_2$ hydroxyde ferreux en présence d'oxygène il y a oxydation de l'hydroxyde ferreux en hydroxyde ferrique

Les processus anodiques et cathodiques forment les processus chimiques des piles de corrosion dans les sols.

VII-3-2 Corrosion par électrolyse

Les courants vagabonds ont tendance à parcourir dans les sols les canalisations métalliques comme des chemins de moindre résistance. L'entrée du courant dans la canalisation est considérée comme cathode et la sortie anode ce qui conduit à de graves dissolutions du métal au niveau de l'anode. Le courant vagabond provient de la prise de terre des lignes électriques de chemins de fer....etc. Reste à préciser que les conduites à joint en élastomères sont moins sensibles que les conduites électriquement continues.

VII-3-3- corrosion bactérienne

Étant le siège de développement des colonies bactériennes, le sol enregistre souvent une corrosion biochimique (voir corrosion biochimique) si les conditions favorables à cette dernière (température, pH.....) sont disponibles.

VIII- Changement des caractéristiques hydrauliques

Le changement du régime hydraulique, peut se présenter par la diminution de la capacité de transport et par l'apparition des fuites au niveau des endroits endommagés par la corrosion. Ce changement est due à la l'impact de l'augmentation de la rugosité et de l'influence de l'état de surface du métal constituant la conduite d'eau.

VIII-1- l'impact de l'augmentation de rugosité

La rugosité est le paramètre qui nous renseigne sur l'état de surface des parois internes de la conduite en contact avec le fluide. Donc le changement géométrique (La réduction de diamètre par l'augmentation de rugosité qui entraîne l'accroissement des dépôts). Par l'effet de la corrosion d'une conduite de revêtement mal réaliser, peut entraîner une légère diminution de la capacité hydraulique du réseau. La formation des irrégularités au niveau de la paroi interne de la conduite favorise la prédominance d'écoulement turbulent rugueux d'où l'augmentation de la perte de charge car si la rugosité est ondulée, le film laminaire de la couche limite pourra se modeler sur les ondulations, et au contraire si elle présente des arrêtes vives le film sera aisément écorché puis déchiré par les aspérités.

L'état de surface est un paramètre important qui nous donne une idée sur l'apparition des protubérances corrosives à la surface interne d'une conduite d'eau. Une surface rugueuse implique un état de surface tel que ses irrégularités ont une action directe sur les forces de frottement, c'est-à-dire qu'au de là, d'un certain degré de rugosité la configuration mécanique de la surface exerce une influence bien déterminée sur ce qu'on appelle (l'intensité de l'agitation de turbulence). De même les protubérances corrosives ont tendance à favoriser le dépôt des sédiments de tartre provenant, notamment de l'eau chaude, par conséquent un changement des caractéristiques géométriques de la conduite se produit.

VIII-2- l'apparition des fuites

Il est évident que la corrosion (surtout la corrosion externe) est la cause principale des fuites au niveau des réseaux ,ce qui entraîne une chute de pression et des pertes d'eau et si on ajoute une simple augmentation de la consommation le problème posé sera plus important et plus grave et les risques de pollution peuvent se multiplier .

IX- Changement des caractéristiques mécaniques

L'exploitation des pièces, en générale, doit se faire dans les limites imposées par les caractéristiques mécaniques du matériau, R_m (résistance à la traction du matériau) et R_e (limite

élastique du matériau). La corrosion provoque l'accroissement du risque de dépassement de la contrainte limite de rupture ce qui conduit à une rupture évidente, et un dépassement de l'endurance qui entraînera la rupture par fissure, en plus de la limite de fatigue qui ferait passer la pièce (la conduite) en zone d'amorçage des fissures.

L'expérience à montrer que plusieurs conduites se rompent en service d'une manière brusque et sans déformation plastique, ceci est causé dans la plupart des cas par la fatigue par corrosion. Étant donné que les conduites sont soumises à des charges diverses (poids propre de la canalisation , sollicitations thermiques , l'action de l'assemblage des tubes, l'action des terres surmontant le tube , l'action des surcharges , effet de la pression interne , effet de la pression hydrostatique de la nappe souterraine , ...etc.) .Provoquant des périodes d'accélération des fissurations conduisent à la rupture de conduite, causant ainsi des pertes considérables des volumes d'eau. Avant de parler sur l'influence de la corrosion sur les caractéristiques mécaniques de conduite, il est préférable de connaître la signification de mot « corrosion sous contrainte ».

XI-1- Corrosion sous contrainte

La corrosion sous contrainte, (CSC) correspond à l'attaque du milieu corrosif d'une conduite sous contrainte provenant soit des charges appliquées, soit des contraintes résiduelles engendrées par les soudures et le travail à froid. La CSC se manifeste par deux catégories :

- Amorçage de la fissure et propagation.
- Croissance de la rupture due à :
 - ✓ Une action combinée de la corrosion sur et du mouvement de sol sur la conduite.
 - ✓ Une augmentation de la pression interne.
 - ✓ Une action violente dans le tuyau : coup de bélier (peut provoquer des cassures longitudinales et des déboîtements, aspiration des joints en cas de dépression).

XI-2- influence de corrosion sur les dimensions (effet échelle)

On a déjà vu que la corrosion augmente la rugosité, pour cette raison beaucoup d'essais montrent que la pièce qui présente des rugosités d'usinage, se rompent plus vite que les pièces parfaitement polies, cela peut s'expliquer par le fait que les fissures prennent naissance à la

surface, ou une rugosité s'accompagne d'une modification structurelles des couches et de l'état de contrainte.

XI-3- influence de la corrosion sur les fissures

En milieu corrosif, la progression accélérée de la fissure peut s'expliquer par le fait que la couche d'oxyde est le siège de microfissures qui se propagent encore plus rapidement, en plus de la transformation chimique de la matière qui compose le métal.

XI-4- corrosion et phénomène de fatigue

On entend par ce titre que la corrosion va accélérer le passage du métal d'un domaine élastique à un domaine plastique ce qui favorise la rupture brutale par la suite, ou entraîne une rupture brusque, sans déformation plastiques qui précède L'endommagement par fatigue est mené jusqu'à la ruine de la structure. [3]

La fatigue comprend trois périodes importantes :

A) – période d'amorçage :

C'est la naissance de microfissures. La mise en évidence des signes indicateurs de la fatigue en ce stade est très difficile, car le phénomène, mis en jeu est d'une très grande complexité.

B)- période de propagation :

Elle peut se présenter en deux stades :

Stade 1 : Des microfissures avec des vitesses faibles.

Stade 2 : Une ou plusieurs fissures vont quitter le plan où elles sont nées pour suivre le plan des tensions maximales.

C) – Rupture brutale : Lorsqu'une fissure intéresse une section déterminée, la section résiduelle est trop faible pour supporter les sollicitations, il se produit alors une rupture brutale.

XI-5- corrosion et calcul de résistance

La corrosion va influencer les valeurs des paramètres de résistance.

XI-5-1- contrainte admissible

Dans le calcul de contrainte admissible la corrosion va modifier considérablement la limite d'élasticité du métal. Donc le métal devient plus vulnérable aux sollicitations.

La contrainte admissible est donnée par la formule :

$$\sigma_a = \sigma_e / K_e \quad (01)$$

σ_a : contrainte admissible.

σ_e : limite élastique.

K_e : coefficient de sécurité.

XI-5-2- épaisseur de la conduite

On a vu précédemment que la corrosion diminue l'épaisseur de la conduite, donc elle modifie l'épaisseur nécessaire à la canalisation pour supporter les sollicitations. L'épaisseur est donnée par les formules (02) et (03) :

$$\text{- en charge : } e > (P_i * R) / \sigma_a \quad (02)$$

$$\text{- à vide : } e > [(3 * R^3 * P_e) / E]^{1/3} \quad (03)$$

Ou :

e : épaisseur de paroi ;

P_i : pression interne ;

P_e : Pression externe ;

R : Rayon du tube ;

σ_a : contrainte admissible ;

XI-5-3- pression critique

Par définition, c'est la pression maximale supposée pouvoir être supportée par la conduite. La conduite sous l'effet de la corrosion peut subir un casseur brusque par une pression plus ou moins que la pression critique. La formule (04) montre que l'épaisseur est liée directement à la pression critique :

$$P_{cr} = (E * e^3) / (4 * (1 - \nu^2) * R^3) \quad (04)$$

E : Modul de YOUNG ;

U : Coefficient de POISSON ;

X- Vieillissement des conduites d'eau potable

Le vieillissement d'une conduite correspond à sa dégradation dans le temps, qui se manifeste par l'observation de certains dommages, ou par un mauvais fonctionnement hydraulique du réseau.

Tous ces phénomènes peuvent être regroupés en deux catégories :

➤ **Mauvais fonctionnement hydraulique du réseau engendré par le vieillissement d'une conduite**

- ✓ Chute de pression : lorsque la section utile de la conduite diminue à cause de l'entartrage, de protubérances dues à la corrosion.
- ✓ Fuites diffuses : dues à la détérioration des joints ou à la corrosion des tuyaux. Une forte augmentation de leur nombre peut avoir une incidence directe sur le réseau et diminuer le rendement.
- ✓ Rupture : dues à l'action combinée de la corrosion sur la conduite et de mouvements de sols (vibration, séismes, travaux divers).

➤ **Dommages divers engendrés par le vieillissement d'une conduite**

- ✓ Détérioration de la qualité de l'eau :

On peut distinguer deux types de dommages liés à la dégradation de la qualité de l'eau. Le premier est celui qui engendre la non-potabilité de l'eau. Il faut alors élaborer un nouveau traitement rendant cette eau potable. Le deuxième concerne l'augmentation du nombre des plaintes des abonnés dû à une apparence négative de l'eau (odeur, couleur, goût,..). Ceci entraîne alors une baisse d'image de marque du service exploitant.

- ✓ Fuites diffuses :

Elles peuvent indirectement déstabiliser la conduite, d'où une rupture au niveau des points fragiles du tuyau.

Chacun de ces dommages engendre des coûts indirects, qui peuvent être souvent nettement supérieures aux coûts directs de main d'œuvre pour effectuer la réparation.

Le vieillissement d'une conduite ne correspond pas à un seul phénomène ayant lieu sur la

conduite mais plutôt à l'action combinée de plusieurs facteurs propres à la conduite et à son environnement. [2]

XI- Conclusion :

A partir de ce chapitre ,on peut conclure que la corrosion est un sujet très délicat vis-à-vis de la multiplicité de mode d'apparition régis par des différents facteurs liées à la nature du matériaux et l'environnement . Donc l'intérêt s'est dirigé vers la recherche des matériaux destinés à être employer dans des milieux corrosifs.

La corrosion à un impact directe sur les caractéristiques mécaniques des conduites, les derniers sont responsable de la résistance aux diverses sollicitations, la diminution de ces caractéristiques augmentent les risques de rupture sous des sollicitations normalement supportés par la conduite (coup de bélier, les charges du sol), la corrosion augmente aussi considérablement les pertes de charge en augmentant la rugosité et en diminuant le diamètre par la suite des dépôts qui diminuant la capacité de transporte de conduite.

Avant d'aborder les moyens de lutte et de prévention contre la corrosion dans les conduites en alimentation en eau potable. Les différents types de conduites et leurs caractéristiques seront décrits en précisant leur vulnérabilité vis-à-vis de la corrosion.

I- Introduction :

Le besoins de matériaux plus résistant à la corrosion entraîné le développement d'un très grand nombre de matériaux qui n'existaient pas auparavant .

Car le lien corrosion- matériaux est évident. Puisque la majorité des problèmes de corrosion sont liées aux choix des matériaux. Les propriétés mécanique des matériaux , leurs propriétés de mise en œuvre, leurs prix ou leurs disponibilités sont bien souvent des paramètres tout aussi déterminant dans le choix ainsi que leurs résistance à la corrosion . Les principaux matériaux peuvent être réunis dans ce qui suit :

II- Matériaux métalliques

II –I - Acier

Il y a environ cinquante huit (58) nuances d'acier sont couramment commercialisées, il existe trois familles principale d'acier : les acier au carbone , d'usage générale.les acier faiblement allies, pour haute résistance et fortement allies , d'usage particulier.

II-1-A – Caractéristiques

Les tube en acier sont fabriqués à partir de bobines laminées à chaud ; la bobine est cintrée à froid et soudée bord à bord en continu ; les soudures sont en principe longitudinales jusqu'au diamètre 400 mm, et hélicoïdales au-delà ; elles peuvent se faire à l'arc submergé sous flux solide, ou sans apport de métal par résistance à haut fréquence.les tubes sont alors coupés à la longueur voulue, puis tulipes et chanfreinés, avant d'être grenailés et revêtus.

Les tubes en acier sont livrés en longueurs fixes comprises entre 6 et 14m, leurs épaisseur est de 3 à 9mm, ils sont plus souples que ceux en fonte, ils s'adaptent bien aux irrégularités du lit des tranchés, de ce fait ils n'ont pas obligatoirement besoin de joints comme les tubes en fonte.

II-1-B- Vulnérabilité

Les conduites en acier sont les plus sensibles à la corrosion de diverses sortes.

Car Elles présentent souvent des fuites au niveau :

- Des raccords
- Des soudures mal faites

Par contre la rupture est peu fréquente. **Donc un bon revêtement accompagné d'une protection cathodique bien dimensionnée permet de protéger la conduite pendant un temps de service assez long.**

II-2- Fonte

C'est un matériaux métallique ferreux très utilisé ,Elle contiennent entre 2 à 4 % de carbone .les conduites en fonte sont en générale assez fragiles , peu ductiles et difficilement soudables .

III -2-1- Fonte grise

Ou appelle aussi fonte à graphite lamellaire (FGL), les plus utilisée ce sont les fontes de moulage par excellences. La fonte grise est le matériau le plus adopté pour les conduites enterrées, transportant tous types d'eau.

III -2-1-A- Caractéristiques

La fonte brute, à la sortie des fourneaux, est de phosphatée, décarburée, et centrifugée dans des moules. Les conduites en fonte sont robustes, lourdes, rigides et solides. Elles peuvent supporter des surcharges importantes, c'est pourquoi elles sont recommandées pour les canalisations passantes sous les rues principales. Les diamètres nominaux sont de 60 a 1200mm pour des longueurs de 6 a 8m le revêtement est la plupart du temps en goudron.

II -2-1-B- Vulnérabilité

Leur rigidité rend la résistance, aux grandes tensions, faible; de ce fait elles sont très sensibles aux mouvements de terrain (la conduite travail en flexion.), et très sensibles aux charges concentrées et aux appuis pointus.

Leur résistance aux chocs est faible, par contre elles résistent mieux à la corrosion, il est à noter que les ruptures de la fonte sont toujours transversales.

II-2-2 - Fonte ductile

Ou appelle aussi fonte à graphite sphéroïdal (FGS) elles viennent juste après les FGL pour leurs utilisation .L'introduction d'une faible quantité de magnésium dans la fonte grise avant le moulage permet d'éliminer tous risque de rupture..Ces matériaux pressent des propriétés mécaniques exceptionnelles Supportant des déformations importantes est doté d'une aptitude à l'étirement Avant rupture remarquable.

II-2-2-A – Caractéristiques

La fonte ductile a été confectionnée pour avoir une souplesse voisine à celle de l'acier, une robuste et résistance aux surcharges et à la corrosion Elle résiste mieux à la flexion, la résistance à la traction est de l'ordre de 4200 bras. En additionnant du magnésium au moment de la coulée, le graphite se cristallise sphériquement au lieu de l'aplatissement.

II-2-B- Vulnérabilité

Une mauvaise protection cathodique peut provoquer des trous au niveau de la canalisation .Et les surpressions tels que les coups de béliers peuvent provoquer des cassures longitudinales et des déboîtements, aspiration des joints en cas de dépression.

III- Matériaux à base de ciment

III-I – Béton

On trouve : - des tubes en béton arme, le tubes à âme tôle, les tubes en béton .Et les tubes en béton précontraint.

III-I-A - Caractéristiques

Les tuyaux en béton armé sont fabriqués en faisant couler du béton dans un moule centrifugée ou vibré .Elles sont soit sans armatures soit armé en acier rond ou en arme de tôle.

Elles sont utilisées surtout pour les conduites d'adduction ; souvent à faibles pressions elles résistent bien aux surcharges et aux attaques corrosives.

III-I-B- Vulnérabilité

Les tuyaux en béton présentent souvent des fissures au niveau des joints. Elles sont très sensibles aux mouvements de terrains et aux charges concentrées. Possédant sensibilité au choc brutal.

En général les tuyaux rigides (béton, acier, fonte) présentent les mêmes aspects de vulnérabilité.

IV- Matériaux organique

IV-I- PVC: (poly vinyle chlorure)

IV-I-A - Caractéristiques :

Les tuyaux en PVC sont fabriquée avec un polymère par la poly- addition d'un monomère (chlorure de vinyle $-CH_2-CHCl$), fabrique jusqu'au DN 200, ils peuvent supporte de pressions allant jusqu'à 16 bars.

IV-I-B - Vulnérabilité

Les conduites en PVC présentent la plupart du temps des ruptures longitudinales ou, des écrasements localisent.

- elles sont sensibles aux surpressions (coups de bélier).
- sensibilité aux surcharges surtout à vide.
- possibilité d'agression chimique par la colle utilisée pour le raccordement.

IV-2 - Polyéthylène : P.E

IV-2-A- caractéristiques :

C'est aussi un polymère $(-CH_2-CH_2-CH_2-)_n$ les conduits en PE se subdivise en :

- PEHD: pour les hautes densités.
- PEBD: pour la basse densité.

Ces conduits sont utilisés généralement pour les branchements domestiques.

IV-2-B- Vulnérabilité

- les conduites en P.E sont sensibles aux surcharges et aux appuis pointus.
- les lubrifiants, les détergents, les agents de rinçage, les huiles - silicones, et autres, substances semblables peuvent causer des dégâts par corrosion.
- les huiles et graisses peuvent gonfler la conduite
- les petites fissures et trous ont tendance a se propager rapidement.
- les conduites en PE sont perméables aux essences benzènes, les dissolvants, les hydrocarbures chlorés et autres substances similaires; se qui peut altérer la qualité de l'eau.

IV-3 - Plastique renforcé de fibre de verre

IV-3-A- Caractéristique

C'est les conduites plastiques renforcées de fibres de verre pour améliorer leur résistance afin de supporter des pressions plus importantes, elles ont une structure en sandwich: c'est des couches superposées se composant de: - résine polyester: liant, fibres de verre: renforcement, ou armatures. Et de sable siliceux: de remplissage.

Les diamètres nominaux sont de: DN 200 à DN 2400 utilisée pour le transport sur des longues distances de l'eau brut et potable.

IV-3-B – Vulnérabilité

Sensibles aux surcharges et à la sollicitation concentrée Concernant les conduites renforcées de fibres ne sont pas attaques par la corrosion. [4]

V - Recommandations

Les plus importantes recommandations sont:

A– Manutention

Au cours des manutentions ,les chocs préjudiciables au revêtement sont à éviter ,en outre, on ne doit pas faire rouler les tubes revêtus sur des cailloux ou des aires sans chemins de roulement convenablement préparés.

Pour le chargement et le déchargement, il convient de toujours utiliser des engins de levage de puissance suffisante.

- le chargement et le déchargement doivent se faire avec prudence.
- éviter les chocs brutaux surtout pour les canalisations rigides (fonte, A.C, béton)
- veiller a ne pas endommagé les revêtements.

B - Transport

L'acheminement par route exige que les camions découverts soient bien adaptés au transport des tuyaux et soient équipés d'engins mécanique les montants des camions ou wagons (chemin de fer) et éventuels intercalaires en bois doivent être matelassés .

les lits de tubes revêtus peuvent également isolés les uns des autres par des matelas ou des anneaux appropriés.

- Eviter de transporter les tuyaux en porte à faux.
- concevoir des berceaux sur les remorques de transport
- éviter l'empilement des conduites, surtout celles qui sont lourdes.

C- Stockage

Pour un bon stockage , il convient de respecter les dispositions suivantes :
l'aire de stockage non inondable , stabilisée compactée est si nécessaire, libérée de tous matériaux préjudiciables.

- poser les tuyaux sur des madriers ;
- rapprocher les appuis pour éviter le fléchissement sous le poids propres ;
- stocker en abris couverts, surtout pour les conduites en acier.

D- Pose

-Avant la pose , il convient de vérifier le bon état des revêtement intérieur et extérieur.

- Utiliser un engins de levage de puissance et dimensions suffisantes .
- Les tubes doivent reposer sur des cales en bois assez larges à bords arrondis soit de préférence sur des sacs de sable.
- bien préparer le lit de pose en évitant les cailloux et les appuis, pointus, et les irrégularités du lit.
- prévoir des lits de sable de 10cm
- ne pas laisser chuter la conduite dans le tranché.
- pour les conduites en PVC et PE, la pose doit prévoir des sinuosités pour absorber toute dilatation ou rétrécissement de la conduite.
- remblayer jusqu'à 15cm au dessus de la conduite avec de la terre fine.
- pour les conduites en PVC et PE il faut éviter les zones à fort trafic, et prévoir des tranchés qui ne doivent pas dépasser les 2m de profondeur.

- éviter de poser les conduites en terrain pollué surtout pour celles en PE.

E. Remblayage

Généralement, on remblais la tranchée avec les matériaux qui en été extraits sauf s'ils sont rocheux et risquent de blesser le revêtement dans ce cas, jusqu'à 15 cm au moins au dessus de la conduites ,le remblayage sera exécuté avec des Déblais meubles et sains soigneusement purgés des pierres des cailloux et des matières dures ou coupantes.[8]

VI- Conclusion

Les matériaux sont confectionnés et choisis, principalement en fonction des conditions de travail des conduites. Le choix du matériau idéal du point de vue technico- économique nécessite une étude approfondie des facteurs qui influencent l'état de la conduite lors de son service, et des caractéristiques de chaque matériau.

Les praticiens sont montré que les causes des fuites est due à la majeure partie des causes des erreurs de pose, surtout pour les conduites en matière plastique, dont les techniques d'installation et d'exploitation ne sont pas maîtrisées chez nous de plus dans toutes les études, on trouve toujours les caractéristiques du sol, mais l'utilisation ces données n'apparaît que rarement.

I-Introduction :

La prévention de la corrosion doit commencer déjà dans la phase de planification, en d'autres mots, on doit prendre en considération la corrosion dès le début d'un projet jusqu'à sa réalisation, pour garantir une certaine durée de vie la plus longue possible, pour un coût minimal, donc le principe de base pour la lutte contre la corrosion est d'éviter la réaction d'oxydation (suppression des piles de corrosion).

La protection cathodique est une arme contre la corrosion de nature électrochimique, elle est capable de s'opposer complètement à l'action corrosive qui agit sur la conduite par l'électrolyte environnant. La protection cathodique est par elle-même une technique sûre d'anticorrosion de l'acier en contact avec un milieu agressif.

Il est parfaitement possible d'assurer la protection du métal nu sans aucune forme de protection passive extérieure, même si ce métal se trouve dans un milieu très agressif tel que l'eau de mer. C'est le cas notamment, de palplanches, pile de jetée.. etc. où la peinture protectrice initiale n'est pas prévue pour résister à l'érosion et à l'action de l'eau de mer.

De telles solutions nécessitent un courant de protection élevée et la mise en œuvre d'une installation très coûteuse dont le bon fonctionnement reste tributaire d'un entretien et d'une surveillance accrue.

On peut envisager trois méthodes de protection contre la corrosion :

- les revêtements protecteurs.
- les traitements du milieu.
- la protection cathodique.

II- Revêtements protecteurs

Le rôle principal du revêtement est d'assurer une protection efficace et de longue durée des parois des canalisations en constituant une barrière étanche entre les parois et le milieu environnant. Dans cette partie on s'intéresse aux revêtements extérieurs, car pour les revêtements intérieurs, les mortiers à base de ciment sont les plus répandus afin d'obtenir une bonne protection et un état de surface régulier, et il y'a

aussi les vernis hydrocarboné et les revêtements par le zinc appliqués soit à la trompé (bain de zinc fondu), soit par le zingage électrolytique (cette protection convient aux tubes à petit diamètre en acier).

Les canalisations enterrées ou aériennes sont souvent sujettes de corrosion, de cela vient l'obligation de prévoir des revêtements.

Les revêtements se subdivisent en deux classes :[5]

- revêtements passifs ;
- revêtement actifs ;

II-1- Revêtements passifs

Ce revêtement constitue une barrière étanche contre la corrosivité du milieu environnant. Le principe de ce type de revêtement est la réalisation d'une résistance d'isolation électrique élevée, afin de couper le courant aux réactions de corrosions électrochimiques.

Les principaux revêtements utilisés sont :

II-1-1- Les revêtements thermoplastiques

Les brais de houille et bitume de pétrole se sont les matériaux les plus fréquemment utilisés depuis plus de cinquante ans, on distingue, suivant leur origine, deux classes :

II-1-1- A- Les dérivées des goudrons et houilles

Ils sont les résultats de la distillation des goudrons et de houille à différentes températures .on distingue :

- les houilles
- les constituants cristallins
- le brais de houille (fraction restantes près distillation,)

II-1-1- B- Les dérivées de bitumes de pétrole

les bitumes de pétrole constituent des système colloïdaux de forte viscosité pour assurer :

Un meilleur comportement au vieillissement ;

Un meilleur comportement à la variation de température ;

Une résistance aux chocs et à la pression ;

Une plus bas du prix de revient ;

Les dérivées de goudrons, de houilles et les dérivées de bitumes de pétrole sont souvent associées à des matières minérales chimiquement inertes appelées "FILLET" pour améliorer leurs qualités.

II-1-1- C- Les polyoléfinés

Les plus utilisés sont les polyéthylènes ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$), et les polypropylènes ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$)_n et les polyéthylènes modifiés par irradiation par rayonnements atomiques à haute intensité qui augmentent les performances mécaniques et diminuent leur thermo-sensibilité. Les résines polyvinyliques : PVC ($-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{Cl}$)_n. Et le PVDC poly chlorure de vinylidène ($-\text{CH}_2-\text{C}-\text{Cl}_2$)_n.

II-1-2- Matériaux thermodurcissable

Les Matériaux thermodurcissable peuvent être mise en forme suivant trois catégories principales :

Les résines époxydes, les résines polyuréthane et les résines polyesters.

II-2- Revêtements actifs

C'est les revêtements qui n'isolent pas le métal électriquement mais qui offrent à sa surface une résistance plus importante aux attaques corrosives, par un revêtement plus électro-négatif, ou encore par déplacement du pH en zone de non-vulnérabilité.

les principaux revêtements actifs sont :

II.2.1 Revêtements minéraux

Ceux-ci sont essentiellement constitués de mortier de ciment, cette protection empêche toute attaque du métal par l'eau.

II.2.2 Revêtements métalliques

Ils assurent par l'une des métaux non ferreux en raison de leur caractéristiques électrochimiques, leur potentiel étant plus électronégatif que celui du métal à protéger, dans la pratique, on utilise : le zinc ou l'aluminium.

III- Traitement du milieu

Le traitement du milieu signifie en terme large la modification des facteurs et éléments caractéristiques des milieux environnants de la conduite (eau et sol).

Sauf que le traitement est appliqué seulement pour l'eau du fait de la difficulté, voir l'impossibilité de traiter le sol.

IV -La protection cathodique

IV.1 Principe de la protection cathodique

Cette technique consiste à assurer la protection d'une canalisation ou d'un réservoir métallique (cuve de pompe à essence) en couplant électriquement ceux-ci avec des anodes constituées par un métal moins noble que celui à protéger. Seules les anodes mises en place dites anodes sacrificielles se corrodent. Le métal à protéger ainsi cathode. [6]

L'application au système d'un courant continu fourni par une source extérieure permet d'améliorer l'effet de cette protection.

Selon **PURBAIX**, il est possible de protéger le fer par trois méthodes :

- ✓ Elever le potentiel pour se trouver dans la zone de passivation (protection anodique). La passivation caractérise l'état du métal recouvert d'une couche de pellicule (film protecteur) de $Fe(OH)_3$, et protège le métal, l'inconvénient est la libération des gaz H_2 qui créent un vide entre le métal et le revêtement. Ce dernier se détache facilement de la conduite.
- ✓ Rendre le milieu plus alcalin de manière à avoir le PH au delà de 10,5.
- ✓ Abaisser le potentiel de l'électrode pour se trouver dans la zone d'immunité (Protection cathodique) et ce quelque soit le PH de l'électrolyte Ce procédé est beaucoup plus utilisé que les autres (Potentiel de protection situe entre **(-0,85) et (-4) Volt**).

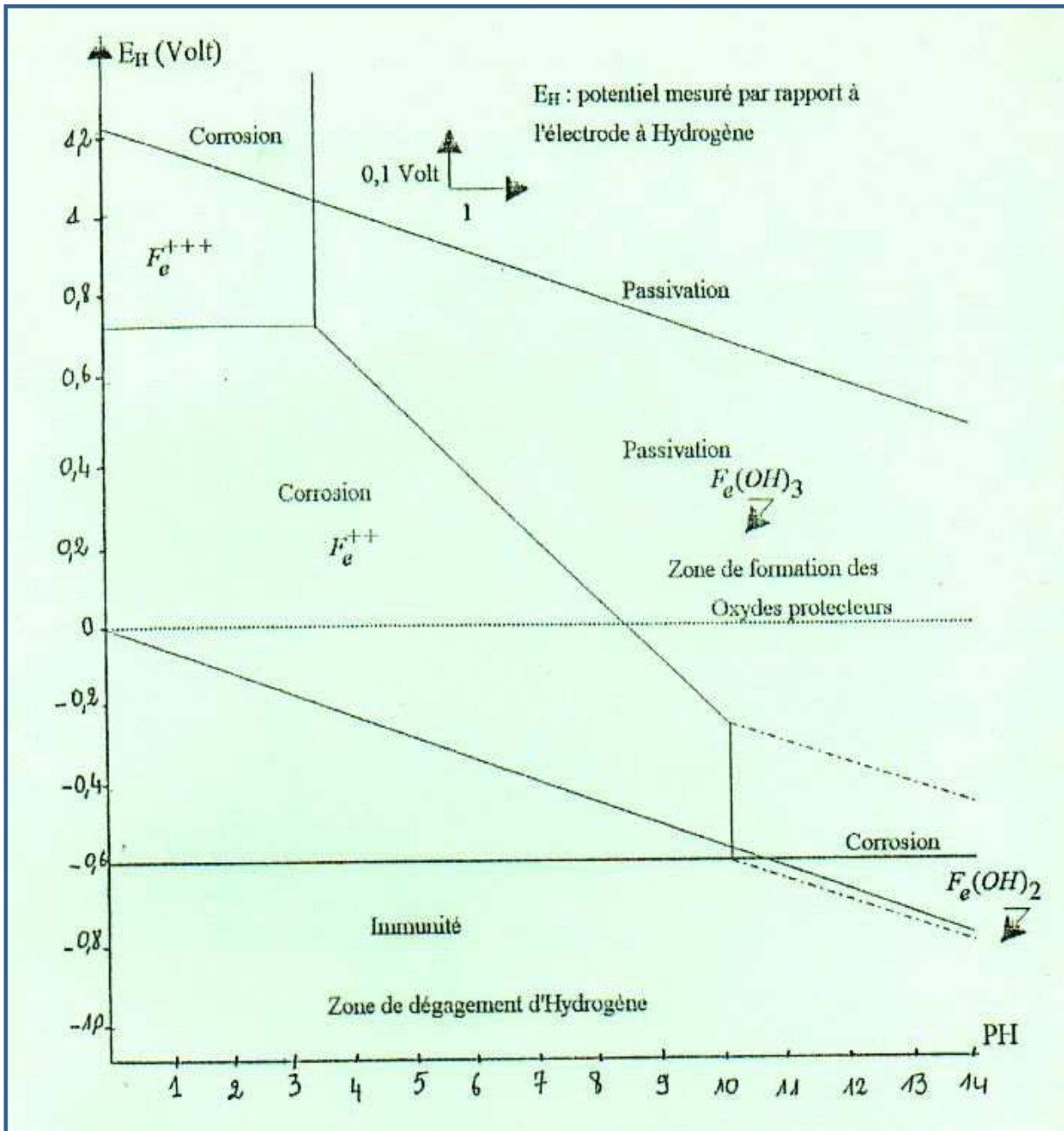


Figure (IV,01) : Diagramme de PURBAIX. [6]

IV-2 Protection par anodes réactives (anodes sacrificielles)

L'utilisation des anodes sacrificielles consiste à abaisser le potentiel du métal à protéger par rapport au sol en le reliant à un métal plus électro-négatif que celui dans le milieu considéré. On crée ainsi une pile dont la Structure est la cathode, et l'électrode négative a un potentiel plus négatif par rapport à celui de l'acier tel que le Zinc et Magnésium. Le nombre d'anode doit être suffisant pour que le potentiel moyen de l'ensemble atteigne le potentiel de protection de l'acier soit -0.85V mesuré par rapport à l'électrode en Cu/CuSO₄.

Le débit de l'anode réactive est donc variable suivant le degré de polarisation atteint par la cathode, c'est à dire l'acier à protéger cathodiquement.

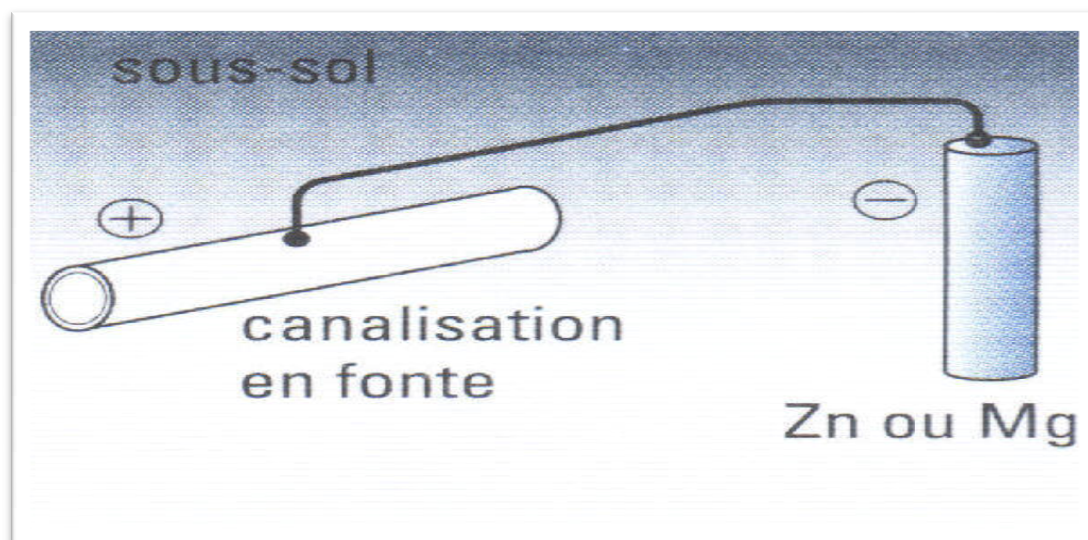


Figure (IV,02) : Dispositif de protection par anode réactif

La résistance présentée par le circuit électrique anode/cathode ainsi constitue la résistance de contact entre l'anode et le milieu ambiant. Cette résistance dépend de la surface de contact, de la forme de l'anode et tout particulièrement de sa longueur, plusieurs étapes ont été faites dans le but d'obtenir les meilleurs résultats tout en prévoyant un poids de métal suffisant, capable d'assurer une durée de vie normale.

$$R = \frac{\text{Résistivité de sol}}{2\pi \cdot \text{longueur de A}} * \left[\log\left(4 * \frac{\text{longueur de A}}{\text{rayon de A}}\right) - 1 \right] \dots\dots(IV,1)$$

R : Résistance de contact (Ω).

A : Anode.

L'étude d'une protection pareille se base essentiellement sur le bon isolement de la cathode, la détermination de la résistivité et le PH du milieu dans lequel se trouve le système. A noter que le débit de l'anode est inversement proportionnel à cette résistivité.

La protection par anode réactive est utilisée tout particulièrement dans l'eau de mer, les chaudières et dans des sols dont la résistivité ne dépasse pas 30 Ω .m. Ce type de protection est rencontré lorsque le secteur électrique n'est pas disponible, également dans le cas de structure de faible importance.

Ce type d'anode est également très pris dans le domaine maritime : coques de navires, ou en complémentaire à une protection par soutirage.

On note à la fin que pour la protection des structures enterrées dans un milieu encombré d'autre Structures étrangères et voisines (raffineries enceinte d'usines), les recours à des anodes réactives éliminent le danger d'interférence néfaste avec les autres conduites, qui se trouvent dans le champ électrique du système de protection cathodique.

IV-3- Le soutirage de courant

➤ Principe

Ce mot vient du système de protection qui consiste à **soutirer** de la structure à protéger, par l'intermédiaire d'une source électrique, la quantité de courant nécessaire pour porter la masse métallique à un potentiel suffisamment négatif.

Une source de courant continu débite dans un circuit comprenant :

- ✓ La conduite à protéger ;
- ✓ Le sol ;
- ✓ Une anode déversoir.

Le pôle négatif de la source est relié à la conduite, le pôle positif à l'anode déversoir.

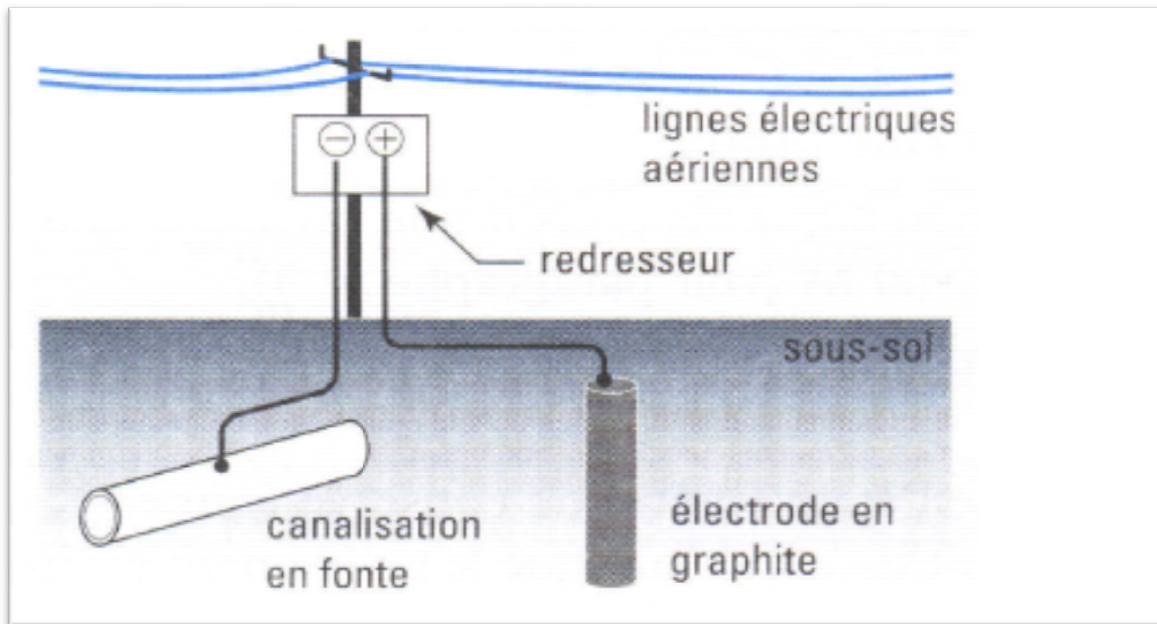


Figure (IV,03) : Dispositif de protection par soutirage de courant.

Le courant venant de l'anode déversoir traverse le sol puis rentre dans la conduite au travers du revêtement, créant entre le sol et la conduite une chute de tension (ou abaissement du potentiel) qui rend la conduite négative par rapport au sol, Lorsque le potentiel négatif de la conduite est suffisant, la protection cathodique est assurée.

IV-4- Drainage de courant

➤ Principe

Le drainage du courant est utilisé dans le cas d'existence de courants vagabonds très importants, ces courants peuvent quitter la voie de leurs évacuations pour emprunter le réseau des conduites en un point et le quitter en d'autres points afin de retrouver leurs sources

Le principe de drainage est de faire regagner ces courants leurs voies d'évacuation et les faire sortir de la conduite.

➤ Dispositif

Le dispositif de protection par drainage de courant comprend :

- une liaison conduite source ;
- cellule de silicium et de germanium qui craie des DDP : conduite source
- un dispositif de protection contre l'inversement des charges.

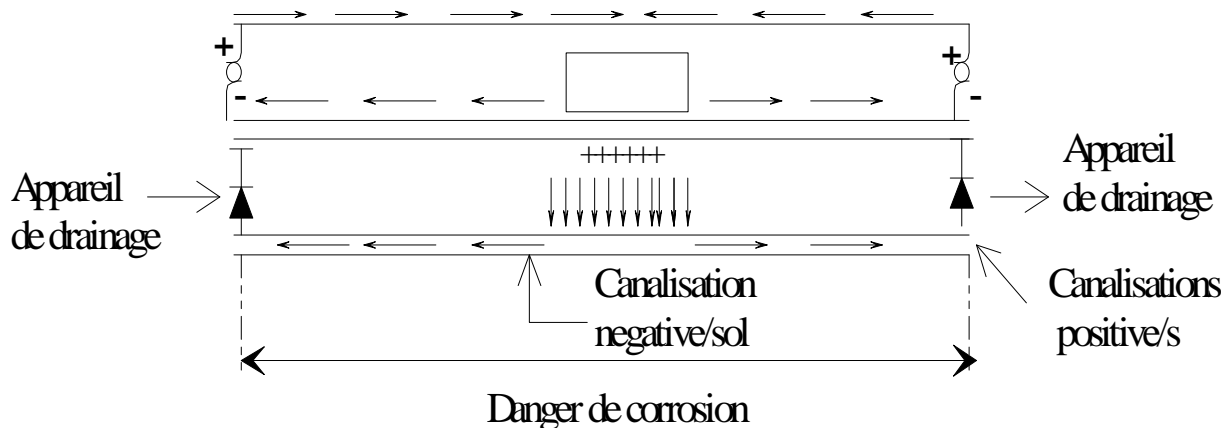


Figure (IV,04): Dispositif de drainage de courant.

Le plus souvent le drainage est associé au soutirage, le dispositif est appelé : « DRAINAGE-SOUTIRAGE » .

IV-5-Conditions d'application de la protection cathodique

La protection cathodique vise principalement les canalisations en acier. Elle ne peut s'appliquer que sur des structures en contact avec l'électrolyte, elle permet donc une protection efficace pour les canalisations enterrées ou immergées. En général on fait appel à la protection cathodique, lorsqu'il s'agit de:

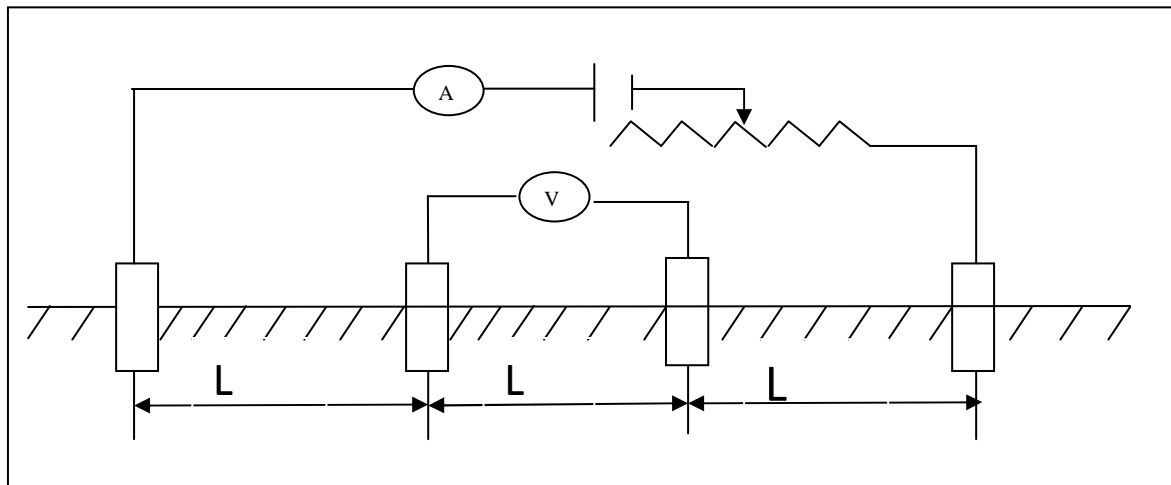
- ✓ Conduites enterrées non revêtues ou pour les conduites revêtues traversant des terrains agressifs (de faible résistivité).
- ✓ Conduites sous-marines revêtues ou non.

IV-6-Compagne de mesure de la résistivité des sols

La méthode la plus fréquente est celle de "wenner" ou méthode des quatre piquets.

➤ Principe de mesure :

Nous plantons dans le sol quatre piquets métalliques (cuivre), sur la même ligne à la même distance L(m) correspondant à la profondeur de la conduite au point donné. Les deux piquets intermédiaires peuvent être remplacés par des anodes en Cu/Cu₂SO₄,



Figure(IV,05) : Installation des quatre piquets.[6]

A l'aide d'une batterie, nous faisons passer un courant I entre les piquets; extérieurs et nous mesurons la différence de potentiel ΔV produite par le courant entre les piquets ultérieurs.

Les mesures ont été effectuées sur des profondeurs différentes allant de 1,6 à 3 m.

La résistivité moyenne du terrain ρ sur une épaisseur L est donnée par la relation suivante :

$$\rho = 2 \pi L \frac{\Delta V}{I} \dots\dots\dots(IV,2)$$

ρ : Résistivité en (Ω m).

L = en mètre (distance entre les piquets).

ΔV ; ddp en Volt.

I : intensité en Ampere.

➤ **Appareillage de mesure**

- ✓ Un Volt mètre à haute résistance interne.
- ✓ Un Ampèremètre de faible résistance interne.

IV-7-Mesure du potentiel instantané par l'Electrode de cuivre/Sulfate de cuivre

➤ Importance du potentiel

Une structure est dite protégée cathodiquement lorsque son potentiel par rapport au milieu ambiant doit s'abaisser à une valeur négative (**-0,85v**) pour l'acier par rapport à l'électrode de référence Cu/CuSO₄ (posée à la surface du sol au voisinage de la conduite) Valeur fixée d'après le diagramme de PURBAIX au delà de laquelle il n'y a plus corrosion de l'acier.

Le potentiel de protection est obtenu en appliquant à la structure une densité de courant dont l'importance dépend :

- ✓ De la résistance diélectrique du revêtement.
- ✓ De l'agressivité du milieu environnant.

IV-8-Les anodes déversoirs

On distingue différents types d'anodes :

1-ferraille (rail, tube en acier)

C'est une solution économique mais les anodes s'usent rapidement (9Kg/A/an).

2-Ferrosilicium ou Ferrosilicium-Chrome

Ce type d'anode a une longue durée de vie (0,35Kg/A/an) mais leurs montages demandent des câbles spéciaux à haute résistance mécanique.

3-Graphite

Ce sont des anodes qui assurent une protection économique, de plus l'utilisation de backfill (Poussière de graphite) permet de limiter la consommation des anodes. C'est souvent le plus utilisé. Comme on peut aussi utiliser de vieux tubes et des déchets métalliques.

L'inconvénient de ces derniers est le développement de la corrosion au niveau de la liaison câble-anode il est important de surveiller ces liaisons.

V-Les éléments complémentaires de la protection cathodique

Pour qu'une structure conserve toute son efficacité, le système doit être complété de :

V-1- Joints isolants

Ils sont utilisés pour séparer électriquement la partie de la conduite sous protection cathodique, des parties qu'il n'est pas nécessaire de mettre sous protection (Pompe, réservoir....).

En règle générale, dès qu'une conduite sort du sol pour se raccorder à des installations aériennes, il faut interposer un joint isolant, ainsi que pour isoler les accessoires présents le long de la canalisation.

Parmi les matériaux couramment employés pour la constitution de ces joints figurent les matières plastiques thermodurcissables ou thermoplastiques, Ces derniers permettent grâce à leur résistance élevée, une discontinuité électrique.

V-2- Cales et supports isolants

Lorsque les conduites sous protection cathodique sont maintenues en place par des supports en contact avec le sol, ou des masses, il est nécessaire de les isoler électriquement, afin qu'il n'y ait pas de perte de courant de protection préjudiciable au maintien des potentiels de la conduite.

Pour effectuer ces isolements, on utilise soit des plaques en matériaux plastiques (chlorure de polyvinyle), Soit des pièces œuvrées en bois.

V-3- Les shunts

La présence des joints isolants (en caoutchouc principalement) cause une discontinuité électrique. Pour assurer cette continuité on installe des shunts. Ces derniers devront être soudés de part et d'autre de l'accessoire à isoler et des pièces spéciales (clapets, vannes, Support ... etc.).

V-4- Les prises de potentiels

Elles permettent de relier la conduite enterrée à un appareil de mesure placé en surface. Elles sont placées le long de la conduite sur différents points :

- ✓ A l'endroit du poste.
 - ✓ Aux extrémités.
 - ✓ Aux points de faible résistivité du sol.
 - ✓ A proximité des réservoirs et pièces spéciales (surveillance des shunts et Joints isolants).
-
- ✓ A l'endroit des intersections avec d'autres canalisations, ou de câble électrique ou téléphonique.

IV -Etablissement Des Soutirage

La protection cathodique par soutirage de courant est définie par deux paramètres :

A-la densité de courant nécessaire à la protection, qui est fonction des caractéristiques d'isolement de la structure à protéger (qualité du revêtement, résistivité du milieu).

Le courant nécessaire peut aller de 0.05 mA/m² à 0.5 mA/m² dans le cas des conduites non revêtues, jusqu'à 30 mA/m² pour des conduites non revêtues, au delà mais limité généralement à 50 mA/m² pour des structures immergées sans revêtement .

B-Le débit de l'appareil de protection qui est uniquement fonction de l'installation réalisée, étant défini par la loi d'Ohm :

$$I = \frac{V}{R}$$

V : tension de la source de courant (en volt).

R : résistance du circuit en (Ohm).

La tension V se situe en général dans la catégorie très basse tension (inférieure à 48 V) bien qu'aucune prescription n'impose cette limite.

C-Le courant nécessaire à la protection d'une structure devra être déterminé par une essai de soutirage .

➤ Méthodes In-situ

C'est la méthode la plus complète car elle nous fournit des résultats réels.

Le principe de cette méthode consiste à relier le pôle positif d'une source de courant (batterie) à une anode provisoire, le pôle négatif étant relié à la conduite. Nous intercalons sur le circuit un rhéostat pour varier la tension jusqu'à obtention d'une protection totale de la conduite. Si celle-ci est atteinte sur l'ensemble de la structure nous prenons la valeur de l'intensité.

➤ 2^{ème} Méthode de calcul

C'est une méthode qui permet de calculer en fonction de la résistivité des sols, mais elle ne tient pas compte de la résistance transversale de l'isolement, donc **la conduite est considérée nue.**

➤ **1^{ère} étape :**

Les intensités de courant correspondants à chaque intervalle de valeur de résistivité sont :

Résistivité ρ (Ωm)	Intensité mA/m ²
$\rho > 20$	3
$20 > \rho > 40$	2
$\rho < 40$	1

Tableau (IV,1) : Résistivité de sol en fonction de l'intensité [6]

Nous déterminons l'intensité de courant nécessaire pour protéger chaque tronçon, en suite nous faisons la somme de ces intensités pour déterminer l'intensité totale nécessaire à la protection de la structure.

➤ **2^{ème} étape :**

Nous calculons l'intensité de protection **I_p** pour chaque tronçon et nous faisons la somme.

$$I_p = 2\pi * R * \sum_{j=1}^m I_j * L_j$$

R : Rayon de la conduite.

L : Longueur de tronçon (m).

I: L'intensité en fonction de la resistivite par mètre carré de conduite (mA/m²).

m : le nombre de mesure de résistivité au voisinage de tronçon a protégé. (Voir figure 6).

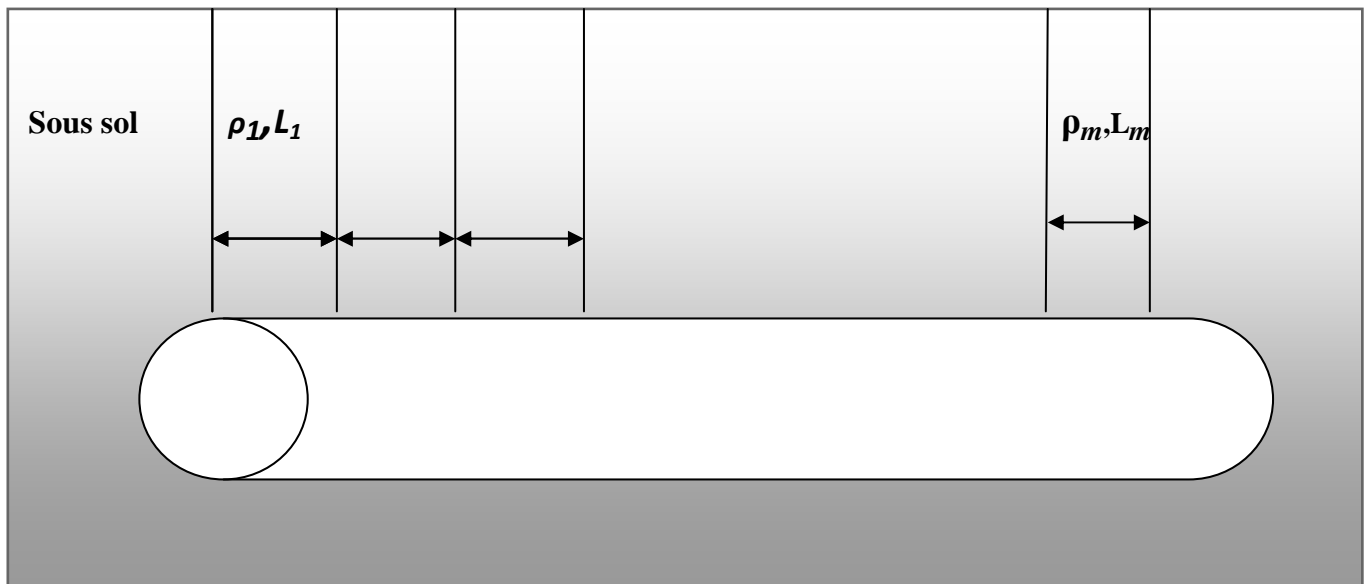


Figure (IV,06) : schémas explicatif de mesure de résistivité le long de conduite.

➤ **4^{ème} étape : Calcul du nombre d'anodes**

Pour calculer le nombre d'anodes, nous nous basons sur la résistance d'une seule anode qui est donnée par la relation suivante :

$$R = \frac{\text{Résistivité de sol}}{2\pi * \text{longueur de A}} * \left[\log\left(4 * \frac{\text{longueur de A}}{\text{rayon de A}}\right) - 1 \right]$$

R : Résistance de contact (Ω).

A : Anode.

Après le choix sur le catalogue le type d'anode (graphite, Ferrosilicium ou Ferrosilicium-Chrome ...) et on tire les caractéristique de celui-ci (rayon et longueur), on calculons la résistance de contact d'un seule anode.

Le nombre d'anode nécessaire se calcul par la formule suivante :

$$n = \frac{\alpha * R}{R_a}$$

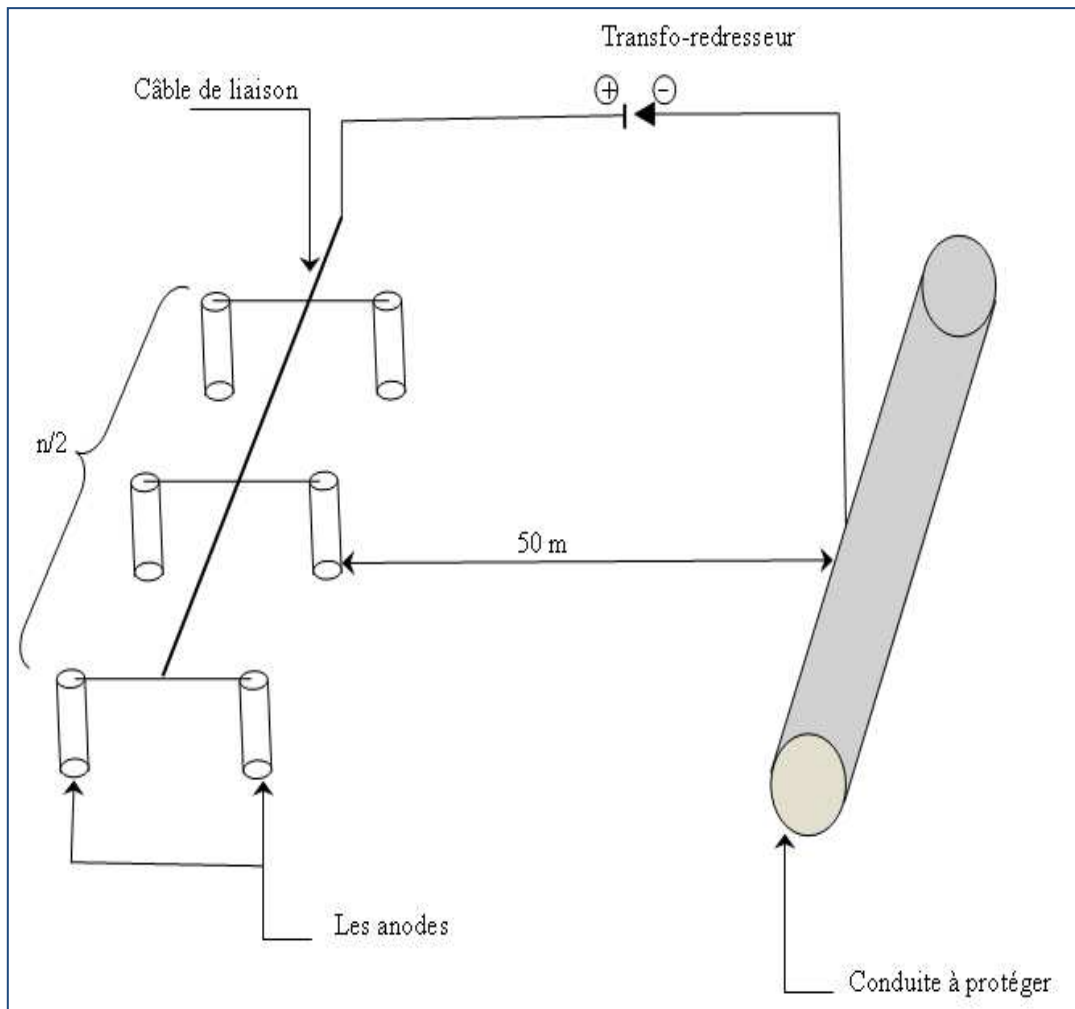
R_a : Résistance équivalente (de contact) en (Ω) ;

α : Coefficient d'efficacité ;

n : Nombre total d'anode ;

R : Résistance d'une seule anode en (Ω) ;

En fonction de la disposition des anodes (disposées en double rangées) et de l'espacement relatif entre deux anodes successives; (1/a) nous prenons la valeur de α sur l'abaque.



Figure(VI,07) :schémas d'emplacement des anodes. [6]

VI-Surveillance de la protection cathodique

Nous mesurons le long de la conduite (aux différentes prises de potentiel) les potentiels à l'aide d'une électrode de référence Cu/CuSO₄. Lorsqu'au moins une valeur sort du seuil de protection, nous augmentons la tension de sortie du poste en agissant sur le rhéostat. Ce qui entraîne une augmentation du débit de courant, donc un abaissement en valeur relative du potentiel de protection.

Lorsque la tension de sortie du poste atteint sa valeur maximale, sans pour autant obtenir au

moins dans un point le potentiel de protection, nous vérifions les shunts, les joints isolants, les différentes liaisons du câble, la polarité et la résistance de contact de l'électrode de terre.

Le contrôle des shunts s'effectue en s'assurant qu'à travers ceux-ci il y a passage de courant (ohmmètre doit dévier aux bornes du shunt).

Le contrôle des joints isolants s'effectue par la mesure de leurs résistances par un Mégohmmètre. Nous devons retrouver des résistances de quelques Mégohm ($\mu\Omega$).

Mesure de la résistance de contact de l'électrode de terre

Pour effectuer la mesure de la résistance d'une prise de terre x, nous devons disposer de deux autres prises de terre auxiliaires S et P la disposition la plus favorable est obtenue lorsque les trois prises x, s, p, forment les sommets d'un triangle équilatéral.

VII-Consignes d'exploitation d'un dispositif de protection cathodique

1-) Débrancher ou mise à l'arrêt du poste de soutirage à chaque fois que l'on entreprend des travaux de soudure à Parc électrique sur une conduite protégée, et ceci pendant toute la durée des travaux de soudure ;

2-) Intercaler un joint isolant entre la conduite maîtresse sous protection et toute conduite secondaire nouvellement brancher à celle – ci ;

3-) Remettre correctement les revêtements passifs à chaque fois qu'on est appelé à les dégrader suite à des travaux ;

4-) Eviter de dégrader les prises de potentiel ;

5-) Remettre les shunts à leurs places à chaque fois qu'on entreprend un travail sur une pièce spéciale (compteur, clapet, vanne, etc.) et isoler avec du bitume les points de soudure du shunt ;

6-) Remettre correctement les joints isolants quand on doit les enlever par nécessité et éviter de les shunter ;

7-) Interdire à tout personnel non compétent, toutes manipulations sur le poste de soutirage ;

8-) Indiquer correctement les polarités (+) et (-) du poste et éviter leur inversion.

VI- Conclusion

La protection cathodique est un moyen efficace de lutte contre la corrosion des conduites et des pertes qui s'en suivent.

La protection cathodique n'est pas utilisé seulement pour les conduites nus mais aussi pour celles revêtus sachant qu'un défaut de revêtement dans un endroit de la conduite peut provoquer des dégâts plus rapides que pour la canalisation nu a cause de l'augmentation de la densité de courant sauf que l'intensité de courant nécessaire à la protection sera moins importante.

En fin l'efficacité de la protection cathodique est fonction du respect des critères de protection et de contrôle des équipements.

I- Présentation des ressources d'Alger

Actuellement Alger est alimentée principalement par deux ressources les eaux superficielles et les souterraines. Les eaux de dessalement ne représentent qu'un faible pourcentage par rapport aux autres ressources.

	2009		
	Janvier	février	Mars
Volumes des Eaux superficielles (m ³)	12 843 593	12 519 582	11 338 480
m ³ /j	414 309	403 857	404 946
Volumes Des eaux souterraines (m ³)	7 185 498	7 425 598	6 602 940
m ³ /j	231 790	239 535	235 819
Volumes des eaux dessalées (m ³)	4 991 632	4 705 136	4 525 478
m ³ /j	161020	151779	145983
Production total	25 020 723	24 650 316	22 466 898
m ³ /j	807120	795171	724739

Tableau (V, 01) : Production mensuel par ressources du 1^{er} trimestre 2009.

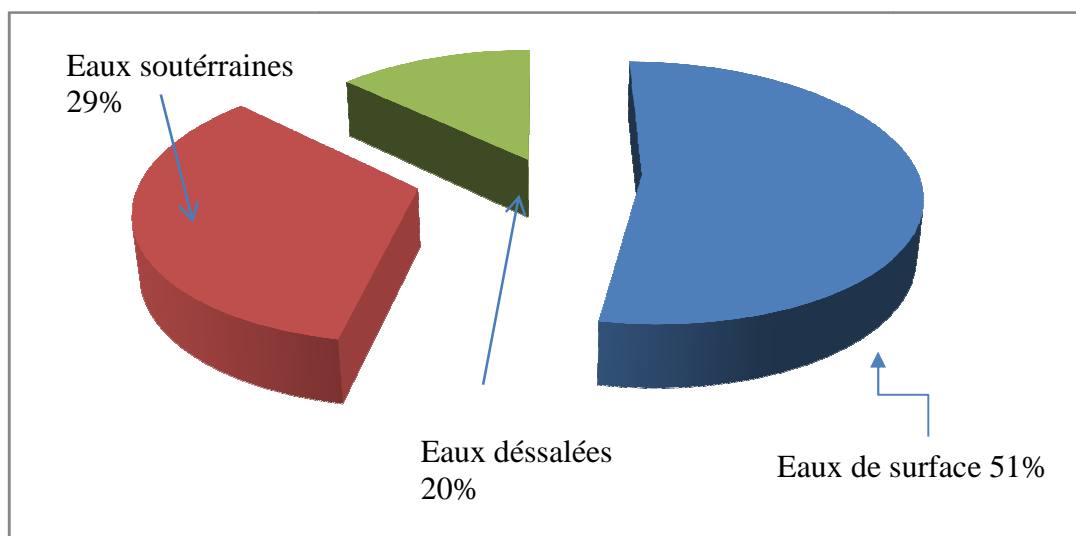


Figure (V, 01) : Les ressources d'Alger du 1^{er} trimestre 2009.

On remarque dans ce graphe que la ressource des eaux de surface représente plus de la moitié de la production totale (52%) et aussi une faible production en eaux de dessalement.

II-Eaux de surface

Alger est actuellement alimentée par sept (07) barrages. Du côté Est de la wilaya, il y a quatre barrages :

- ✓ Celui du Hamiz qui alimente le barrage de Keddara. Ce dernier lâche ses eaux gravitairement vers la station de Boudouaou ;
- ✓ Le barrage de Béni Amrane qui refoule ses eaux dans la conduite SPIK (la conduite d'adduction entre la station de traitement de Boudouaou et le réseau d'Alger);
- ✓ Le barrage de Taksebt qui a commencé à refouler ses eaux vers Alger à partir du mois de Mars 2008 (les eaux de Taksebt sont traitées dans la station de traitement qui se trouve en amont du barrage) ;
- ✓ Le barrage de Koudiate Acerdoune qui sera mis en service prochainement.

Et du côté Ouest, il y a trois barrages :

- ✓ Le barrage de Ghribe qui alimente le barrage Bouroumi et qui refoule ses eaux vers la station de traitement SAA ;
- ✓ Le barrage de Boukourdane qui refoule aussi ses eaux vers la station SAA.

Le tableau qui suit représente l'évolution de la production au niveau des stations de traitement des eaux de BOUDOUAOU et SAA et aussi le volume d'eau refoulé de TAKSEBT à BOUDOUAOU pour le 1^{er} trimestre de l'année 2009 :

	<i>Production eaux de surface</i>		
	Janvier	Février	Mars
Volume d'eau traité à Boudouaou (m ³)	5 160 027	5 139 297	4 569 485
Volume d'eau traité à SAA (m ³)	1 349 016	1 156 680	1 131 867
Volume d'eau refoulé de Taksebt (m ³)	6 334 550	6 223 605	5 637 128
Total (m ³)	12 843 593	12 519 582	11 338 480

Tableau (V, 02) : Evolution de la production d'eau au niveau des deux stations de traitement et volume d'eau refoulé à partir de TAKSEBT.

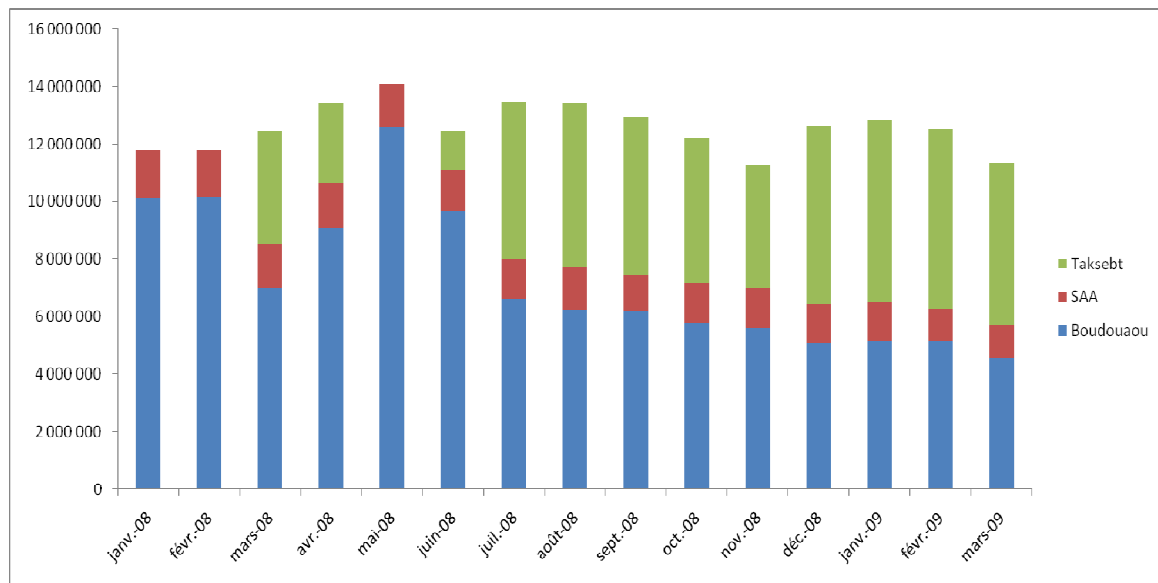


Figure (V, 02) : Production mensuelle des eaux de surface par station.

On remarque qu'avant que le transfert de TAKSEBT soit mis en eau, la station de BOUDOUAOU produit presque la totalité des eaux de surface, et à partir de Juin 2008 on remarque un total mensuel presque stable divisé entre le transfert de TAKSEBT et le transfert de BENI AMRANE-KEDDARA-BOUDOUAOU, cela est expliqué par la mise en eau de transfert de TAKSEBT.

Donc le système de production en eaux de surface de la Willaya d'Alger est actuellement composé par deux importants transferts cités comme suite :

- ✓ Le transfert de barrage de TAKSBTE vers BOUDOUAOU.
- ✓ Le transfert de barrage de BENI AMRANE-KEDDARA-BOUDOUAOU.

III-Données Principales Du Système D'alimentation En Eau Isser-Keddara-Boudouaou-Alger

III-1-Principaux ouvrages du système d'alimentation en eau Isser-Keddara-Boudouaou-Alger

Les principaux ouvrages sont :

- Un barrage, de 39,5 m de hauteur au-dessus du lit, qui donne origine à une retenue de 15,6 Mm³ de volume, un ouvrage de prise et une station de pompage, ayant une capacité de 7 m³/s, sur l'Oued Isser, près de Béni-Amrane ;
- Une conduite, de 2 m de diamètre et d'environ 31,3 km de longueur, reliant le barrage de Béni-Amrane à la retenue de Keddara ;
- Des conduites (5.65 km de diamètre, 2 m et 3.1 km avec deux tuyaux jumelés de diamètre 1.5 m) entre la retenue de Keddara et la station de traitement de Boudouaou ;
- Une station de traitement, de 6.25 m³/s de capacité, à proximité de la ville de Boudouaou ;
- Deux conduites, de 1.5 m de diamètre, allant de Boudouaou à Alger avec des branchements vers les réservoirs d'arrivée à Gué de Constantine, El Harrach et Beaulieu ;
- Des réservoirs d'arrivée et stations de pompage à Gué de Constantine et Beaulieu, ainsi qu'un réservoir et une station de pompage de distribution à Sidi Garidi ;
- Des conduites autour et à l'intérieur d'Alger, avec des diamètres de 0,5 m à 1,2 m et dont la longueur est d'environ 104 km.

III-2-Caractéristique De La Station De Pompage De Béni Amrane :

Débit	7m ³ /s
Transfert annuel moyen	114Mm ³ /an
Longueur de conduite (dont une longueur d'environ 117 m est incorporée dans le mur gauche de l'ouvrage en béton)	1,36 km
Diamètre de la conduite	2 m
Nombre total de pompes (6 de service, 2 de secours)	8
Hauteur pratique de refoulement (variable selon les débits)	147 m

Tableau (V, 03) : Caractéristique de la station de pompage de Béni amrane.

III-3-Conduite De La Station De Pompage A La Retenue De Keddara

Débit	7m ³ /s
Transfert annuel moyen	114Mm ³ /an
Conduite : longueur	29,48 km
Diamètre	2m
Longueur des galeries : - tronçon de Thénia	1,64 km
- tronçon de Keddara	0,28 km
Niveau à Béni-Amrane, à la cote	50,0 m
Niveau à Keddara, à la cote	145,0 m

Tableau (V , 04) : Conduite de la station de Pompage à la retenue de Keddara.

III-4-Caractéristiques Des Conduites De Keddara A La Station De Traitement De Boudouaou

Débit maximum	6,25 m ³ /s - 197 Mm ³ /an
Débit moyen	5,21 m ³ /s 164Mm ³ /an
Longueur des conduites :	
Diamètre de 2 m (1,35 km + 4,3 km)	5,65 km
Diamètre 1,5 m (deux tuyaux jumelés)	2,1 km
Niveau à la retenue de Keddara entre les cotes	145 m et 88 m
Niveau d'arrivée à Boudouaou à la cote	88 m

Tableau (V , 05) : Caractéristiques des conduites de Keddara à la station de traitement de Boudouaou.

III-5-Conduites De Boudouaou A Alger

Débit maximum	5,94 m ³ /s -181 Mm ³ /an
Débit moyen	4,95 m ³ /s -156Mm ³ /an
Nombre, diamètre et longueur des conduites :	
Boudouaou à Jonction A	2x1,5 m-22,24 km
Jonction A à Jonction B	2 x 1,5 m — 4,5 km
Jonction A à Beaulieu	1 x 1,2 m - 4,4 km
Jonction B à El Harrach	1 x 1,3 m - 1,41 km
Jonction B à Gué de Constantine	2 x 1,0 m - 4,46 km
Niveau à Boudouaou à la cote	75 m
Niveau à Alger (Gué de Constantine) à la cote	26 m

Tableau (V , 06) : Caractéristiques des Conduites de Boudouaou à Alger

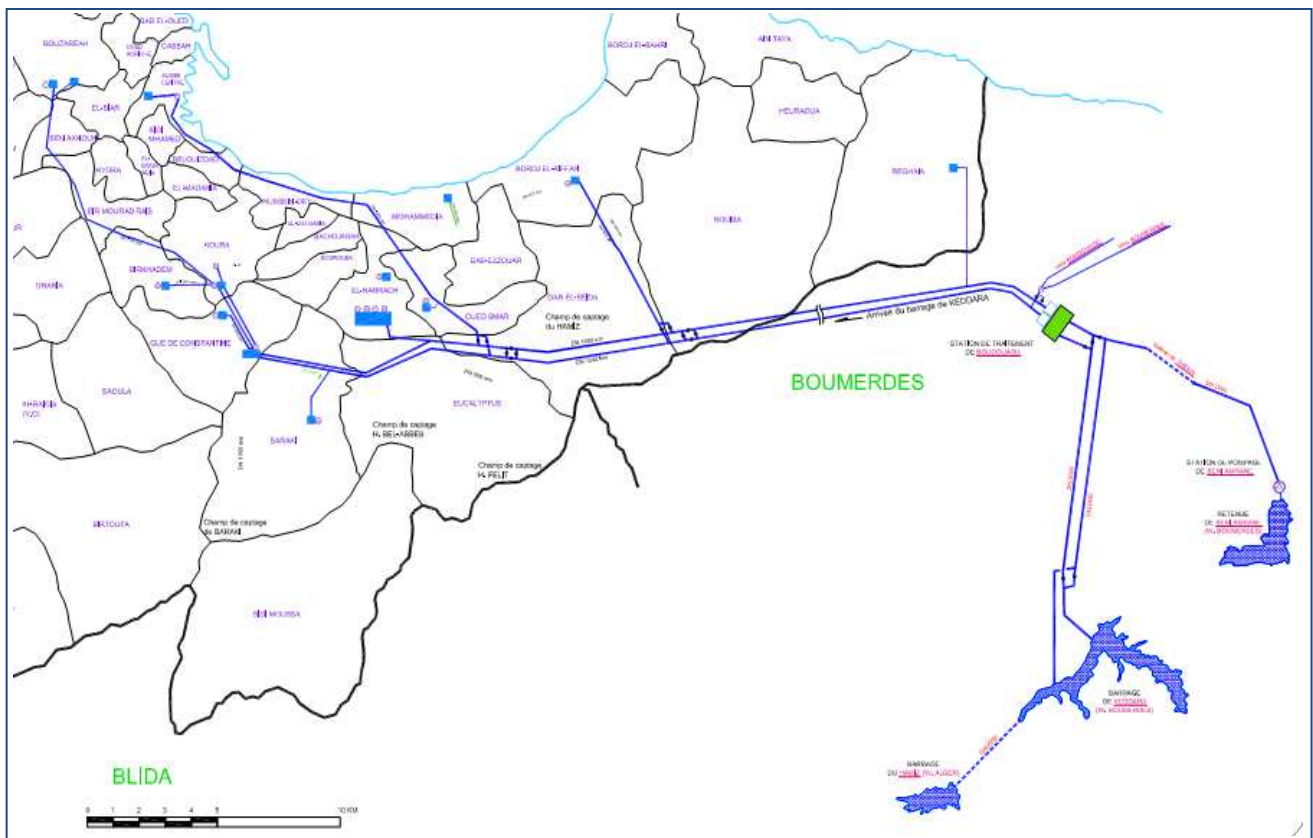


Figure (V , 03) : Synoptique de la chaîne SPIK

IV-Décomposition Du SPIK Selon La Nature De Matériau Des Conduites

Car le lien corrosion- matériaux est évident, et la majorité des problèmes de corrosion sont liées aux choix des matériaux, le tableau qui suit représente un Récapitulatif de la nature de matériau des conduites reliant la Station de pompage de béni amrane-barrage-Keddara-station de traitement des eaux de Boudouaou.

Localité		Point Kilométrique		Longueur (m)	Diamètre (mm)	Nature du Matériau
Du	Jusqu'au	du PK	au PK			
Barrage de béni amrane	SP béni amrane	0,00	1.25813	1258.13	2000	acier
SP béni amrane	Début galerie de thénia	0,00	6 .80304	3447	2000	acier
				3356.04	2000	Béton
Début de Galerie thénia	Fin Galerie thénia	0,00	1.638.73	1638.73	2000	acier
Fin Galerie thénia	Chambre nord	0,00	14.66006	14660.06	2000	acier
Chambre nord	Chambre sud	0,00	4.21569	4215.69	2000	Béton
Chambre sud	Galerie keddara	0,00	0.235	235	2000	Béton
Galerie keddara	barrage keddara	0,00	0.280	280	2000	Béton
barrage keddara	chambre sud	0,00	1.19577	1195.77	2000	acier
chambre sud	chambre Nord	0,00	4.41763	4417.63	2000	Béton
chambre nord	station boudouaou	0,00	1.08426	376.68	2X1500	acier
				630.59	2X1500	Béton

Tableau (V, 07) : Récapitulatif du nature de matériau des conduites reliant la Station de pompage de béni amrane-barrage de Keddara-station de traitement des eaux de Boudouaou.

La figure suivante représente le pourcentage de chaque matériau dans ce transfert.

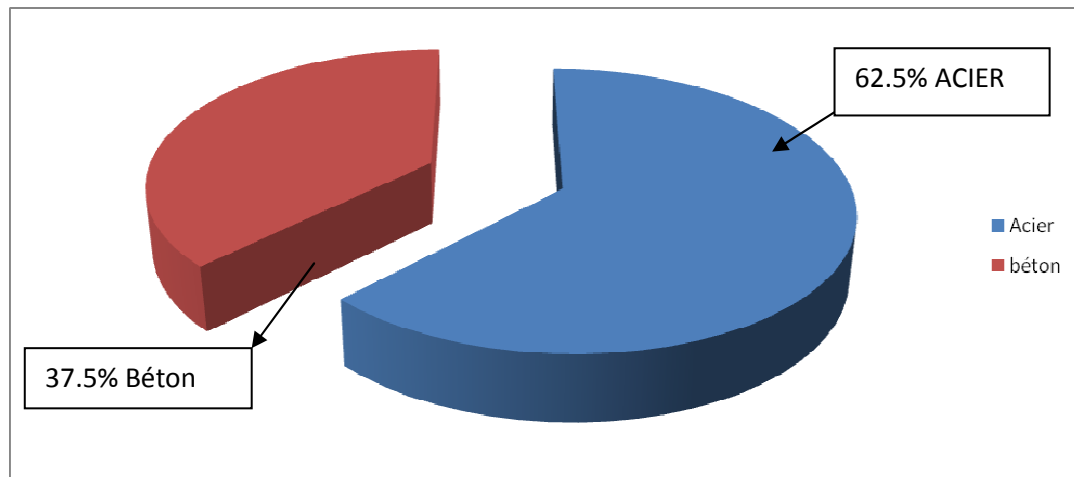


Figure (V, 04) : Pourcentage de chaque matériau dans le transfert.

On remarque que le plus grand pourcentage dans le transfert de barrage du BENI AMRANE vers BOUDOUAOU est les conduites en acier, et le tableau ci-dessus nous montre que la densité des conduites en acier est très importante dans la conduite qui relie le barrage de BENI AMRENE et KEDDARA.

Et pour la conduite qui relie la station de traitement de BOUDOUAOU-réservoir de GUE DE CONSTANTINE voir ANNEXE (V, 02).

V- La Prévention Contre La Corrosion Dans Le Transfert (barrage de béni amrane-barrage de Keddara) :

Ce transfert est mis en eau à partir de Février 1988 d'une importance stratégique est d'alimenter en eau potable le grand Alger ainsi que les villes situées entre Alger et Boumerdes.

Le tableau (V, 07) indique que le pourcentage selon la nature de matériau des conduites est de **62,5% acier nue** transportant l'eau brut, Par conséquent il y'a un grand risque de corrosion (du l'intérieur et l'extérieur du conduite).

V-1-La Prévention Contre La Corrosion Externe

Dans notre cas la solution réalisée pour que la canalisation de transfert soit protégée contre l'agressivité du sol c'est la méthode de protection cathodique par soutirage de courant (voir chapitre IV).

V-1-1-Diagnostic Des Postes Du Soutirage De Courant :

VI-1-1-1 Constitution D'un Poste Soutirage :

Une installation de soutirage comprend :

- ✓ Une source d'énergie B .T 220 V ;
- ✓ Transfo redresseur ;
- ✓ Un déversoir (Lit d'anode) ;
- ✓ Câble de liaison électrique.

VI-1-1-2-Localisation Des Soutirages Et Caractéristiques De La Canalisation :

Localité	PK		longueur (m)	diamètre (mm)	nature de matériau	N° de PPC	PK de chaque poste
	du PK	au PK					
SP(béni amren)	0	3.3447	3344.7	2000	Acier	2	0.115
							3.2
au début GT	3.3447	6.374	3029.3	2000	FTI	0	
	6.374	6.92	546	2000	Acier	0	
Galrie de thénia	0	1.638	1638	2000	Acier	0	
fin de GT							1.182
au Chambre nord	0	14.78	14780	2000	Acier	7	3.435
							5.159
							8.3
							9.881
							11.74
							12.63
Totaux		23338				9	

Tableau (V, 6) : Point kilométrique de chaque poste de soutirage de courant.

VI-1-1-3-Constata Et Recommandation

➤ **1^{ère} Poste Point Kilométrique 0,115 à partir de la station de pompage de Béni Amrane**

- ✓ Source d'énergie existante.
- ✓ Transfo-redresseur en bon état.
- ✓ Lit d'anode défectueux.
- ✓ Gardiennage existante.

La figure suivante illustre l'état de ce Poste :

- **Recommandation**

Pour que ce soutirage soit fonctionnel il faut

Réhabiliter le lit d'anode et aussi l'obligation

de vérifier l'état des liaisons électriques (transfo-redresseur vers la conduite).

➤ **2^{ème} Poste**

La figure suivante montre l'état de ce Poste :

On constate que ce soutirage est totalement dégradé.

- **Recommandation**

Il faut réhabiliter tous les composants de celui-ci.



Photo 01: Etat de transfo-redresseur.



Photo 02 : état du poste N° 2.

➤ **3^{ème} Poste (région de Tidjalabin) :**

- ✓ Source d'énergie existante.
- ✓ Transfo-redresseur en bon état.
- ✓ Lit d'anode défectueux.
- ✓ Gardiennage existante.

La figure suivant montre l'état de ce Poste :



Photo 03: état de gardiennage ;

• **Recommandation :**

- ✓ nettoyage de la chambre.
- ✓ Réhabilitation du lit d'anode.
- ✓ vérifie l'état des liaisons électrique (transfo-redresseur vers le conduit).

➤ **4^{ème} Poste :**

La figure suivant illustre l'état de ce Poste :

• **Recommandation :**

D'après l'état actuel de ce poste il faut une réhabilitation totale de celui-ci.



Photo 04 : état de poste.

➤ **5^{ème} Poste :**

- ✓ Source d'énergie existante.
- ✓ Transfo-redresseur en mauvais état.
- ✓ Lit d'anode défectueux.

- ✓ Gardiennage existante.

La figure suivant montre l'état de transfo-redresseur :



Photo 05: Etat de transfo-redresseur.

- **Recommandation :**

- ✓ Il faut changer le transfo-redresseur et gardé les mêmes caractéristiques de celui déjà dégradé.
- ✓ Il faut réhabiliter le lit d'anode.

- **6^{ème} Poste :**

- ✓ Source d'énergie existante.
- ✓ Transfo-redresseur en bon état.
- ✓ Lit d'anode défectueux.
- ✓ Gardiennage existante.

Les figures suivantes montrent l'état de ce Poste :



Photo 06: état de gardiennage.



Photo 07: état de transfo-redresseur.

• **Recommandation :**

- ✓ nettoyage de la chambre.
- ✓ Réhabilitation du lit d'anode.
- ✓ vérifie l'état des liaisons électrique (transfo-redresseur vers la conduite).

Etat de chaque Poste				
N° Poste	Gardiennage	Source d'énergie	Transfo redresseur	Lit d'anode
1	Existante	Existante	bon état	défectueux
2	dégradé	Existante	dégradé	défectueux
3	Existante	Existante	bon état	défectueux
4	dégradé	Existante	dégradé	défectueux
5	dégradé	Existante	dégradé	défectueux
6	Existante	Existante	bon état	défectueux

Tableau (V, 7) : Récapitulatif d'état du chaque Poste.

V-2- La Prévention Contre La Corrosion Interne

Aucune prévention n'est mise contre la corrosion interne dans ce transfert.

La mesure de **la dégradation de la qualité de l'eau** peut permettre de caractériser l'état de la conduite étudiée, elle peut renseigner sur l'état de corrosion de la conduite pour ce qui concerne notre transfert :

C'est le cas lorsque des produits de corrosion sont transportés à travers le transfert, on a par exemple le phénomène d'eau rouge, qui correspond à l'oxydation d'ions ferreux en ions ferriques principalement dans les eaux douces, acides ou désaérées, certaines autres substances comme le manganèse peuvent également entraîner la coloration de l'eau (couleur noire).

On peut également être renseigné sur la corrosion bactérienne, en examinant les teneurs en bactéries du fer ou sulfato réductrices.

L'apparition d'une mauvaise qualité de l'eau est un paramètre significatif concernant le vieillissement de la conduite de transfert et pour cela il est recommandé de connaître l'état de qualité d'eau dans le transfert de barrage de BENI AMRENE vers KEDDARA et surtout à l'entrée de barrage de KEDDARA.

Et pour éviter l'apparition d'une mauvaise qualité de l'eau il est indispensable de nettoyer et réhabiliter l'intérieure de ces canalisations. **(Voir annexe V-3)**

VI-Conclusion

Avant tout chose, il fallait disposer d'un système d'information sur le transfert d'ordre chronologique quantitative et également d'ordre temporelle qualitative surtout à l'entrée de barrage de KEDDARA.

Afin de maintenir une durée de vie de ces canalisations il est indispensable de réhabiliter les dispositifs de protection cathodique et faire le suivi préventif de cette dernière en chargeant un service ou un organisme pour des contrôles périodiques.

Conclusion générale

Conclusion

Malgré l'avancement de la nouvelle voie d'utilisation de la matière organique renforcé de fibre de verre dans le domaine de production des conduites de transport d'eau , il est évident que la majorité des adductions et des réseaux d'eau potable d'Alger sont en acier, en fonte et en béton. Elles sont en majorité enterrées. Cette situation laisse le champ libre devant l'altération par la corrosion, de tel façon que les métaux ont tendance à revenir à l'état de minerai dans le quel ils étaient initialement. Par conséquent les conduites subissent des ruptures répétées et par la suite des fuites. Entraînant ainsi, des pertes énormes de volumes d'eau. Ce qui est une chose inacceptable dans le cadre d'un grand réseau.

De ce mémoire de fin d'étude, Nous avons pu constater que la corrosion est un sujet très délicat , étant donné, la multiplicité des modes d'apparition régis par des différent facteurs liés à la nature du matériaux et à l'environnement . L'augmentation de l'épaisseur des couches de revêtements des métaux ne suffit pas à elle seule. Elle doit être complétée par une protection cathodique et proposer des améliorations visant à augmenter la durée de vie des conduites dans leurs environnement de mise en service.

Une connaissance de toutes ces données facilite l'accès à des solutions adéquates au problème posé, et assurer aux générations futures une économie de la ressource qui est un facteur éminent de leur développement.

A la fin nous espérons que ce projet soit un manuel utile pour enrichir la bibliothèque ainsi qu'une documentation pour les promotions avenir.

BIBLIOGRAPHIE

- [1]. KLAUS P. (1996). "Réduction des pertes d'eau sur les systèmes d'alimentation en eau des pays en voie de développement". Edition Eschbom. France.
- [2]. Blîndu I. (2004). Outil d'aide au diagnostic du réseau d'eau potable pour la ville de Chisinau par analyse spatiale et temporelle des dysfonctionnements hydraulique. Thèse doctorat à l'école nationale supérieure des mines de Saint Etienne, 304 pages
- [3]. BATHIAS C & DEVALLEZ B. (1985). " La fatigue des matériaux et de structures ". Edition Lavoisier. 1985. France.
- [4]. BASALO C. (1987). "Les canalisations d'eau & de gaz". Edition Lavoisier. France.
- [5]. CHRISTOPHER J. (1995). "Corrosion & protection». Edition Masson. Paris.
- [6]. "Manuel De Protection Cathodique". TECHNIP .Paris. 1970.
- [7]. LYONNAISE DES EAUX. (1994). "Mémento du gestionnaire de l'AEP et de l'assainissement". Edition Lavoisier Tec & Doc. France.
- [8]. LYONNAISE DES EAUX. (1989). " Mémento Technique de l'eau". Edition Lavoisier Tec & Doc. France.

Annexes

Annexe II-01

Evaluation de l'agressivité des échantillons du sol : [ANDREWS, 1975]

Aux Etats Unis, le CIPRA (Cast Iron Pipes Research Association) a développé un système empirique pour quantifier l'agressivité du sol en fonction de quelques paramètres physico-chimiques. Cette méthodologie nécessite des prélèvements d'échantillons du sol à des profondeurs différentes pour être ensuite analysés. En fonction des résultats de l'analyse, une estimation est effectuée selon le principe donné dans le tableau suivant permettant alors une évaluation de l'agressivité. Ainsi, les zones corrosives du sol vis-à-vis des canalisations en fonte sont localisées avant la réalisation de la pose.

Caractéristique de sol		Points	
<i>Résistivité</i> Ω .cm basé sur des échantillons simples à la profondeur de la conduite :	< 700		
	700 – 1000	10	
	1000 – 1200	8	
	1200 – 1500	5	
	1500-2000	2	
	>2000	1	
		0	
	<i>pH :</i>	0 à 2	
		2 à 4	
		4 à 6.5	5
		6.5 à 7.5	3
7.5 à 8.5		0 ^(**)	
> 8.5		0	
<i>Potentiel REDOX :</i>	+ 100 mV		
	+50 mV a + 100 mV		
	0 à 50 mV	0	
	Négligeable	3.5	
<i>Sulfures</i>	Positive	4	
	Trace	5	
	Négligeable		
<i>Humidité</i>		3.5	
		2	
	Mouvais drainage	0	
	Drainage raisonnable		
	Bon drainage	2	
	1		
	0		

Tableau 1 : Evaluation de l'agressivité de sol^(*).

Annexe II-01

(*) Un total supérieur ou égal à dix points sur l'ensemble des paramètres, signifie que le sol est corrosif.

(**) Si des sulfures sont présents avec un potentiel Redox bas ou négatif, trois points doivent être donnés pour cette fraction.

Annexe V-01

Localité		PK		Longueur (m)	Diamètre (mm)	Nature du Matériau
du	jusqu'au	du PK	au PK			
Réservoir de Boudouaou		0	26.97562	91.44	1500	béton
				146.47	1500	acier
				128.45	1500	béton
				88.94	1500	acier
				321.6	1500	béton
				108.82	1500	acier
				502.26	1500	béton
				250.42	1500	acier
				674.4	1500	béton
				26.3	1500	acier
				346.11	1500	béton
				12.98	1500	acier
				469.11	1500	béton
				11.65	1500	acier
				1522.27	1500	béton
				17.94	1500	acier
				517.45	1500	béton
				18.15	1500	acier
				3115.62	1500	béton
				40.7	1500	acier
				1081.13	1500	béton
				31.21	1500	acier
				96	1500	béton
				91.41	1500	acier
				768.28	1500	béton
				14.77	1500	acier
				522.99	1500	béton
				35.5	1500	acier
				755.23	1500	béton
				17.5	1500	acier
				210	1500	béton
				17.7	1500	acier
				526.38	1500	béton
				197.01	1500	acier
				1736.53	1500	béton
				30.84	1500	acier
				1868.34	1500	béton
				46.01	1500	acier
				2593.56	1500	béton
				19	1500	acier
193.1	1500	béton				
47.92	1500	acier				

Annexe V-01

				416.94	1500	béton
				36.58	1500	acier
				2807.37	1500	béton
				34.73	1500	acier
				308.76	1500	béton
				89.11	1500	acier
				1994.17	1500	béton
				54.52	1500	acier
				313.61	1500	béton
				63.18	1500	acier
				272.78	1500	béton
				191.84	1500	acier
	Réservoir El Harrach			409.71	1500	béton
Réservoir El Harrach				2849.78	1000	béton
				24	1000	acier
				540	1000	béton
				100.67	1000	acier
				985.02	1000	béton
				10.87	1000	acier
				26.65	1000	Fonte
	Réservoir de Gué de Constantine			471.6	1000	béton
				50.55	1000	acier

Tableau 1 : Caractéristiques des canalisations reliant la station de traitement de BOUDOUAOU au Réservoir de GUE DE CONSTANTINE.

Technique de Nettoyage:

Depuis plus de 20 ans, des techniques de nettoyage ont été développées et sont destinées à supprimer les dépôts, les incrustations, les concrétions **d'oxydes métalliques** ou calcaires qui se sont formés en cours de l'exploitation.

Ces techniques sont économiques, rentables en terme de gain de débit et limitent considérablement les terrassements puisqu'il est possible de nettoyer des linéaires pouvant atteindre 10 000 fois le diamètre nominal à traiter.

Nous disposons de plusieurs solutions adaptées à tous les types de conduites et tous les types de dépôts. Ces solutions sont en outre développées pour ne pas faire subir à la canalisation d'agressions chimiques et mécaniques.

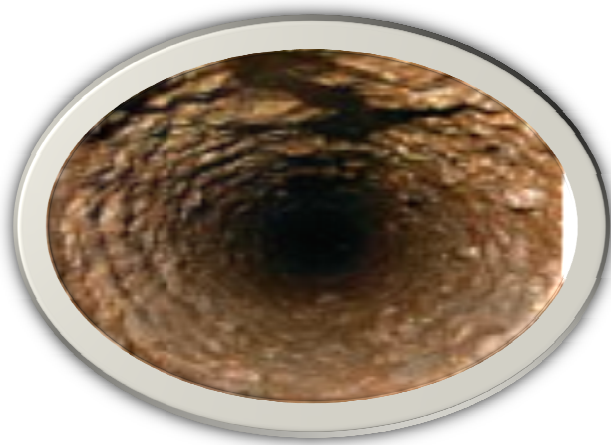


Figure 1 : Etat d'un conduit avant nettoyage

❖ Nettoyage par 3R :

L'introduction d'un outil métallique (calibré au diamètre nominal de la conduite) permet d'éliminer les incrustations dures. La conception de cet outil laissant passer environ 1/3 du débit d'eau, les particules désincrustées sont propulsées à l'avant. Les longueurs traitées correspondent à environ 10 000 fois le diamètre nominal et les diamètres varient de 100 à 1600 mm.

❖ Le nettoyage par tringles et rack Borer :

Cette technique est adaptée aux conduites fonte corrodées mais structurellement encore solides. L'introduction à contre-courant d'un outil tournant, entraîné mécaniquement par une tige acier, permet d'éclater les pustules de corrosion et de les évacuer grâce à la circulation d'eau.

Ce procédé peut être utilisé sur des tronçons allant jusqu'à 350 ml mais la longueur à traiter en une fois dépend du diamètre, du tracé et de l'implantation de la conduite. Dans le cas d'eaux rouges, ce nettoyage devra être associé à une réhabilitation par peinture EPOXY.



Figure 2: rack Borer.



Figure 3 : outil de nettoyage par TRIGLE.

Procédure De Réhabilitation Par Revêtement Intérieure :

On procède à une projection d'un Produit adhérent à la surface de l'ancien conduit. Ce produit peut être constitué de ciment éventuellement fibré (épaisseur supérieure à 3 mm) ou de peinture époxydique ou bitumineuse (film mince inférieur à 1 mm). L'application de produit est le plus souvent mécanisée (pistolet ou centrifugation).

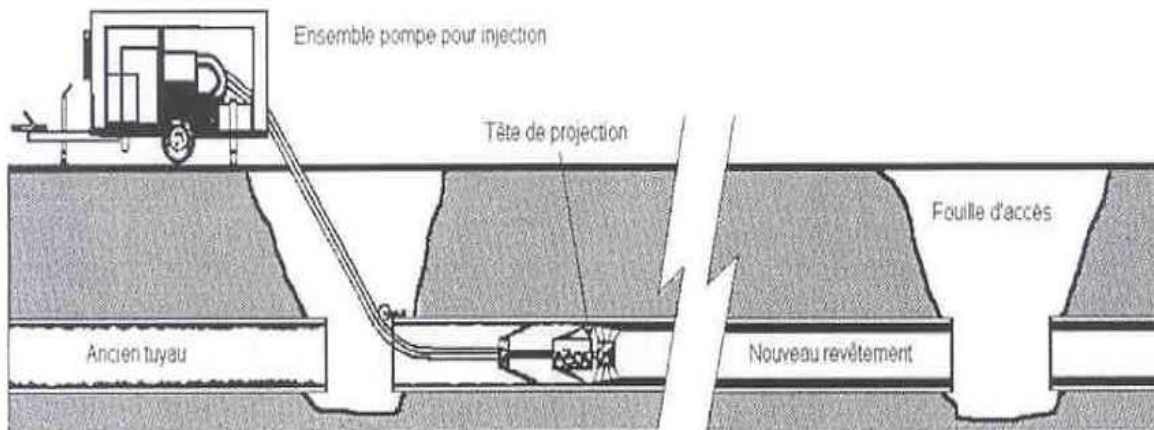


Figure 3 : Schémas de procédure par Revêtement Intérieure.

Permet différents types de revêtement il est recommandé de faire un revêtement par peinture époxydique parce que cette technique est optimale si la canalisation existante est en bon état mécanique.

Techniques de réhabilitation EPOXY :

➤ Le Principe :

Ce procédé consiste à appliquer une peinture époxy bi-composants à l'intérieur de la canalisation existante ; elle a pour but d'isoler le matériau constituant la conduite des agressions de l'eau et de réduire la rugosité de la paroi interne donc d'améliorer les caractéristiques hydrauliques (ces dernières peuvent, en effet, être augmentées de 20% environ par rapport à une conduite fonte ductile neuve).

L'épaisseur du revêtement (1 mm) ne réduit que très peu la section de la conduite et l'inertie chimique de la résine garantit l'innocuité du contenant avec le métal de la conduite. La peinture a, en outre, reçu l'Attestation de Conformation Sanitaire.

La durée de vie est estimée à plus de 75 ans suite à des essais de vieillissement accélérés réalisés par le WRC (Water Research Center).

La longueur des tronçons à traiter est de l'ordre de 130 ml. Le temps de séchage de la peinture (donc d'immobilisation de la conduite) est de 8 heures après nettoyage et application.

L'application de la résine n'a aucune influence sur les branchements.



Figure 4 : canalisation après peinture