

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE
ET POPULAIRE**

**Ministere De L'enseignement Supérieur Et
De La Recherche Scientifique**



**CENTRE UNIVERSITAIRE DE OUARGLA
Institut De Chimie Industrielle**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE
Présentée pour l'obtention du diplôme
D'INGENIEUR D'ETAT
Spécialité : Chimie Industrielle
Option : Génie Chimique**

THEME

**Contribution à l'étude du phénomène de corrosion
et du comportement de certaines nuances d'acier dans les
conditions d'exploitation des champs pétroliers de
la région de Haoud-Berkaoui**

Dirigé par :
Dr.A.A.Bebba
L.Ayadia

Présenté par :
Slimani Fadila
Allaoui Messaouda

Promotion Septembre 2000

Remerciements

Au terme du travail, présenté, dans le cadre du projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état option génie des procédés nous tenons à exprimer notre profond remerciement :

*A monsieur A.A. **Bebba** d'avoir accepté de nous encadrer, et M^{elle} L. **Ayaidia** notre co-promoteur qui a juger, ce travail réalisé sous sa conduite, et de leur conseils prodigues qui nous ont été d'une aide précieuse.*

*A monsieur A. **Ammamri** chef de laboratoire de L'ANRH, qui nous a fait l'honneur d'examiner ce travail, et de donner ces critiques constructives ainsi que ces nombreuses interventions qui nous ont beaucoup aider à la réalisation et à l'interprétation de ce mémoire.*

Nous tenons également à remercier le Directeur et nos amis de l'ANRH de Ouargla pour les analyses qu'ils nous ont réalisé, qu'ils soient assurés de notre amitiés et de notre reconnaissance la plus sincère.

Nous tenons a remercier le Commissaire et tous nos amis de CDARS de Ouargla pour l'aide précieuse qu'il nous ont toujours apportés.

*Nous sincères remerciements à ; **B.Khamgani, N. Arbaoui, B.H.Ihaddadène, H, Y.Kadri, A.Touhami, Harrouz (ENGI) , K.Dahak, K.Kerdjije** chef de département de géologie de **CRD Boumerdes** et l'entreprise **BATI-SUD** de Ouargla qui nous ont apporte, en plus de leur aide, le soutien moral et leurs amitiés.*

Sans oublier tous ceux qui nous ont marques par leurs contributions : Enseignants, Travailleurs et Etudiants.

Nous pensons également à nos amies auxquelles nous souhaitons bon courage. Sans oublier :

K.Lazouti, A.Benkhetou, S.Benzarouk, H.Zerouki, H.Fentiz, N. Mamadi, Y.Chbouat.

SOMMAIRE

Partie théorique

Introduction	01
Chapitre I	Généralités
I-1. Définition	03
I-2. Les différentes formes de corrosion	04
I-2-1. Corrosion généralisé	06
I-2-1-1. Corrosion uniforme	06
I-2-1-2. Corrosion galvanique	07
I-2-2. Corrosion localisé	07
I-2-2-1. Corrosion par piquêre	07
I-2-2-2. L'attaque microbienne	08
I-2-3. Corrosion inter-granulaire	09
I-2-4. Corrosion par fissuration	09
I-2-5. Corrosion érosion	09
I-3. Types de corrosion	10
I-3-1. Corrosion électrochimique	10
I-3-1-1. Corrosion en milieu aqueux	10
I-3-2. Corrosion microbienne	12
I-3-2-1. définition des BSR	12
I-3-2-2. Mécanisme de corrosion par BSR	12
I-3-3. Influence des divers facteurs sur la corrosion	13
I-3-3-1. Les gaz dissous (O_2 , CO_2 , H_2S)	13
I-3-3-2. Les sels dissous	15
I-3-3-3. La température	16
I-3-3-4. L'état de surface	16
I-3-3-5. Potentiel d'hydrogène	16
I-3-3-6. Les organismes vivantes	17
I-4. Evaluation de l'agressivité d'une eau	18
I-4-1. La dureté de l'eau	18
I-4-1-1. Le titre hydrotémitrique total	18
I-4-1-2. Le titre hydrotémitrique de calcium	18
I-4-1-3. Le titre hydrotémitrique de magnésien	18
I-4-1-4. Le titre hydrotémitrique permanent	18
I-4-1-5. Le titre hydrotémitrique temporaire	19
I-4-2. Alcalinité	19
I-4-2-1. Le titre alcalimétrique TA	19
I-4-2-2. Le titre alcalimétrique complète TAC	19
I-4-3. Les indices	20
I-4-3-1. L'indices de Langelier	21
I-4-3-2. L'indices de Ryznard	21

Chapitre II

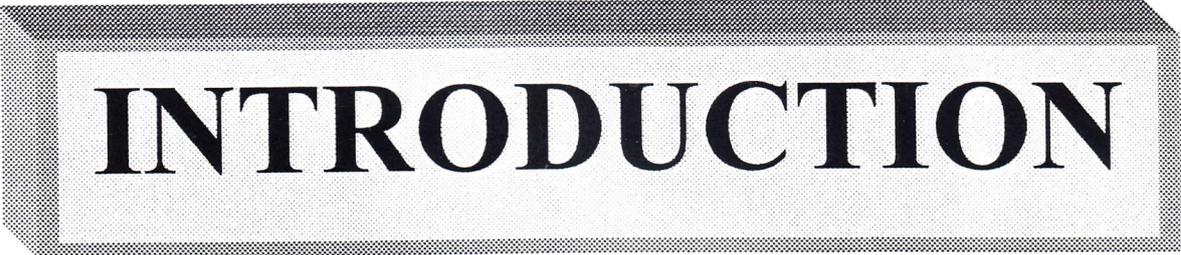
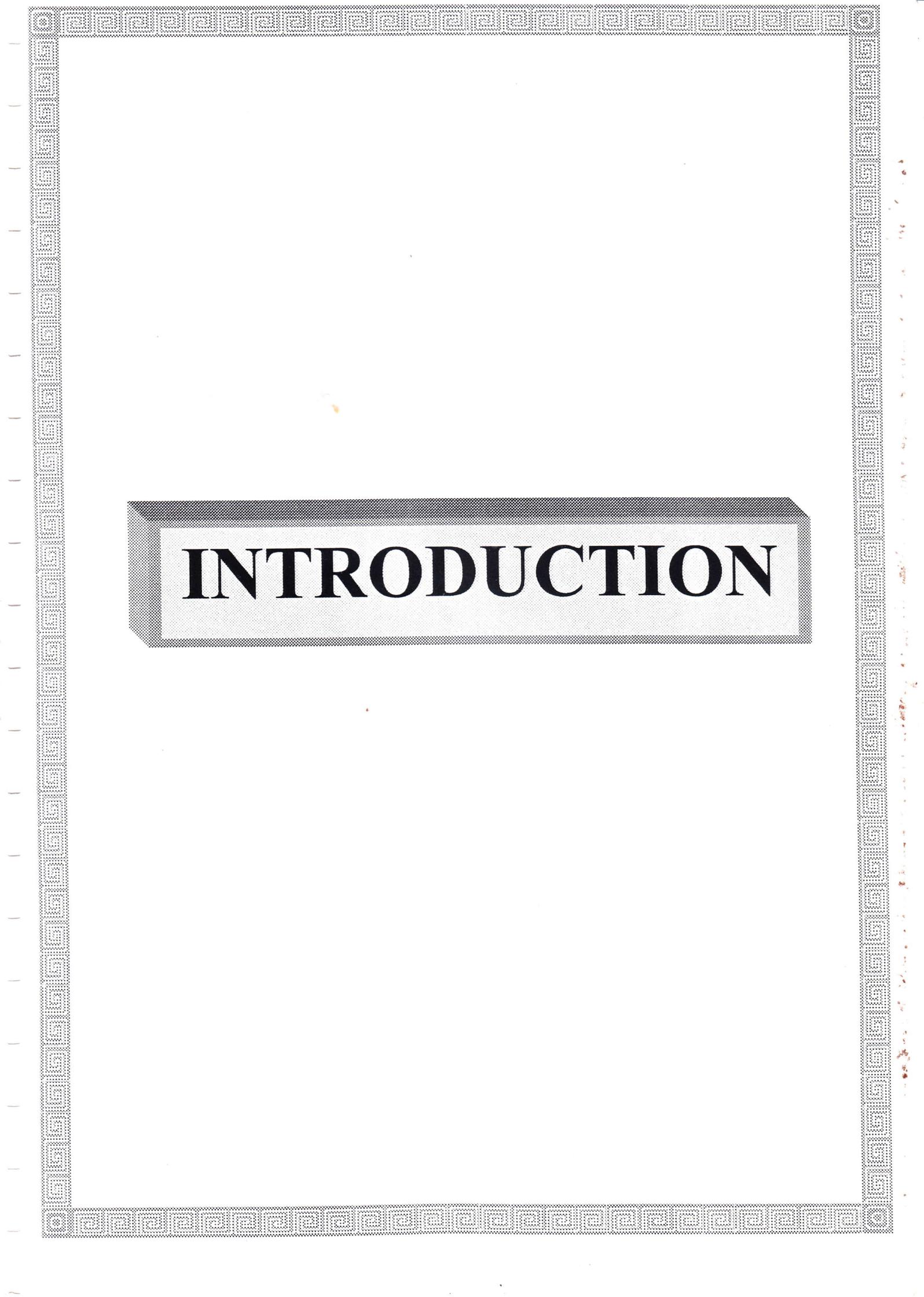
Partie expérimentale

II-1. Introduction.	22
II-2. Echantillonnage	23
II-3. Principe des appareilles (appareillages)	24
II-3-1. pH mètre numérique type E-632	24
II-3-2. Spectrophotomètre à flamme type 410 corning	24
II-3-3. Conductimètre type HACHCO	25
II-3-4. Colorimètre type N80-PN50	25
II-3-5. Spectrophotomètre type DR2000	25
II-4. Technique de mesure	26
II-4-1. Mesure de la conductivité et la minéralisation	26
II-4-2. Mesure de pH	26
II-4-3. Mesure de résidu sec	26
II-4-4. Mesure de la turbidité	26
II-4-5. Dosage des carbonates et bicarbonates	27
II-4-6. Dosage du Ca^{+2} et du magnésium Mg^{+2} par complexomètre et calcule du titre hydrotimétrique	29
II-4-7. Dosage des sulfates (SO_4^{2-})	30
II-4-8. Dosage des chlorures	31
II-4-9. Dosage du calcium, sodium potassium, par photomètre de flamme	33
II-4-10. Dosage de fer totale	33
II-4-11. Pourcentage d'erreur	34
II-4-12. Evaluation de la contamination bactérienne BSR	35
II-4-12-1. Méthode du dénombrement bactérienne	35
II-4-12-2. Méthode de dilution successive	35
II-4-12-2-1. Principe	35
II-4-12-2-2. Procédure	35
II-4-12-2-3. Préparation du milieu de culture	36
II-4-12-2-4. Technique de comptage de BSR	36
II-5. Méthode de perte de poids	38
II-5-1. Principe de la méthode	38
II-5-2. Préparation des éprouvettes (échantillons)	40

Chapitre III

Les Résultats et l'interprétations

III-1. Analyse de dépôt	41
III-2. Analyse chimique de l'eau	42
III-3. Analyse méicrobiologique	44
III-4. Dosage des gaz dissous et mesures physiques	45
III-5. Interprétation	49
III-6. Résultat de la méthode perte de poids	52
III-6-1. Description d'échantillonnage	52
III-6-2. Analyse chimique	52
III-6-3. Mesure des échantillons	53
III-6-4-Résultats de perte de poids en fonction de la concentration bactériennes	61
III-6-5-Interprétrétation	66
IV- Conclusion	67
V- Recommandation	68
VI- Bibliographie	
VII- Annexe	



INTRODUCTION

INTRODUCTION

La région de **HAOUD-BERKAOUI** représente une importante zone productrice d'hydrocarbures en Algérie. Elle se situe dans la partie Est de Oued Mya, à 100 Km de Hassi Messaoud et à 35 Km vers le Sud de Ouargla. Elle englobe trois (03) principaux champs qui sont :

- Le champ de HAOUD-BERKAOUI : Champ producteur d'huile.
- Le champ de BENKAHLA : Champ producteur d'huile situé à une distance de 14 Km.
- Le champ de GUELLALA : Champ producteur d'huile et gaz situé à 27Km au nord-est de Haoud-Berkaoui .

- Et deux centres satellites de production d'huile Guellala/Nord-Est et Draa-temra.

La capacité de production de la direction régionale de Haoud-Berkaoui est de :

- 5200 à 6200 tonnes/jour de pétrole brut.
- 190 à 230 tonnes/jour de GPL.
- 550.000 Nm³ /jour du gaz commercial.
- 500.000 Nm³ /jour du gaz lift.

Le déclin de pression des gisements a nécessité une injection d'eau pour le maintien de cette dernière. Après quelques années d'utilisation de l'eau du jurassique plusieurs problèmes sont apparus (corrosion des équipements, bouchage des puits injecteurs par le sulfure de fer, etc...), cette option fut abandonnée au profit de l'Albien à partir de 1990.

Toutefois ces problèmes n'ont pas pour autant été éliminés. L'exploitation de l'Albien a générée des situations délicates et très coûteuses. La corrosion attient tous les équipements qui peuvent se trouver à une phase ou à une autre de la production en contact avec l'eau de l'Albien et ce quelque soit la nuance de l'acier utilisée (dégradation au niveau des têtes de puits, corrosion des colonnes de production, corrosion des équipements de surface, etc...). Les affectations les plus graves sont observées sur le concentrique de traitement qui sert à acheminer les produits anti-corrosifs, ce dernier subit un changement tous les trois ans.

Ceci peut aller jusqu'à engendrer des situations catastrophiques, comme se fut le cas pour le OKN32. Après deux ans d'exploitation de ce puit, un arrêt brutal de la production a été constaté. Les mesures d'investigations ont mis en évidence une absence totale des tubages entre 504 et 600m des puits.[1]

La première partie de notre travail sera consacrée à la détermination des facteurs responsables de l'agressivité de l'eau de l'Albien et à l'évaluation de son degré de corrosivité.

La seconde partie sera consacrée au classement de trois nuances d'acier utilisée pour le macaroni, le tubing de production et le casing, afin de déterminer les critères de choix de la nuance la plus adaptée aux conditions d'exploitations propre à la région de **Haoud-Berkaoui**.



**PARTIE
THEORIQUE**

GENERALITES SUR LA CORROSION

I-1- DEFINITION ET CONSEQUENCES ECONOMIQUES :

Le terme corrosion évoque pour la plupart des personnes, l'image de la rouille propre aux métaux ferreux, comme si seul le fer était susceptible de présenter ce phénomène. Mais en réalité, la corrosion est la cause de l'altération et de la destruction de la plupart des matériaux naturels ou artificiels. [15]

La corrosion est le phénomène d'interaction entre un métal ou alliage métallique et son environnement (agent atmosphérique : air humide, CO₂, réactifs, fluide de procédé...) et qui entraîne une détérioration des propriétés utiles à l'ingénieur permettant ainsi, le retour progressif du métal à la situation stable de sulfure, d'oxyde,qui était la sienne avant les opérations d'élaboration subies.

La corrosion pourra donc être exprimée comme une simple réaction chimique hétérogène



ayant lieu à l'interface métal environnement :

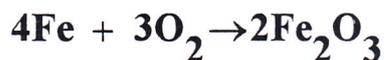
A : métal Fe, Cr....

B : espèce contenue dans l'environnement du métal.

C, D : produits de corrosion.

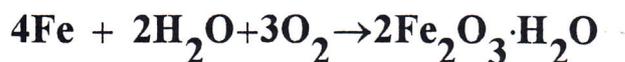
L'un des produits de la réaction de corrosion sera une forme oxydée du métal, et le second une forme réduite d'une espèce contenue dans l'environnement. [9]

Exemple :



Le Fe₂O₃ peut être considéré comme une forme oxydée du fer ou une forme réduite de l'oxygène.

En présence d'eau la réaction s'écrira :



On peut conclure que la corrosion vue sous sa forme globale est une réaction d'oxydoréduction à l'interface métal- environnement dans laquelle le métal est oxydé et une espèce présente dans son environnement est réduite.

Parmi les réactions les plus communément rencontrées on a :



D'autres réactions moins connues sont possibles :



Dans la réaction de corrosion la nature du métal, de l'environnement, les propriétés physico-chimiques des produits de réaction et les conditions de température, pression, déterminent la forme et la vitesse de la réaction. [2]

Au point de vue économique, la corrosion pose un problème très important. On estime par exemple que chaque année le quart de la production mondiale d'acier est détruit par la corrosion. [9]

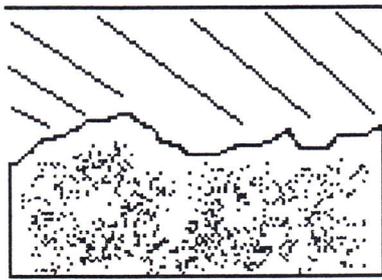
I-2- LES DIFFERENTES FORMES DE CORROSION :

Depuis que De La Rive a étudié la corrosion généralisée du Zinc et Evans l'aération différentielle, plusieurs formes de corrosion ont été étudiées et décrites (voir figure :1).

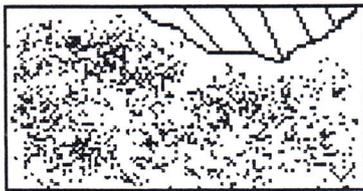
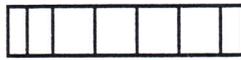
Toutes ces formes ont en commun une détérioration attribuable en partie à un effet électrolytique et peuvent être reconnues visuellement.

Les différentes formes sont réparties en corrosion généralisées, localisées, influencées par des facteurs métalliques et en d'autres corrosions assimilables à des usures mécaniques :

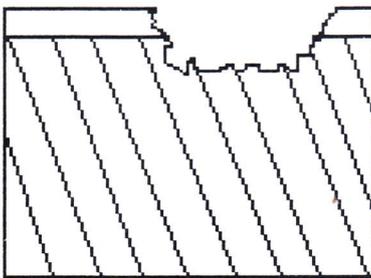
- La corrosion généralisée comprend la corrosion uniforme et la corrosion galvanique.
- Les piqûres, les attaques par aération différentielle et par les bactéries sont des formes de corrosions localisées.



Uniforme



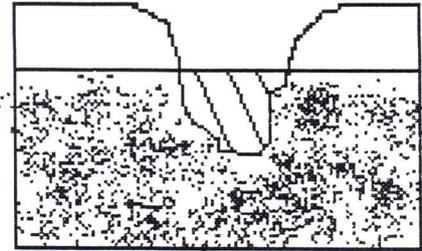
Aération différentielle



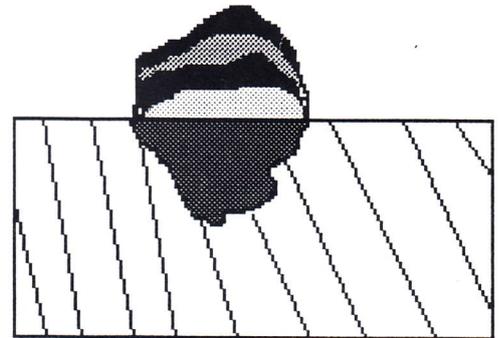
Corrosion - érosion



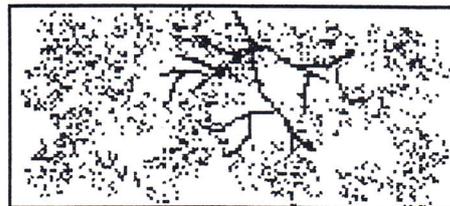
Galvanique



Localisée



Bactérienne



Sous tension

- La corrosion inter granulaire, la corrosion des soudures sont des formes de corrosion influencées par la métallurgie.
- Les usures mécaniques incluent la corrosion-érosion, la cavitation sous tension et la corrosion par fatigue.

I-2-1- CORROSION GENERALISEE :

Comme l'indique son nom, la corrosion généralisée se distingue par une usure de toute la surface exposée. Le métal se perforerait éventuellement.

Cette corrosion peut être uniforme ou galvanique, tout en ne faisant intervenir qu'un seul métal ou plusieurs métaux.

La corrosion généralisée est la forme la plus répandue et peut être détectée longtemps avant qu'un ennui vienne interrompre la vie de l'équipement ou de la structure.

I-2-1-1. Corrosion uniforme :

Cette corrosion se caractérise par une attaque de toute la surface de l'échantillon exposé au milieu. Elle se définit comme étant le type d'attaque qui est responsable de la perte la plus élevée en tonnage d'acier. [15]

Exemple : Si on plonge une plaque métallique légèrement oxydée dans une solution de HCl les zones oxydées jouent le rôle de cathode et les zones où le métal est nu jouent le rôle d'anode, il y a donc dissolution du Fer sur les zones anodiques, et l'hydrogène dégagé réduit l'oxyde des zones cathodiques.

L'attaque devient uniforme (c'est-à-dire HCl attaquera toute la surface du métal).

Si le métal n'est pas complètement attaqué par l'acide ou s'il a été abandonné à l'air libre on aura des endroits oxydés et des endroits non oxydés, on appelle cette forme une corrosion par plaques. [2]

I-2-1-2. Corrosion galvanique :

L'appellation "corrosion galvanique" prête à confusion puisque toute corrosion électrochimique est galvanique. Elle introduit les notions d'anode et de cathode et la différence de potentiels entre chacune ainsi que le courant de corrosion. Cette corrosion se trouve au

voisinage immédiat de la rencontre des deux métaux, son attaque peut être considérée comme localisée à un endroit précis, mais la forme est généralisée.

La corrosion galvanique se reconnaît à l'usure de la surface de l'échantillon et se traduit par une perte d'épaisseur. La pile de Volta, qui a servi à l'étude de l'électricité, en est l'exemple le plus connu. En effet, quand deux métaux différents sont reliés entre eux dans un électrolyte, il s'établit une différence de potentiel et un débit de courant. Le métal le moins résistant devient anodique et le plus résistant, cathodique.

L'attaque galvanique ne nécessite pas systématiquement des métaux différents pour agir. De simples disparités dans la composition, le milieu ou l'âge de ces matériaux peut amener ceux-ci à se détériorer.

Exemple : une tuyauterie neuve installée à côté d'une tuyauterie plus ancienne se corrode d'abord, car cette tuyauterie est anodique par rapport à l'ancienne qui est protégée par les oxydes. De ce fait, le potentiel de l'ancienne est plus élevé que celui du tuyau neuf.

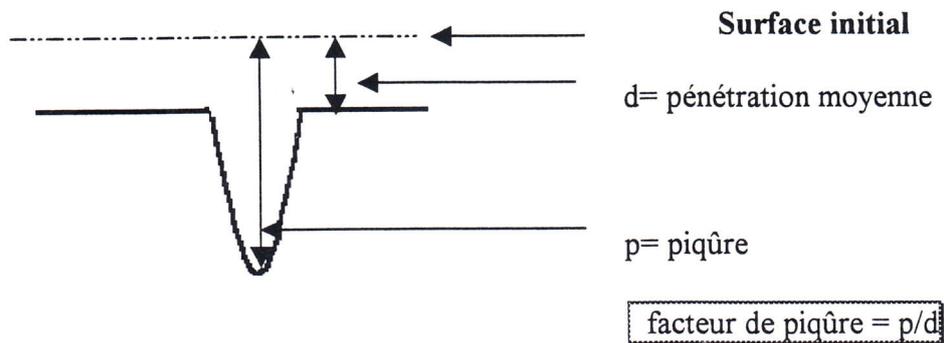
I-2-2- CORROSION LOCALISEE :

C'est la forme la plus insidieuse et elle ne peut être évaluée convenablement par le calcul de son taux. En effet, pour une perte de poids minimale, la corrosion localisée peut être catastrophique, par la mise hors service d'une partie de l'équipement. Ce type de corrosion inclut les piqûres, et l'attaque microbienne. [15]

I-2-2-1. Corrosion par piqûres :

Les piqûres constituent une forme d'attaque extrêmement localisée et peuvent obtenir au percement du métal ou la vitesse de corrosion est grande il en résulte une piqûre soit profonde soit superficielle.

Cette forme de corrosion est caractérisée par un facteur de piqûre qui est le rapport entre la plus profonde pénétration et la moyenne de pénétration.



Si le facteur de piqûre est égal à 1, on a affaire à une corrosion uniforme. [2]

I-2-2-2. L'attaque microbienne :

Cette forme d'attaque localisée se reconnaît à certaines caractéristiques, selon que les micro-organismes agissent directement sur le procédé de corrosion ou qu'ils participent indirectement, par leur métabolisme, à la détérioration.

Les micro-organismes peuvent intervenir dans la corrosion d'une ou de plusieurs façon :

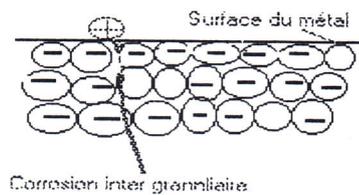
- Action directe sur les taux de réaction anodique ou cathodique.
- Modification de la résistance des films métalliques par leur métabolisme ou leur produit.
- Création de milieux corrosifs.
- Croissance et multiplication des micro-organismes, création possible des cellules électrolytiques à la surface des métaux (participation à la formation de dépôts).

Les micro-organismes peuvent être aérobiques ou anaérobiques, selon qu'ils se développent dans un milieu oxygéné ou non. [15]

I-2-3- CORROSION INTER-GRANULAIRE :

C'est un type d'attaque par un réactif localisé dans les joints des grains d'un métal ce qui produit la perte de résistance du métal.

Les joints de grains du métal agissent comme anode alors que la surface des grains agit comme cathode. L'attaque est souvent rapide et pénètre profondément dans le métal. La sensibilité à la corrosion inter granulaire est aggravée si la pièce métallique est sous contrainte mécanique (c'est-à-dire la contrainte a tendance à écarter les grains les uns des autres et a laisser passer profondément l'agent corrosif). [2]



I-2-4- CORROSION PAR FISSURATION :

Si un métal se trouve dans un milieu corrosif et s'il est soumis à des efforts de traction, flexion, torsion répétée ce métal casse par fatigue – corrosion. Si le métal est soumis à une traction constante en milieu corrosif il se fissure.

I-2-5- CORROSION – EROSION :

La corrosion – érosion suppose un accroissement de la vitesse de détérioration en raison du mouvement relatif du fluide et de la surface métallique. Le métal est éliminé en surface sous la forme d'ions dissous, ou encore sous la forme de produits solides de corrosion, balayés mécaniquement de la surface métallique.

Les liquides (boues) contenant des solides en suspension sont particulièrement destructifs. Tous les genres d'équipements exposés aux fluides en mouvement sont sujets à la corrosion – érosion. [15]

I-3- LES TYPES DE CORROSION :

Parmi les différents types de corrosion qui existe, nous allons limiter aux deux types les plus importants : la corrosion électrochimique, la corrosion microbienne .

I-3-1- LA CORROSION ELECTROCHIMIQUE :

C'est une dégradation des matériaux et de ses propriétés par des réactions chimiques ou électrochimiques avec l'environnement. Elle est causée principalement par des réactions électrochimiques dont la plus élémentaire, pour le Fer est la suivante :

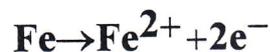


Dans le cas d'un métal en contact avec le milieu aqueux, il se produit une émission d'ions métalliques dans la solution et une modification de l'interface métal/solution, avec formation de produits de corrosion et un dégagement gazeux. Le phénomène de corrosion électrochimique est accéléré par l'hétérogénéité du matériau, le pH, la composition de la solution et par la température. [11]

I-3-1-1. La corrosion en milieu aqueux :

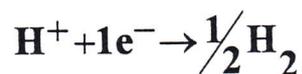
Le mécanisme de la corrosion par l'eau se résume à une action d'oxydoréduction représentée par les équations suivantes :

Aires anodique :



C'est une réaction rapide mais généralement la vitesse de corrosion est contrôlée par la réaction cathodique qui est plus lente.

Aires cathodique :

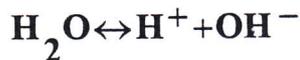


Cette réaction qui est lente en milieu aqueux neutre ou basique devient rapide en milieu acide, et peut être accéléré par l'oxygène dissous suivant une réaction de dépolarisation qui est la suivante :

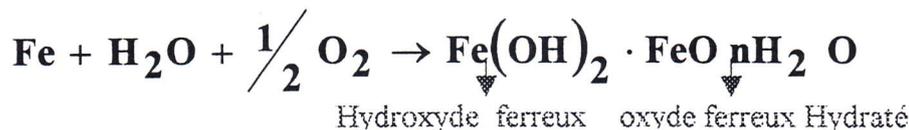


Dans cette réaction l'oxygène dissout réagit avec l'hydrogène absorbé à la surface du Fer, si on tient compte de la réaction de dissociation de l'eau, on obtient la réaction globale en milieu aqueux :

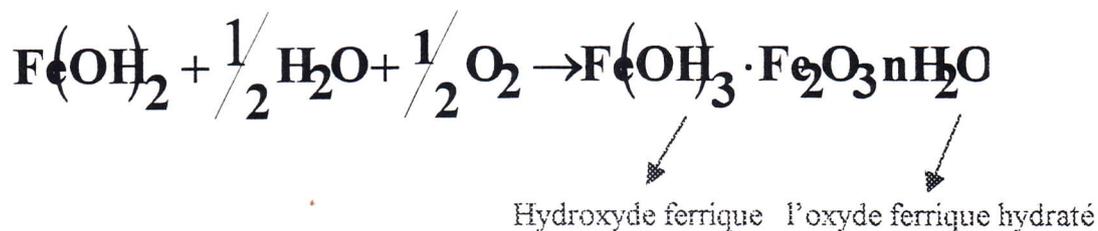
Réaction de dissociation de l'eau :



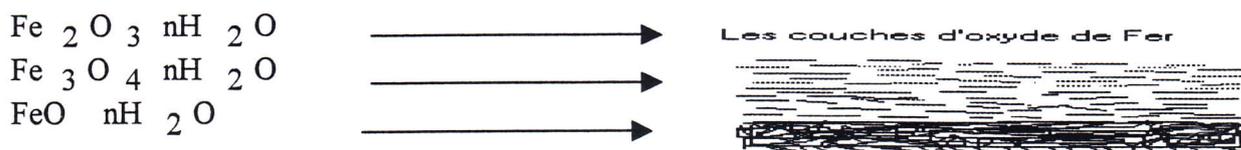
Réaction globale :



Ces deux composants, l'hydroxyde et l'oxyde ferreux hydraté forment une barrière de diffusion à l'interface métal – solution. Le Fe(OH)₂ est de couleur blanche tandis que le FeO · nH₂O est de couleur vert noir. Le film d'oxyde ou d'hydroxyde va s'oxyder à son tour en contact de l'oxygène dissous pour donner l'oxyde ferrique hydraté ou l'hydroxyde ferrique.



Fe₂O₃ · nH₂O est de couleur orange brun (rouille). Avec le pH de Fe(OH)₃ qui est presque neutre il peut se former une ferrite hydratée Fe₃O₄ · nH₂O comme couche intermédiaire de couleur noire entre FeO et Fe₂O₃. Ainsi les films de rouille sont constitués de trois (03) couches d'oxyde de Fer par nombre d'oxydation croissant. [15,9]



I-3-2- CORROSION MICROBIENNE :**I-3-2-1. Définition des bactéries sulfato-réductrices :**

Ce sont des bactéries anaérobies, elles utilisent les sulfates comme accepteur terminal d'électrons. Ces bactéries réalisent le couplage de l'oxydation d'un substrat organique donneur d'électron avec réduction des sulfates en sulfure. Elles sont souvent rencontrées dans la plupart des eaux de fonds, leur dimension est de 0.4μ à 0.6μ de largeur, de 1.5μ à 3μ de longueur, ce qui explique leur passage à travers les filtres à sable.

Malgré l'anaérobiose des bactéries sulfato-réductrices, elles ont les possibilités de survivre en présence d'oxygène libre. La zone de pH qui est la plus favorable à leur prolifération est située entre 5.5 et 9.5. la température optimale de croissance est variable d'une souche à l'autre.

En générale une modification brusque du milieu qui leur est favorable arrête leur développement. Au contraire des variations progressives de la température, du pH ou de la salinité permettent leur adaptation.

I-3-2-2. Mécanisme de corrosion par les bactéries sulfato-réductrices :

- Ionisation de l'eau



- Corrosion anodique du Fer



- Formation d'hydrogène à la cathode



- Absorption de l'hydrogène par la cathode



- Réactions anodiques secondaires



Le mécanisme de la corrosion le plus important est la dépolarisation de la cathode par les bactéries consommatrices d'hydrogène telles que les BSR. Cette consommation fait appel à un enzyme, l'hydrogénase servant de catalyseur biologique et qui, permet aux bactéries d'extraire l'énergie de la corrosion au profit de leur métabolisme.

La corrosion par les bactéries sulfato-réductrices peut présenter deux aspects :

Augmentation de la corrosion électrochimique par consommation de l'hydrogène formé.

Corrosion par hydrogène sulfuré.

Ceci a pour conséquence soit une corrosion localisée par piqûres, soit la production de H₂S qui formera des dépôts de sulfure de Fer (FeS).

C'est ainsi que le colmatage de la formation sera donc provoqué non seulement par le volume des cellules, mais surtout par les produits de la corrosion. [7,10]

I-3-3- INFLUANCE DES DIVERS FACTEURS SUR LA CORROSION :

Parmi les facteurs susceptibles d'intervenir dans les phénomènes de corrosion dans la pratique industrielle on citera :

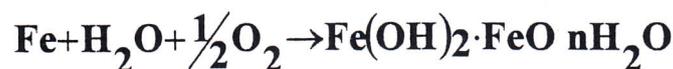
- Les gaz dissous (CO₂, O₂, H₂S).
- Les sels dissous.
- Les organismes vivants.
- La température, le potentiel d'hydrogène, l'état de surface.

I-3-3-1. Influence des gaz dissous (CO₂, O₂, H₂S) :

I-3-3-1-1. influence de l'oxygène dissous :

A température ambiante dans une eau neutre saturée d'air la vitesse de corrosion initiale est très grande $V_{in} = 100 \text{ mg/dm}^2\text{.j}$, et au bout de quelques jours cette vitesse diminue à cause de la barrière de diffusion du film de rouille formé sur le métal et sera donc de l'ordre de $10^{-25} \text{ mg/dm}^2\text{.j}$. la vitesse de corrosion est d'autant plus élevée que l'eau se déplace par rapport au métal (Fer)

D'après la réaction suivante :



La vitesse de corrosion est proportionnelle à la concentration de l'oxygène, et elle est négligeable en l'absence de ce dernier. Bien que la concentration de l'oxygène dissout

accélère la vitesse de corrosion il a été montré qu'au-delà d'une certaine concentration la vitesse de corrosion chute vers une faible valeur qu'on appelle concentration critique de l'oxygène qui est de l'ordre de $12 \text{ cm}^3/\text{l. H}_2\text{O}$.

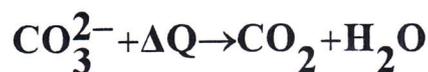
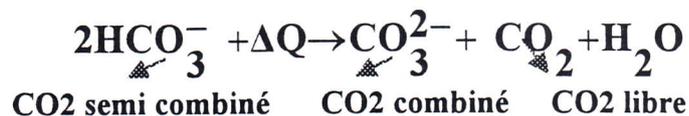
× Cette diminution de la vitesse est due à la passivation du Fer par l'oxygène, d'après la théorie de l'adsorption l'excès d'oxygène forme un film passif à la surface du Fer. Cette passivité est rompue dans les fissures (piqûres profondes) ou à la présence de chlorures (eau de mer).

Dans les zones moins aérées l'action de l'oxygène conduit à la séparation non pas d'hydroxyde ferrique, mais de magnétite Fe_3O_4 qui généralement se forme à une certaine distance de l'endroit où se dissout le Fer.

Il est important de savoir que plus la concentration de l'oxygène dissoute est élevée, plus le potentiel de l'électrode est élevé, plus la corrosion sera importante. [2] ✕

I-3-3-1-2. influence du Dioxyde de carbone (CO_2) :

Le dioxyde de carbone est produit par les bicarbonates et les carbonates dans l'eau. Ceci est dû au fait que sous l'action de la température les carbonates de calcium se déposent pour donner du CO_2 .



La présence des gaz carboniques dans l'eau en l'absence d'oxygène constitue une réserve d'agent corrosif, à pour conséquences la formation d'ions H^+ , CO_3H^- et CO_3^{2-} . [4,8]

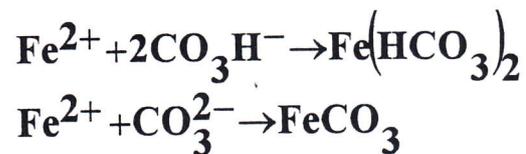


L'apparition des ions H^+ contribue à l'abaissement du pH.

- L'eau devient plus acide.
- La corrosion est soit déclenchée, soit accélérée.

A pH comparables, les solutions aqueuses de CO_2 sont souvent plus corrosives que celle d'acides forts. Dans le cas du Fer, les ions ferreux Fe^{2+} formés lors de la dissolution,

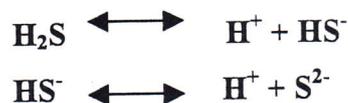
réagissent avec les ions CO_3H^- et CO_3^{2-} pour donner du bicarbonate ferreux soluble et du carbonate ferreux qui, dès que le produit de solubilité est atteint, précipite à la surface du métal.



L'attaque du Fer par le gaz carbonique dissous devient négligeable pour les concentrations égales ou inférieures à 10^{-6} moles/l. [12]

I-3-3-1-3. influence du l'hydrogène sulfuré (H_2S) :

L'hydrogène sulfuré est également un gaz acide. Il se dissocie partiellement en présence d'eau suivant les réactions :



Les constantes de dissociation sont faibles, mais ces réactions sont rapides. Si des ions H^+ sont consommés par une réaction de corrosion, ils sont immédiatement remplacés par déplacement vers la droite des équilibres indiqués ci-dessus. Dans ces conditions, l'hydrogène sulfuré constitue une importante réserve d'espèce corrosion.

Cet effet est aggravé par l'action catalytique des sulfures sur la corrosion et la fragilisation des métaux ferreux. [4,8]

I-3-3-2. Les sels dissous :

On a déjà précisé que l'augmentation de la vitesse de corrosion est proportionnelle à la concentration de l'oxygène dissous qui à son tour augmente avec les sels dissous, donc la présence de sels dissous dans l'eau fait augmenter la conductivité du milieu qui devient un excellent électrolyte, et de ce fait accélère la corrosion. Tous les sels ne vont pas agir de la même manière :

- Les sels acides (AlCl_3 , NiSO_4 , MnCl_2 , FeCl_2 , NH_4Cl ,) ; S'hydrolysent pour donner des solutions acides qui provoquent une corrosion avec dégagement d'hydrogène.

- Les sels alcalins (Na_3PO_4 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, Na_2CO_3 ,) ; S'hydrolysent et donnent des solutions alcalines. Ils agissent comme inhibiteurs de corrosion.
- Les sels oxydants sont, soit dépolarisants (FeCl_3 , CuCl_2 , HgCl_2 : pompe à électrons)et, de ce fait, augmentent la corrosion, soit passivants ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, NaNO_2 , KMnO_4 ,) et sont alors des inhibiteurs efficaces.

I-3-3-3. La température :

Elle joue un rôle important, l'augmentation de la température fait augmenter la vitesse des processus déjà cités :

- Par déplacement de l'équilibre, formation de couples galvanique (zones chaudes et froides).
- Par la prolifération d'organisme vivant en milieu favorable.

I-3-3-4 L'état de surface :

La présence de dépôt, existant dans un réseau ancien et encrassé ou provenant du transfert d'eaux mal filtrées, peut être source de corrosion pour deux raisons :

- Création de zones sous dépôt, aérées et génératrices de plages Anodiques.
- De plages de développement de souches bactériennes diverses et de réaction réductrices dépassivantes.

I-3-3-5. Le potentiel d'hydrogène :

Le pH a une influence importante sur le taux de corrosion de l'eau. En effet les diagrammes de Pourbaix représentent nettement cette influence sur la corrosion des métaux.

Le diagramme de Pourbaix pour l'équilibre métal pur – eau (en plus des traces d'ions), présente les équilibres entre le métal, les ions métalliques, les oxydes et hydroxydes solides pour les systèmes où les réactifs sont uniquement le métal pur (pas d'alliage) et l'eau pure.

Le diagramme étant issu d'un concept purement thermodynamique ne fait intervenir aucune considération de cinétique, et ne peut donc être utilisé pour prédire la vitesse de corrosion. Il représente les zones de réactions thermodynamiques possibles :

- Domaine ou le métal se corrode.
- Domaine ou le métal est susceptible de se passiver.
- Domaine ou le métal est stable vis a vis du réactif. [12]

I-3-3-6. les organismes vivants :

La corrosion biologique ou bactérienne n'est pas un type particulier de corrosion elle est tout simplement une corrosion électrochimique en milieu aqueux c'est à dire constituée d'un couple redox assistée par un processus biologique. Le métabolisme de l'organisme vivant va transformer des espèces présentes dans l'environnement et ainsi influencer sur la réaction cathodique ou anodique pouvant par la suite changer les paramètres de la corrosion. Il existe une multitude de bactéries possédant des métabolismes variés, agissant dans des plages de température, de pression et à des pH différents.

L'influence de ces bactéries sur le mécanisme de la corrosion se traduit par :

- Une action directe, ces les réactions anodiques et/ou cathodiques.
- La création de condition corrosive (production d'acide).
- La modification des films de surface.
- La participation à la formation de dépôt. [15,9]

I-4- EVALUATION DE L'AGRESSIVITE D'UNE EAU :

Une eau est agressive lorsqu'elle a tendance soit de corrodés les équipements ou a provoquer leur entartrage ou les deux ensemble. La corrosion résulte de la présence de certains gaz dissous ou certaines espèces ioniques, l'entartrage provient de l'interactions entre certains cations et anions qui ont tendance a former des précipités. Les deux peuvent être caractérisées à partir de certains titres et indices :

I-4-1- LA DURETE DE L'EAU (TITRES HYDROTOMETRIQUES)

le titre hydrotimétriques représente la concentration en ions alcalino-terreux présents dans l'eau les ions calcium et magnésium qui donnent à l' eau sa dureté généralement il existe cinq titres hydrotimétriques qui sont:

I-4-1-1. Le titre hydrotimétrique total (TH_{total}):

Correspond à la somme de tous les ions calcium et magnésium présents indépendamment de l'anion présent.

$$\text{TH total} = [\text{Ca}^{++}] + [\text{Mg}^{++}]$$

I-4-1-2. Le titre hydrotimétrique calcium (TH_{Ca}):

Correspond à la teneur en sels de calcium .

$$\text{TH ca} = [\text{Ca}^{++}]$$

I-4-1-3. Le titre hydrotimétrique magnésien (TH_{Mg}):

Le titre hydrométrique magnésien représente la teneur globale des sels de magnésium , c'est la différence entre le titre hydrométrique total et le titre hydrométrique calcique.

$$\text{TH}_{\text{Mg}} = \text{TH}_{\text{total}} - \text{TH}_{\text{Ca}}$$

I-4-1-4. Le titre hydrotimétrique permanent (TH_{permanent}):

On appelle aussi dureté permanente ou dureté non carbonatée ; il correspond aux chlorures et aux sulfates de calcium et de magnésium.

I-4-1-5. Le titre hydrotimétrique temporaire ($TH_{\text{temporaire}}$):

On l'appelle aussi dureté temporaire ou dureté carbonatée ; il correspond aux carbonates et bicarbonates de calcium et de magnésium.

$$TH = TH_{\text{permanent}} + TH_{\text{temporaire}}$$

Remarque : TH peut être exprimé en méq/litre, en mg de $CaCO_3$ par litre ou en degré français.

I-4-2- ALCALINITE (TITRES ALCALIMETRIQUES)**I-4-2-1. Le titre alcalimétrique (TA) :**

TA correspondance anglaise PA (phénol phtalein alkalinity) c'est le premier point de neutralisation à $pH = 8,3$ caractérisé par le passage de la phénophtaleine du rouge à l'incolore, il correspond à la neutralisation des bases tel que soude, chaux...



Et à la moitié de la neutralisation des carbonates (passage au bicarbonate)



$$TA = [OH^-] + 1/2 [CO_3^{2-}]$$

I-4-2-2. Le Titre alcalimétrique complet (TAC):

TAC correspondance anglaise MA(methylo rang alkalinity) c'est le deuxième point de neutralisation à $pH=4,5$ caractérisé par le passage du jaune au rose, il correspond à la neutralisation des bicarbonates c'est à dire la moitié des carbonates et des bicarbonates présent initialement.

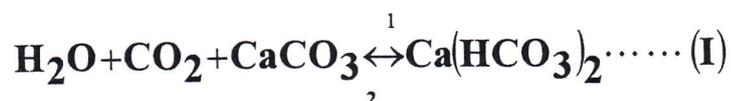
$$TAC = [OH^-] + [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-]$$

La connaissance de TA et TAC permet de calculer les concentrations en hydroxydes en carbonates, et en bicarbonates. [3,14]

I-4-3- LES INDICES :

L'étude de l'agressivité des eaux est réalisée par, deux pH mesurés. Le pH_0 qui est mesuré sur une eau brute in situ. Le deuxième pH mesuré est le pH de saturation pH_s .

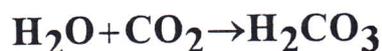
Le comportement de l'eau peut être expliqué en fonction de la réaction de l'équilibre calco-carbonique suivant :



D'après cette réaction trois (03) cas peuvent se présenter :

L'eau est agressive :

Le $CaCO_3$ est attaqué par l'acide carbonique résultant de la réaction :



Pour le transformer en bicarbonate, ainsi le sens (1) de la réaction (I) est favorisé et on remarque une diminution des ions (H^+) libéré donc une augmentation du pH ce qui fait que $pH_0 < pH_s$.

L'eau est incrustante :

Dans ce cas le bicarbonate se trouvant dans l'échantillon d'eau va se déposer en carbonates et en acide carbonique, ce qui va faire élever la concentration des ions (H^+) donc on aura une diminution du pH cela fait que $pH_0 > pH_s$ ainsi le sens numéro (2) de la réaction (I) est favorisé.

L'eau est équilibrée :

Dans le cas d'une eau neutre, un équilibre dynamique s'installe ainsi la même quantité de bicarbonate formé sera déposée tout de suite. Le pH reste inchangé et on aura $pH_0 = pH_s$. Pour déterminer la tendance de l'eau, il existe deux formules ou les paramètres recherchés sont : [2]

I-4-3-1. Indice de langelier (indice de saturation) : [3,14]

$$I_L = pH_0 - pH_S$$

$$pH_S = pTAC + pCA + C$$

pTAC, pCA, C sont obtenues a partir du diagramme de langelier (voir annexe 1).

Interprétation:

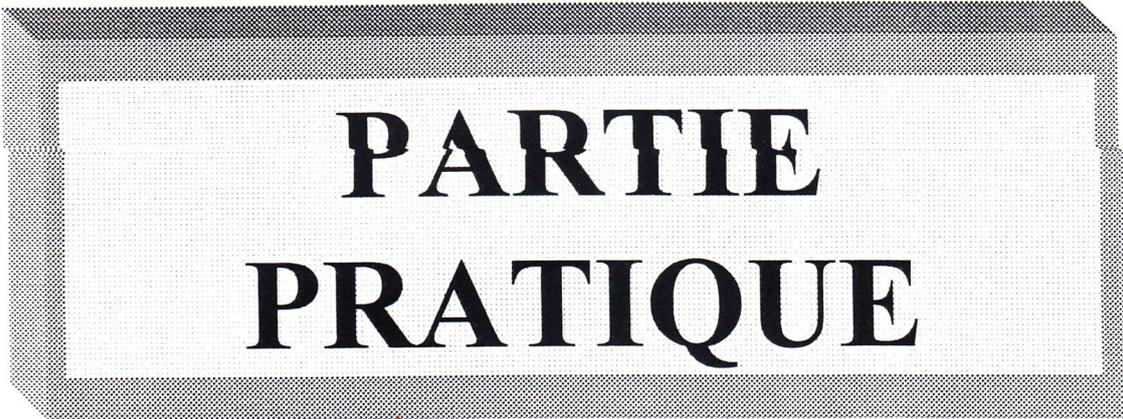
Si $I_L > 0$	Eau entartrante.
Si $I_L < 0$	Eau corrosive.
Si $I_L = 0$	Eau neutre.

I-4-3-2. Indice de Ryznard (indice de stabilité) :

$$I_R = 2pH_S - pH_0$$

Interprétation:

$4 < I_R < 5$	Entartrage important.
$5 < I_R < 6$	Entartrage faible.
$6 < I_R < 7$	Equilibrée.
$7 < I_R < 7.5$	Légère corrosivité.
$I_R > 7$	Corrosivité importante.



**PARTIE
PRATIQUE**

INTRODUCTION

L'eau de l'Albien qui est utilisé dans le système de maintien de pression au niveau de champs **HAOUD BERKAOUI**, est extraite de la formation de l'Albien à travers les puits producteurs. L'eau produite une fois acheminée jusqu'aux centres d'injection d'eau sera injectée dans le gisement par les puits injecteurs. Cette eau avant d'être produite, sera traitée avec des produits chimiques tel que les inhibiteurs de corrosion et les bactéricides, le traitement chimique est réalisé en deux phases:

- Les puits producteurs: l'injection des produits est réalisées par concentriques individuellement.
- Les puits injecteurs: à partir du centre de production et à la sortie de la station de compression.

l'eau dans son circuit est en contact direct et permanent avec des casings de production 7" et éventuellement les macaronis 1"66 utilisés pour le traitement de l'eau.

Le contact permanent de cette eau avec les aciers de différentes nuances pourrait être la source d'une corrosion électrochimique et/ou bactérienne.

A partir de ces constatations une étude de corrosion de l'eau de l'ALBIEN est réaliser pour diterminer la cause de corrosion et classer les différentes naunces d'aciers sur le réseau d'injection et production d'eau a été entamée par le service de traitement corrosion de **HAOUD BERKAOUI** pour les analyses physiques, les analyses de dépôt à **C.R.D** de **BOUMERDES**, l'analyse chimique d'eau à l'**ANRH** de Ouargla et essai de corrosion à centre l'université de ouargla.

Pour l'élaboration de cette étude il a été suggéré :

- Une analyse d'un dépôt provenant d'un macaroni.
- Une évaluation de l'agressivité de l'eau de l'Albien.
- Une évaluation de la contamination en **BSR** et en agents corrodant.
- Une évaluation de la corrossivité de l'eau de l'Albien sur les trois échantillons d'aciers (la méthode de perte de poids).

II-2- ECANTILLONNAGE :

Une grande importance est donnée aux opérations d'échantillonnage de ce fait l'opérateur doit avoir une connaissance précise des conditions d'échantillonnage (prélèvement et conservation) et leurs importance pour la qualité des résultats analytiques. En effet l'échantillon doit être homogène représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau car les erreurs susceptibles de rendre difficile l'interprétation des résultats sont les plus souvent liée à un échantillon non satisfaisant qu'à des erreurs analytiques proprement dites.

Prélèvement :

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération à laquelle le plus grands soins doivent être apportés, il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui sera donnée.

Date de prélèvement :

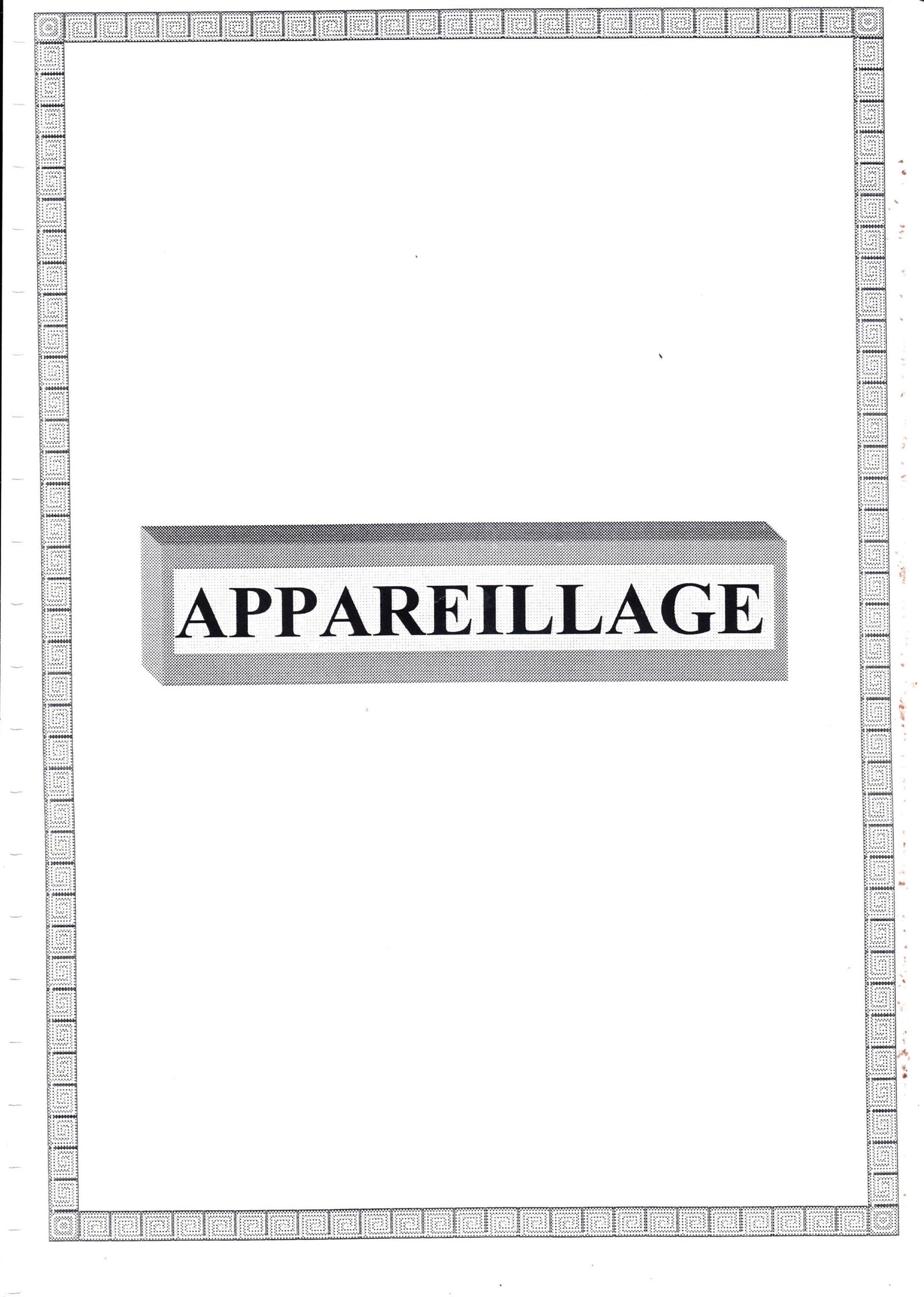
Tous les prélèvements ont été effectués durant la période 15-03-2000 et 14-06-2000.

Matériel de prélèvement :

L'eau doit être prélevée soit dans des flacons en verre borosilicate bouche à l'emeri ou dans des bidons en polyéthylène traités à l'acide nitrique et rincés à l'eau distillée jusqu'à cessation de toute acidité avant leur usage.

Mode de prélèvement :

À l'instant du prélèvement, pour l'analyse chimique les flacons seront nouveaux rincés trois fois avec de l'eau à examiner puis remplis jusqu'au bout. Le bouchon sera placé de telle façon qu'il n'y ait aucune bulle d'air et normalement qu'il ne soit pas éjecté au cours du transport.



APPAREILLAGE

II-3-PRINCIPE DES APPARIELLES :

II-3-1- pH mètre numérique type E 632

1- Principe de fonctionnement :

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (KCl saturé) plongé dans une même solution est fonction linéaire du pH de celle ci selon la loi de (*NERNST*) suivante :

$$E = E_0 + 2.3 RT / nf \log a_H$$

E : potentiel mesure (Volt)

E_0 : constante dépendant du choix de l'électrode de référence et solution interne.

R : constant des gaz(j/mol.k).

T : température absolue (°k).

n : charge de l'ion.

F : constante de Faraday (96500 C) .

a_H : activité de l'ion H^+ dans l'échantillon.

2- Paramètre mesure :

pH : cet appareil est utilisé également pour le dosage du HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- .

II-3-2- Spectrophotomètre à flamme type 410 corning

1- Principe de fonctionnement :

La pulvérisation d'une solution d'eau contenant des métaux dans une flamme se caractérise par une décomposition et une dissociation à l'état atomique des traces métallique. Les électrons des atomes des métaux sont ainsi excites thermiquement par la flamme, et leur retour à l'état fondamental s'accompagne de l'émission d'une radiation dont la longueur d'onde est spécifique de l'élément recherché et l'intensité est directement roportionnelle à la concentration.

2- Les éléments dosés :

Les élément dosés par la méthode spectrophotomètre à flamme sont : Na^+ , Ca^{2+} , K^+ .

II-3-3- Conductimètre type HACH CO

1-Principe de fonctionnement :

Le conductimètre est lié à une cellule constituée de deux lames carrées en platine maintenue séparées l'un de l'autre de 1cm et de surface de 1cm^2 , déposées en parallèle dans un tube de verre à une distance de 1cm, lorsque ce montage est plongé dans l'eau on mesure sa conductance.

II-3-4- Colorimètre type M80-PN50

1- Principe de fonctionnement :

La lumière d'une lampe tungstène est réfléchiée par un miroir parabolique et dispersé par un double passage à travers un prisme ; la longueur d'onde choisie est reçue sur une fente mobile. Lorsque le faisceau lumineux traverse la solution colorée une fraction de la lumière incidente est absorbée en fonction de la concentration du composé coloré. Les concentrations des éléments dosés sont déduites à partir des courbes d'étalonnage préalablement préparées.

2- Eléments dosés :

Les éléments dosés par la méthode de colorimétrie sont : SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- .

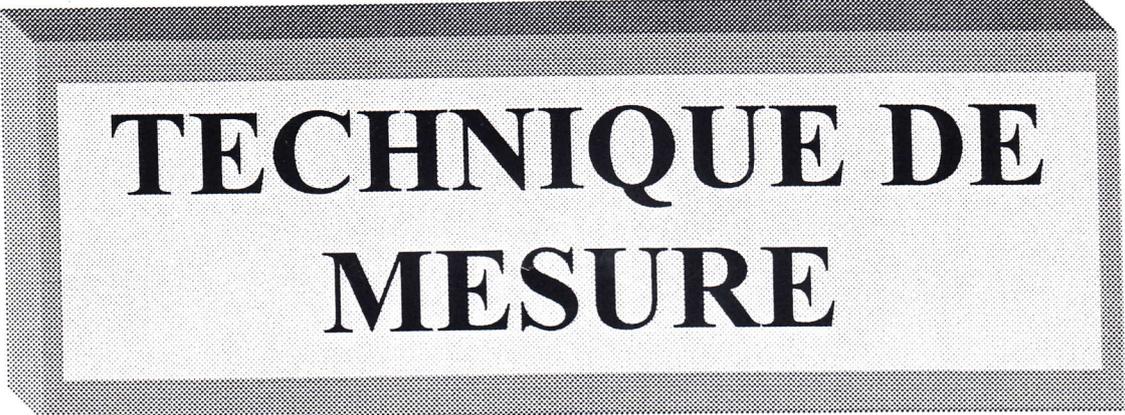
II-3-5- Spectrophotomètre type DR2000

1- Principe de fonctionnement :

Le principe de fonctionnement du spectrophotomètre type DR2000 est le même que celui du colorimètre type M80-PN50. Les concentrations des éléments dosés sont directement lues sur l'appareil.

2- Eléments dosés :

Le spectrophotomètre type DR2000 consiste à mesurer : la turbidité, le fer dissous...



**TECHNIQUE DE
MESURE**

II-4-TECHNIQUES DE MESURES :

II-4-1- Mesure de la conductivité et de la minéralisation :

La 1^{ère} étape préalablement et important c'est la mesure de la conductivité pour chaque échantillon. L'unité de la conductivité est le siemens par mètre (s/m) mais généralement pour l'analyse d'eau elle est exprimée en micro siemens par centimètre (ms/cm).

La 2^{ème} étape c'est le calcul de la minéralisation des échantillons à partir de la conductivité. On utilise l'une des formules figurant dans l'annexe 1.

-D'après la conductivité on peut déterminer les facteurs de dilution pour chaque expérience (voir le tableau dans l'annexe 1).

- Pour les quatre échantillons étudiés on a :

$$\text{La minéralisation} = 759 * \text{La conductivité(ms/cm)}.$$

II-4-2- Mesure de pH :

1- Mode opératoire :

Plonger les deux électrodes dans l'échantillon et atteindre jusqu'à ce que la valeur de pH se stabilise.

2- Expression des résultats :

Le pH de l'échantillon considéré est directement lu sur l'appareil.

3- Précision : La précision de l'appareil est de ± 0.01 .

II-4-3- Mesure de résidu sec :

1- Mode opératoire :

Premièrement on pèse le bêcher vide à l'aide d'une balance électrique, ensuite on met 20ml de l'eau dans le bêcher et on les chauffent à l'aide d'une étuve à la température de 110°C pendant 24 heures, finalement on pèse le bêcher qui contient les sels. La différence de poids représente le résidu sec.

II-4-4- Mesure de la turbidité :

1- Principe :

Les particules contenues dans une eau diffusent la plus ou moins la lumière. Si un observateur est placé sous un angle de 90°C par rapport au rayon incident, il reçoit une quantité de lumière fonction des particules présentes. Cette appareil comparée la lumière

diffusée à la lumière transmise pour tenir compte de matières qui diffusent peu la lumière, les turbidités trouvées sont comparées à des étalons (comme la formazine, FTU: formazine turbidity unite).

2- Mode opératoire :

- Entrer le programme de la turbidité :
- Appuyer sur 750 READ/ENTER on lit sur l'écran : DIAL nm T₀ 450.
- Fixe la machine à une longueur d'onde de 450nm appuyer sur READ/ENTER, on lit sur l'écran : FTU TURBIDUTY.
- Pour assurer la régulation de la machine on mesure la turbidité d'eau distillée.
- Remplir une cellule de 25ml d'eau distillée.
- Placer le dans la machine.
- Appuyer sur : ZERO.

On lit sur l'écran : WAIT, ensuite on lit : FTU TURBIDITY.

- Mesurer la turbidité d'eau analysé.
- Placer une cellule de 25ml dans la machine.
- Appuyer sur READ/ENTER.

On lit sur l'écran : WAIT, ensuite le résultat est lue sur l'écran.

Remarque : Il faut ajouter l'échantillon avant de mesure la turbidité.

3- Précision de l'appareil : ± 2 FTU.

II-4-5- Dosage des carbonates et bicarbonates

1- Principe du dosage :

Les carbonates n'existent qu'à pH >8.3, et les bicarbonates si $4.4 < \text{pH} < 8.3$ il est facile de savoir au cours d'un dosage acidimétrique doublé d'une mesure de pH, à quel moment ces ions sont encore ou non présents dans l'échantillon.

2- Ractifs utilisés :

- Solution tampons pH = 4 et pH = 8.
- Solution de H₂SO₄ 0.01N.

3- Mesure et dosage :

On prépare les échantillons par séries, (la prise d'essai est de 20ml) dans des bêchers de 50ml.

- cas de pH > 8.3 :

Ajouter du H₂SO₄ (0.01N) goutte à goutte jusqu'à ce que le pH mètre indique un pH = 8.3 noter le volume V₁(ml) versé.

- cas de pH entre 4.4 et 8.3 :

Ajouter H₂SO₄(0.01N) jusqu'à obtenir pH = 4.4 noter le volume d'acide V₂ml versé.

4- Expression des résultats :

- cas de pH >8.3 et V₂> 2V₁=> existence des bicarbonates dans l'échantillon ce qui implique une teneur négligeable en OH⁻.

$$\text{CO}_3^{2-}(\text{me/l}) = \frac{2V_1(\text{ml}) \cdot 0,01 \cdot 1000}{\text{PEml}}$$

$$\text{CO}_3^{2-}(\text{mg/l}) = \text{CO}_3^{2-}(\text{me/l}) \cdot 30$$

$$\text{HCO}_3^- (\text{me/l}) = \frac{(V_2 - 2V_1)(\text{ml}) \cdot 0,01 \cdot 1000}{\text{PEml}}$$

$$\text{HCO}_3^- (\text{mg/l}) = \text{HCO}_3^- (\text{me/l}) \cdot 61$$

Cas de pH >8.3 et V₂<2V₁ => existence des OH⁻ dans l'échantillon donc une teneur en bicarbonate négligeable.

$$\text{OH}^-(\text{me/l}) = \frac{(2V_1 - V_2)(\text{ml}) \cdot 0,01 \cdot 1000}{\text{PEml}}$$

$$\text{OH}^-(\text{mg/l}) = \text{OH}^-(\text{me/l}) \cdot 17.$$

$$\text{CO}_3^{2-}(\text{me/l}) = \frac{2(V_2 - V_1)(\text{ml}) \cdot 0,01 \cdot 1000}{\text{PEml}}$$

$$\text{CO}_3^{2-}(\text{mg/l}) = \text{CO}_3^{2-}(\text{me/l}) \cdot 30$$

Cas de $4.4 \leq \text{pH} \leq 8.3$: Il n'y a ni carbonates ni OH^- dans l'échantillon.

$$\text{HCO}_3^- (\text{me/l}) = \frac{V_2(\text{ml}) \cdot 0.01 \cdot 1000}{\text{PEml}}$$

$$\text{HCO}_3^- (\text{mg/l}) = \text{HCO}_3^- (\text{me/l}) \cdot 61$$

Calcul du TA et TAC :

$$\text{TA} = (\frac{1}{2} \cdot (\text{CO}_3^{2-} (\text{me/l})) + \text{OH}^- (\text{me/l})).$$

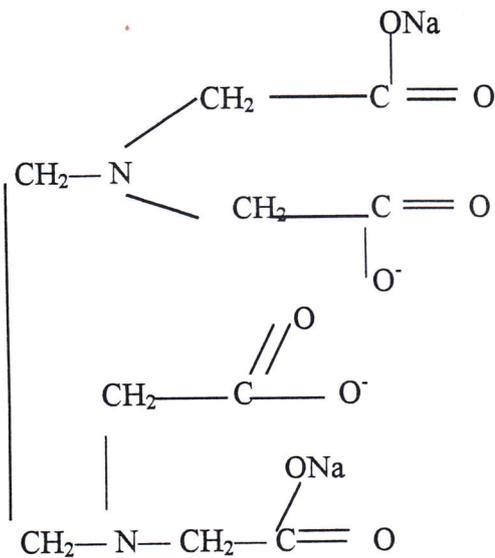
$$\text{TAC} = (\text{HCO}_3^- (\text{me/l}) + \text{CO}_3^{2-} (\text{me/l}) + \text{OH}^- (\text{me/l})).$$

II-4-6- Dosage du Ca^{2+} et du magnésium Mg^{2+} Par complexomètre et calcul du titre hydrotimétrique

1- Principe du dosage :

Le sel disodique de l'acide Ethylène Diamine Tétra Acétique (EDTA)

$\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8$. Appelé aussi complexon ou versénate, forme avec un grand nombre de cation des complexes dont la stabilité dépend essentiellement du pH. Ainsi les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} donnent avec L'EDTA le complexe :



On détecte la fin du dosage par l'opposition du noir erichrome qui vire du rose au bleu lorsque tous les Ca^{2+} , Mg^{2+} ont été complexés.

2- Réactifs :

- EDTA.
- Tampon pH = 10.
- Indicateur coloré noire erichrome.
- Solution de Ca^{2+} à 20me/l (pour étalonner l'EDTA).

3- Dosage :

La prise d'essai PE = 10ml + 2ml pH10 + pincée d'indicateur coloré dans des bêchers de 50ml : la solution prend un teinte rose.

4- Expression des résultats :

- Calcule de la normalité de l'EDTA.
- 10ml à 20me/l ont été dosés par V_1 ml de EDTA.

$$N_{\text{EDTA}}(\text{me/l}) = \frac{20 \cdot 10}{V_1}$$

- Teneur en Ca^{2+} et Mg^{2+} des échantillons :

V_2 ml EDTA de normalité N_{EDTA} pour PEml soit X la teneur en Ca^{2+} et Mg^{2+} en me/l.

$$X(\text{me/l}) = \frac{N_{\text{EDTA}}(\text{me/l}) \cdot V_2(\text{ml})}{\text{PEml}}$$

- D'après le spectrophotomètre à flamme on déterminer la teneur de Ca^{2+} donc on peut déduire la teneur en Mg^{2+} .

II-4-7- Dosage des sulfates (SO_4)²⁻

1- Principe :

Les sulfates sont précipités sous forme de sulfate de baryum par le chlorure de baryum.



Le précipité ainsi obtenu, très fin, est stabilisé par la gélatine. On effectue sur le trouble ainsi produit une mesure turbidimétrique à une longueur d'onde de 495nm.

2- Réactifs :

- Solution de chlorure de baryum et gélatine.

- Solution de sulfate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ à 10g/l en SO_4^{2-} .
- Solution étalons : prendre successivement 50, 40, 30, 20, 15, 10 et 5ml de solution mère de SO_4^{2-} , compléter chaque prélèvement à 1000ml exactement par l'eau distillée. On obtient alors des solutions d'étalons contenant respectivement: 500, 400, 300, 200, 150, 100 et 50 mg/l en SO_4^{2-} les stocker soigneusement dans des flacons étiquettes.

3- Dosage :

- Prélever 5ml des solutions étalons et les mettre dans des érléns de 50ml.
- La prise d'essai (PE) sur les eaux à analyser dépend uniquement de la conductivité de ces eaux, préalablement mesurée. On place les PE dans des erlens de 50ml.
- Les PE de solution étalons, blanc et échantillons dilués ou non dilués, font toutes 5ml et sont alors de manière identique à savoir :
- On ajoute à chaque PE 20ml de la solution BaCl_2 et de gélatine.
- On agiter pour uniformiser le trouble et on laisse au repos pendant 20 minutes jusqu'à la mesure.

NB : une nouvelle agitation aurait pour conséquences la formation de bulles d'air et par conséquent une perturbation des mesures.

- On effectue les lectures au colorimètre à la longueur d'onde de 495nm en réglant le zéro avec le blanc.

4- Expression des résultats :

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en sulfates exprimés en mg/l d'eau.

II-4-8- Dosage des chlorures

1- Principe :

Les chlorures, en présence de thiocyanate de mercurique et d'alun ferrique donnent en milieu nitrique acide un complexe coloré orange susceptible d'un dosage colorimétrique à la longueur d'onde de 470nm.



2- Réactifs :

- Solution de thiocyanate mercurique $\text{Hg}(\text{SCN})_2$.
- Solution d'alun ferrique $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3, (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4, 12\text{H}_2\text{O}$.
- Solution mère de KCl à 10g/l en Cl^- .
- Solution étalons.

Prendre successivement : 100, 80, 50, 35, 20, 10 et 5 ml de la solution mère de Cl^- compléter chaque prélèvement à 1000ml exactement par de l'eau distillée on obtient alors des solutions étalons contenant respectivement : 1000, 800, 650, 500, 350, 200, 100 et 50 mg/l en Cl^- .

- les stocker soigneusement dans les flacons étiquetés.

3- Dosage :

- Prélever 5ml des solution étalon et les mettre dans des erlens de 50 ml.
- Préparer autant de blancs que de séries de 10 échantillons, étalons compris : mettre 5ml d'eau distillée dans l'erlens de 50ml (le blanc).
- La prise d'essai (PE) sur les eaux à analyser dépend uniquement de la conductivité de ces eaux, préalablement mesurée.
- On place les PE dans les erlens de 50ml.
- Les PE de solutions étalons, blanc et échantillons sont alors traités d'une manière identique à savoir :
 - On ajoute dans l'ordre 18ml de la solution de thiocyanate mercurique puis 18ml de la solution nitrique d'alun ferrique.
 - On agite vigoureusement les erlens pour uniformiser la coloration qui apparaît et on les laisse au repos pendant $\frac{1}{2}$ heures.
 - On effectue les lectures au colorimètre à la longueur d'onde de 470nm en réglant le zéro avec les blancs.

4- Expression des résultats :

La courbe d'étalonnage donne directement la teneur en chlorure exprimé en mg/l d'eau.

II-4-9- Dosage du calcium, sodium, potassium par photomètre de flamme

1- Principe :

Pour le dosage de trois éléments on utilise le même appareil (voir le principe de spectrophotomètre à flamme); Ce qui change c'est les conditions spectrales, les réactifs (solution étalon).

2- Réactifs :

- Solution mère de Na^+ et K^+ .
- Solution étalons en Na^+ et K^+ .

Mettre successivement dans des fioles jaugées à 1000ml 50,40,30,20,15,10,5 et 2ml de la solution mère en Na^+K^+ compléter exactement à 1000ml par de l'eau distillée.

On obtient des solutions étalons contenant respectivement :

500, 400, 300, 200, 150, 100, 50 et 20mg/l de Na^+ .

Et : 100, 80, 60, 40, 30, 20, 10 et 4mg/l de K^+ .

Les stocker soigneusement dans des flacons plastique étiquetés.

- Solution mère en Ca^{2+} .
- Solution étalons en Ca^{2+} .

Mettre successivement dans des fioles jaugées à 1000ml :

50, 40, 30, 20, 10 et 5ml de la solution mère en Ca^{2+} ajuster exactement à 1000ml par de l'eau distillée.

On obtint des solutions étalons contenant respectivement 500, 400, 300, 200, 100 et 50mg/l en Ca^{2+} .

Les stocker soigneusement dans des flacons plastiques étiquetés.

3- Expression des résultats :

Les courbes étalons construites à partir des solutions étalons donnent directement les teneurs en Na^+ , K^+ et Ca^{2+} exprimées en mg/l d'échantillon.

II-4-10- Dosage du Fer totale:

1- Principe:

Le réactif ferover et à une longueur d'onde de 510nm; réagit avec tout le fer dissous et la plupart des formes insolubles du fer présent dans l'échantillon, pour produire du fer

ferreux solubles celui-ci réagit avec le 1-10 phénanthraline -p- toluensulfonic acid salt du réactif pour former une coloration orange proportionnelle à la concentration du fer.

2- Réactif :

Ferover en gélule.... 1 gel.

3- Mode opératoire :

- Entrer le programme de dosage de fer.
- Appuyer sur : 265 READ/ENTER.
On lit sur l'écran : DIAL nm T₀ 510.
- Fixer la machine à une longueur d'onde de : 510nm.
- Appuyer sur : READ/ENTER.
On lit sur l'écran : mg/l Fe F_v.
- Pour assurer le bon fonctionnement de la machine ; On mesure la teneur en fer pour l'eau distillée.
- Remplir une cellule de 25ml d'eau distillée.
- Ajouter une gélule de ferover.
- Appuyer sur : SHIFT TIMER ; Après 3 minutes on lit sur l'écran : mg/l. Fe. F_v.
- Place la cellule dans la machine.
- Appuyer sur : ZERO. On lit sur l'écran : WAIT, en suit : 0.00mg/l Fe.F_v.
- Répéter les mêmes étapes pour mesurer la teneur en Fer pour l'eau analyse.

4- Expression de résultat :

Le résultat est lue directement sur l'appareil.

5- Précision de l'appareil : $\pm 0.006\text{mg/l}$ de Fe. [14,17]

II-4-11-Pourcentage d'erreur :

Une fois la détermination des teneurs des cations et des anions est faite on procède au calcul du pourcentage d'erreur.

Le pourcentage d'erreur (balance ionique) est un calcul mathématique basé sur les sommes des cations et des anions et donnant une idée assez claire sur la fiabilité des résultats obtenus suivant la formule suivante :

$$\text{pourcentage d'erreur} = \frac{\sum \text{Cations}(\text{me/l}) - \sum \text{anions}(\text{me/l})}{\sum \text{Cations}(\text{me/l}) + \sum \text{anions}(\text{me/l})}$$

Ce pourcentage ne doit pas dépasser 5 %, si non les résultats obtenus sont douteuses et doivent être revirifiées. Dans notre cas ce pourcentage n'a en aucun cas atteint cette valeur limite, ce qui veut dire que l'ensemble des manipulation ont été respecté et que l'erreur est réduite au maximum

II-4-12- EVALUATION DE LA CONTAMINATION BACTERIENNE (en BSR) :

II-4-12-1. Méthode du dénombrement bactérien :

BUT:

La connaissance de la population bactérienne d'une eau est nécessaire pour déterminer si un éventuel problème biologique existe. Cette connaissance est aussi indispensable pour évaluer l'efficacité d'un traitement chimique adéquat.

II-4-12-2. Technique des dilutions successives :

C'est une méthode traditionnelle la plus utilisée actuellement sur les champs pétroliers.

II-4-12-2-1.Principe :

Le principe consiste à cultiver les bactéries sur un milieu au lactate de sodium. La composition de ce milieu est décrite. Lorsque des BSR sont présentes dans l'échantillon, elles réduisent les sulfates contenus dans le milieu en sulfures qui vont réagir avec le sel de Fer pour donner du sulfure de Fer de couleur noir. Le virage au noir du milieu en moins de 21 jours révèle la présence des bactéries sulfatoréductrices.

II-4-12-2-2.Procédure :

Le milieu ainsi préparé est réparti à raison de 9 ml dans des flacons type pénicilline de 10 ml munis d'un clou dégraissé à l'acétone. Après avoir capsulé et serti les flacons, ces derniers sont soumis à un barbotage à l'azote pour chasser l'oxygène. On procède ensuite à une stérilisation des flacons pendant 20 mn à une température de 120°C.

Les échantillons sont prélevés en respectant les règles de stérilité, le premier flacon estensemencé avec 1ml de l'échantillon d'eau avec une seringue stérile. Le flacon est bien agité énergiquement puis, 1ml du milieuensemencé est prélevé. Ce 1ml est alors injecté dans un deuxième flacon, puis avec la même procédure répétée jusqu'à la dilution désirée.

L'incubation est réalisée à 37°C pendant 21 jours, et l'interprétation la plus simple est alors de considérer que s'il y a virage l'échantillon contient au moins 10 bactéries ; Si deux flacons virent, l'échantillon contient au moins 100 bactéries ; etc....

II-4-12-2-3. Préparation du milieu de culture :

La composition du milieu de culture utilisé pour la mise en évidence des BSR est répartie comme suit:

- 1 g/l de sulfate de magnésium
- 0.5 g/l de citrate de sodium
- 0.5 g/l de chlorure d'ammonium
- 0.5 g/l de phosphate bipotassique
- 0.1 g/l d'acide ascorbique
- 0.1 g/l d'extrait de levure
- 0.05 g/l d'Agar
- 4 ml de lactate de sodium (60%)

II-4-12-2-4. Technique de comptages des BSR :

Le comptage se fait par une technique de dilution. On prélève 1ml de l'échantillon qu'on inocule dans un flacon du milieu de culture. De ce premier flacon, on prélève 1ml qu'on inocule dans le second flacon. Le 1ml prélevé du second flacon est injecté dans un troisième flacon. Cette procédure peut se poursuivre jusqu'à 07 flacons.

La série des sept flacons est incubée à 37°C pendant 21 jours. La présence des BSR se manifeste par le virage au noir de la solution incolore. Le noircissement est dû à la formation de sulfure de Fer. Les sulfures sont obtenus par la réduction des sulfates métabolisés par les BSR. [7,10]

➤ Lecture

pour une série de six (06) flacons la lecture se fait comme suit :

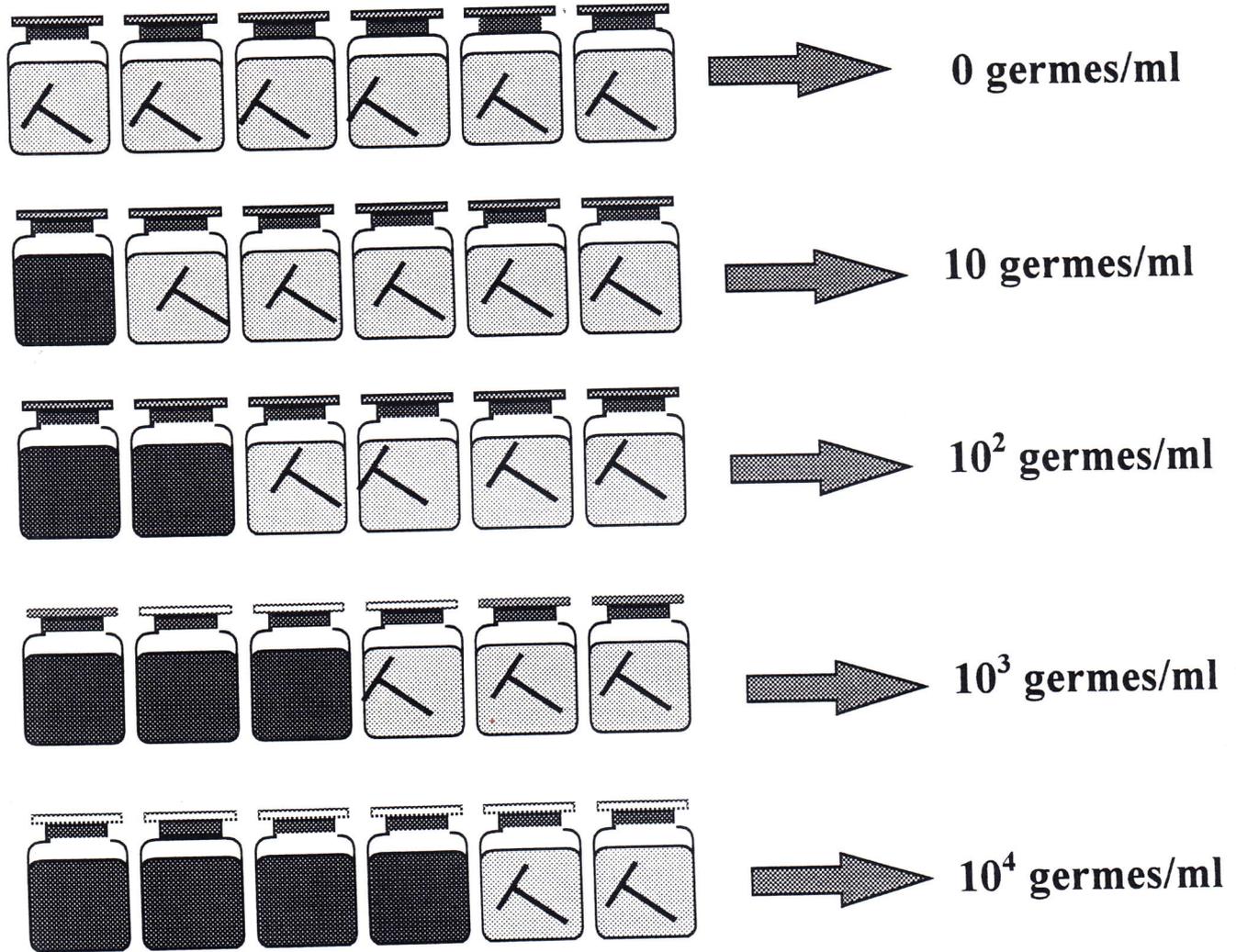


Figure n°2 : Lecture des séries donnant le nombre de bactéries sulfatoréductrices par millilitre d'eau échantillonnée.

II-5- METHODE DE PERTE DE POIDS

II-5-1-Principe : [16]

C'est la plus simple et la plus utilisée dans l'industrie chimique. Elle ne donne pas de renseignements quant au processus de corrosion mais elle permet de juger de l'importance du phénomène. Cette méthode basé sur l'immersions une plaque du métal étudié préalablement préparées dans l'eau Albien. Le poids et la surface en sont exactement déterminés; après un temps donné la plaque est retirée du contact avec l'eau Albien, lavée, séchée et pesée.

La perte de poids par unité de surface et par unité de temps renseigne sur la virulence de la corrosion la détermination de différence de poids on calcule le taux de corrosion qui définit par :

$$W = \Delta m / S. t$$

Δm : différence de poids en gramme (g).

S : surface d'éprouvettes (cm²).

t : temps d'exposition en heur, jours, mois,.....etc.

Pour que les résultat obtenus soient valable, il faut prendre les précautions suivants :

- L'état de la surface de l'éprouvette devrait être exactement le même que celui de métal déjà en service ou destiné à être utilisé. Mais ceci est pratiquement impossible et on convient généralement de nettoyer soigneusement la surface de l'éprouvette, travail que l'on finit avec un papier abrasif qui donne une surface nippolie, ni rugueuse, c'est-à-dire ayant un aspect aisément reproductible.
- Il faut prendre soin également, lors de la préparation de l'échantillon, d'éviter que celui-ci ne soit soumis à des températures supérieures à la température critique de l'acier afin d'éviter toute modification possible de la structure cristalline.
- Si la plaque est fixée ou suspendue dans l'eau Albien, il faut que la fixation soit faite avec du verre ou une matière plastique de façon à éviter une corrosion électro-chimique indésirable.
- La plaque doit subir l'essai de corrosion dans des conditions identiques à celles aux quelles le métal serait soumis dans la pratique.

Perte de poids subie par l'éprouvette (g/m ² ,h.)	Observations
< 0.1	Très bonne résistance à la corrosion.
de 0.1 à 1	Bonne résistance à la corrosion.
de 1 à 5	Résistance moyenne; le métal ne doit être utilisé que pour un emploi discontinu.
de 5 à 10	Mauvaise résistance; le métal ne doit être utilisé que pour des opérations isolées et peu fréquentes.
> 10	Très forte corrosion. Le métal ne doit pas être employé.

TABLEAU : APPRECIATION DE LA CORROSION

Les étapes de perte de poids du métal passé en solution :

- 1) Préparer les échantillons (découpage chimique et mécanique).
- 2) Peser les éprouvettes.
- 3) Mettre dans chaque échantillon d'eau une éprouvette pour chaque type d'acier après avoir énumérer et classer les flacons.
- 4) Laisser l'expérience durant un temps de 133 jours pour avoir des résultats réellement significatifs.
- 5) Répéter le nettoyage chimique des éprouvettes.
- 6) Peser les éprouvettes.
- 7) Calculer la différence de poids pour chaque éprouvette.

II-5-2- Préparation des éprouvettes :

Après le découpage des échantillons dans l'atelier mécanique sous forme d'éprouvettes rectangulaires, il faut que les surfaces des éprouvettes soient débarrassés des polluants de surface oxydés, rouille, salissures, graisse,.....etc, la technique de traitement est basé sur deux type de décapage :

- Décapage mécanique.
- Décapage chimique.

a) Décapage mécanique :

Consiste à gratter les précipités par du papier verre.

b) Décapage chimique :

Pour compléter le nettoyage des surfaces on suit les étapes suivantes :

On prépare les solutions chimiques suivantes :

La soude (NaOH 0.05M).

Le carbonate de sodium (Na_2CO_3 0.2M).

Le triphosphate de sodium (Na_3PO_4 0.06M).

On mélange trois volumes égaux de chaque solution :

200ml de NaOH .

200ml de Na_2CO_3 .

200ml de Na_3PO_4 .

c) Les étapes de décapage :

1^{er} étape :

Dans un bêcher de 600ml, qui contient la solution de décapage on plonge les éprouvettes et on chauffe jusqu'à 60°C durant 10mn.

2^{ème} étape :

On plonge les échantillons dans l'eau distillée et on chauffe jusqu'à 60°C durant 5mn.

3^{ème} étape :

On rince les éprouvettes d'acier avec l'eau distillé à une température ambiante.

Après l'opération de décapage on sèche les éprouvettes dans une étuve à une température de 80°C .

Remarque :

Pendant la préparation des éprouvettes il faut éviter tout élévation brusque de la température qui résulte de la modification de la structure des éprouvettes.

III- Résultats et l'interprétations :**III-1- ANALYSE DE DEPOT :**

L' échantillon d' un dépôt macaroni retiré du puits OKMH89 à été analysé. Le résultat de l'analyse montre qu'après avoir prélevé le dépôt de la surface extérieur du tube il y'avait des percements et des trous nettement apparents.

Plusieurs autres trous on été détecté sous le dépôt recouvrant la surface extérieure du macaroni (voir photo:1 annexe 2). L'examen par les rayons X (RX) du dépôt prélevé montre que ce dernier est constitué en globalité de la magnétite (Fe_3O_4) et des traces de pyrite (FeS). Donc la présence de FeS montre la contribution des BSR sous dépôt ou les conditions d'anaérobiose sont favorisées.

Tableau I : Analyse du dépôt

	Compositions	Pourcentages %
Minéraux non argileux	Hematite, syn- Fe_2O_3	16.71
	Siderite- FeCO_3	21.51
	Quartz, low- SiO_2	17.99
	Halite, syn- NaCl	15.99
	Calcite, syn- CaCO_3	9.91
	Pyrite FeS	15.05
Minéraux argileux	Kaolinite- $\text{l}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	9.03
	Gypsum, syn- $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	14.71

III-2- ANALYSE CHIMIQUE DE L'EAU :

L'analyse chimique de l'eau d'Albien prélevée des quatre puits de la région de **Haoud Berkaoui** a donné les résultats suivants :

Tableau II : Analyse de l'eau des puits : OKJHA4, OKJ21, OKMH89 et OKM88

Cations	Eau de l'Albien prélevée des quatre puits de la région de Haoud Berkaoui							
	OKJHA4		OKJ21		OKMH89		OKM88	
Eléments	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l	mg/l	méq/l
Ca ²⁺	154	7.68	139	6.94	107	5.34	132	6.59
Mg ²⁺	139	11.42	114	9.38	73	6.00	133	10.92
K ⁺	35	0.90	36	0.92	24	0.62	33	0.85
Na ⁺	285	12.38	282	12.25	283	12.32	245	11.95
Somme des cations (méq/l)	32.38		29.49		24.28		30.31	
Anions								
Cl ⁻	648	18.24	562	15.81	480	13.52	596	16.79
CO ₃ ⁻²	0	0	0	0	0	0	0	0
HCO ₃ ⁻	137	2.25	137	2.25	116	1.90	139	2.29
SO ₄ ⁻²	523	10.90	450	9.38	376	7.83	465	9.69
NO ₃ ⁻	10	0.16	12	0.19	10	0.16	11	0.18
Somme des anions (méq/l)	31.55		27.62		23.41		28.94	
Somme des ions(mg/l)	1931		1732		1469		1784	
R.S (mg/l) à 110°C	2268		1972		1498		1972	
Minéralisation (mg/l)	2095		1906		1632		1882	
Conductivité(ms/cm) à 25°C	2.76		2.51		2.15		2.48	
Salinité ‰	1.9		1.5		1.2		1.3	
Turbidité	2		4		3		2	
TDS(mg/l)	1300		1180		1010		1140	

Tableau III : Titre hydrométrique et alcalimétrique des puits : OKJHA4, OKJ21, OKMH89 et OKM88

Les puits	THca		TAC		TA	
	mg/l	PPm	mg/l	PPm	°F	PPm
OKJHA4	154	385	137	112.3	0.00	0.00
OKJ21	139	347.5	137	112.3	0.00	0.00
OKMH89	107	267.5	116	95	0.00	0.00
OKM88	132	330	139	114	0.00	0.00

Le tableau suivant donne les résultats de l'agressivité des quatre (04) puits d'eaux prélevées à HBK :

Tableau IV : Agressivité des puits : OKJHA4, OKJ21, OKMH89 et OKM88

ECHANTILLON EAU	pH ₀	pH _s	I _l	I _R	OBSERVATION
OKJHA4	8.10	6.69	1.41	5.28	Léger entartrement.
OKJ21	8.10	6.745	1.355	5.39	Léger entartrement.
OKMH89	8.15	6.92	1.23	5.69	Léger entartrement.
OKM88	7.9	6.745	1.155	5.59	Léger entartrement.

III-3-Analyse microbiologique :

**Tableau V : Les résultats de dénombrement des bactéries sulfatoréductrices
prélevée des quatre puits de la région de Haoud Berkaoui**

Puits / Jours	OKJHA4	OKJ21	OKM88	OKMH89
1	Abs	Abs	abs	abs
2	Abs	Abs	abs	100
3	10	10	10	10000
4	10	10	10	10000
5	100	10	10	10000
6	100	10	100	10000
7	100	10	100	10000
8	1000	10	100	10000
9	1000	10	100	10000
10	1000	10	1000	10000
11	1000	10	1000	10000
12	1000	10	1000	10000
13	1000	10	1000	10000
14	1000	10	1000	10000
15	1000	10	1000	10000
16	1000	10	1000	10000
17	1000	10	1000	10000
18	1000	10	1000	10000
19	1000	10	1000	10000
20	1000	10	1000	10000
21	1000	10	1000	10000

III-4- Dosage des gaz dissous et mesures physiques :

Les analyses et les mesures physiques ont été réalisées sur site. Le matériel portatif suivant a été utilisé :

- Spectrophotomètre DR2000-HACH, pour la mesure du Fer dissous .
- Papier imprégné d'acétate de plomb pour le dosage de l'H₂S.
- Titracteur de CO₂.
- pH mètre et thermomètre HACH.

Les résultats obtenus des différentes analyses et mesures réalisées sur les quatre (04) puits de champ de Haoud Berkaoui sont représentés sur les tableaux suivants :

Tableau VI : Les résultats de dosage des gaz dissous et mesures physiques du puit OKJHA4 .

Paramètres	T(°C)	pH	H ₂ S mg/l	CO ₂ mg/l	Fer mg/l
Prélèvements					
1	38.3	7.14	0	-	0.3
2	43.6	7.14	0.1	-	0.6
3	43.4	7.19	0	-	0.4
4	43.8	7.21	0	-	0.4
5	44	7.20	0	-	0.3
6	45.5	7.27	0	-	1.5
7	45.9	7.26	0	-	0.4
8	45.7	7.23	0	-	0.4
9	45.6	7.21	0	-	0.6
10	46.2	7.18	0	30	0.5
11	45.8	7.27	0	20	0.6

(-) = pas de prélèvement.

Tableau VII : Les résultats de dosage des gaz dissous et mesures physiques du puit OKJ21 .

Paramètres	T(°C)	pH	H ₂ S mg/l	CO ₂ mg/l	Fer mg/l
Prélèvements					
1	31.1	7.06	0	-	0.9
2	44.4	7.27	0	-	0.4
3	30.2	7.16	0	-	0.7
4	30.5	7.31	0.1	-	0.5
5	32.8	7.29	0	-	0.6
6	55.0	7.23	0	-	0.9
7	54.4	7.21	0.1	-	1
8	49.7	7.08	0	-	0.7
9	53.3	7.06	0	-	0.8
10	55.0	7.29	0	22	0.8
11	39.9	7.13	0	27	0.5

(-) = pas de prélèvement.

Tableau VIII: Les résultats de dosage des gaz dissous et mesures physiques du puit OKMH89 .

Paramètres	T(°C)	pH	H ₂ S mg/l	CO ₂ mg/l	Fer mg/l
Prélèvements					
1	26.7	7.62	0	-	4.5
2	22.0	7.88	0	-	4.8
3	23.9	7.69	0	-	5
4	24.0	7.71	0	-	4.7
5	24.7	7.82	0	-	4.9
6	45.2	7.47	0.1	-	4.5
7	44.3	7.51	0	-	3.8
8	40.0	7.48	0	-	4.6
9	45.3	7.47	0	-	4.9
10	47.9	7.52	0	20	3.0
11	30.5	7.66	0	26	5.0

(-) = pas de prélèvement.

Tableau IX : Les résultats de dosage des gaz dissous et mesures physiques du puit OKM88 .

Paramètres	T(°C)	pH	H ₂ S mg/l	CO ₂ mg/l	Fer mg/l
Prélèvements					
1	33.1	7.16	0	-	0.6
2	32.2	7.39	0	-	0.7
3	36.1	7.28	0	-	0.7
4	35.6	7.26	0	-	0.4
5	36.9	7.24	0	-	0.4
6	56.4	7.33	0	-	0.7
7	57.6	7.21	0	-	0.8
8	53.0	7.13	0	-	0.8
9	54.6	7.27	0	-	1.0
10	56.1	7.33	0	23	1.3
11	43.7	7.27	0	40	0.9

(-) = pas de prélèvement.

III-5-Interprétations des résultats :**Le pH :**

Pour tous les échantillons la valeur du pH est comprise entre 7 et 8 c'est un pH basique qui a pour effet de favoriser la formation du tartre. Le titre alcali métrique TA est forcément nul donc on déduit que l'alcalinité est entièrement due aux bicarbonates. La formation de CaCO_3

Obtenue d'après la réaction suivant :



les valeurs de pH restent dans la norme (5 à 9.5) ce qui a pour effet de favoriser le développement des BSR

La dureté calcique :

La teneur en CaCO_3 est assez important. Ceci explique la présence de tartre.

La dureté totale :

Elle exprime la somme du calcium et du magnésium pour tous les échantillons, on remarque des duretés supérieures à 15 °F ce qui à pour effet d'entraîner la formation de dépôt.

L'alcalinité TA et TAC :

Le titre alcalimétrique TA est nul donc on déduit que l'alcalinité est entièrement due aux bicarbonates. Le TAC varie en fonction du pH qui exprime les quantités des ions HCO_3^- et CO_3^{2-} , dans ce cas :

$$\text{TA} = 0, [\text{OH}^-] = 0, [\text{CO}_3^{2-}] = 0 \Rightarrow \text{TAC} = [\text{HCO}_3^-].$$

Le bicarbonate se transforme en carbonate de calcium.

Totaux solides dissous TDS :

Les solides dissous qui sont essentiellement due a la présence de bicarbonate de calcium et de magnésium se trouvent à des teneurs très importantes et qui atteignent 1300mg/l pour OKJHA4. La présence de solides totaux dissous exprime la formation de tarte.

Analyse d'agressivité :

L'indice de saturation de L'angelier :

Sa valeur pour tous les échantillons est supérieure à zéro (de 1.155 à 1.41) ce qui confirme que l'eau de Albien est une eau légèrement entartrant.

L'indice de satabilité de Ryznard :

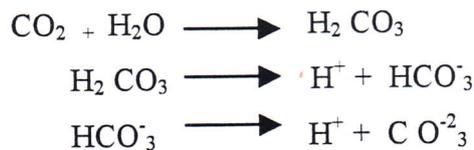
Pour les quatre échantillons l'indice de ryznard varie entre 5 et 6 ce qui confirme que l'eau de Albien est une eau légère entartrement.

La température :

Généralement les valeurs de la température obtenues pendant la durée d'analyse varie entre 23°C et 60°C ce qui favorise le développement bactérien plus précisément les bactéries sulfato-réductrices (BSR) et accélère les diverses réactions chimiques pendant le traitement.

Le CO₂ dissous :

Les valeurs dissoutes du CO₂ obtenues, sont inférieures à 50 mg/l et sont généralement faibles bien justifiée par les valeurs mesurées du pH pendant les analyses (7<pH<8), car le CO₂ dissous dans l'eau possède les équilibres suivant :



(voir l'annexe n° 1)

Quand la concentration de H⁺ diminue le pH augmente (milieu basique) donc la quantité de CO₂ dissoute dans l'eau diminue et la concentration de CO₃²⁻ augmente ce qui favorise la formation de dépôt (CaCO₃) et c'est justifié par les résultats d'analyse de dépôts.

Généralement et d'après la pratique industrielle on peut conclure que la présence de CO₂ à des quantités faibles (<50 ppm) ne causent pas de problème de corrosion.

Le H₂S:

La teneur de sulfure d'hydrogène pendant l'analyse est presque nul se qui confirme leur transformation en FeS pendant l'activité bactérienne.

Le Fer dissous :

D'après les résultats obtenu pour la concentration du fer dissous on constate que La concentration dans le puit OKMH89 atteind est une concentration maximale de (5 mg/l), cette dernière révèle une présence quasi-importante de bactéries sulfato-réductrice a des concentrations superieurs à 10^3 germes/ml.

Analyse microbiologique :

D'après les résultats obtenues on constate une présence très importante de bactéries sulfato-réductrice (BSR) dans les quatre puits, avec en particulier un pic de concentration de 10^4 germes/ml dans le puit OKMH89.

III-6-Résultats de perte de poids :**III6-1- Description des échantillons :**

- L'échantillon n°1 est un **tube macaroni 1.66 pouce** fabriqué dans la nuance **API 5 CT grade N80**.
- L'échantillon n°2 est un **tubing de production 3.½ pouce**, élaboré dans la nuance **API 5 CT grade N80**.
- L'échantillon n°3 est un **casing de production 7 pouce**, fabriqué dans la nuance **API 5 CT grade P110**.

III-6-2-Analyse chimique :

L'objet de l'analyse chimique est de vérifier la conformité chimique des matériaux analysés par rapport à la composition chimique préconisée par la spécification originale de fabrication de ces même matériaux.

Les résultats d'analyse chimique des trois (03) échantillons d'aciers sont représenté sur le tableau suivant :

Tableau X : Analyse chimique des trois nuances d'acier.

Echantillons	Eléments										
	Fe	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	V
1	98.48	0.21	0.75	0.1	0.00	0.00	0.05	0.12	0.05	0.16	0.01
2	97.85	0.22	1.51	0.3	0.01	0.00	0.01	0.03	0.04	traces	0.01
3	97.07	0.34	1.45	0.2	0.02	0.02	0.01	0.66	0.04	0.10	0.04

A première vue, l'échantillons n°1 s'identifie à un acier au carbone non alliés, ce qui n'est pas le cas pour l'aciers n°2 qui semblent être des aciers faiblement alliés au manganèse. En particulier, l'échantillon n°3 appartient à la classe des aciers faiblement alliés au manganèse et au chrome.

III-6-3-Mesure des échantillons :

On mesure les dimensions des échantillons (longueur, largeur) par un pied à coulisse et on pèse par une balance électronique, on obtient les résultats suivants :

Tableau XI : Mesure des échantillons puit OKJHA4.

Puit: OKJHA4				
Paramètres	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Surface (cm²)	m₀ (g)
1" .66 (1)	10.35	2.2	151.35	23.7618
1" .66 (2)	10.35	2.2	151.35	23.8296
1" .66 (3)	10.35	2.2	151.35	23.2692
3" .1/2 (1)	6	1.5	151.35	50.5454
3" .1/2 (2)	6	1.5	151.35	50.3384
3" .1/2 (3)	6	1.5	151.35	46.2477
7" (1)	3.08	1	151.35	98.9114
7" (2)	3.08	1	151.35	94.4278
7" (3)	3.08	1	151.35	84.6803

Tableau XII : Mesure des échantillons puit OKJ21.

Puit: OKJ21				
Paramètres	Langueur (cm)	Largeur (cm)	Surface (cm ²)	m ₀ (g)
1".66 (1)	10.35	2.2	151.35	24.3022
1".66 (2)	10.35	2.2	151.35	23.8874
1".66 (3)	10.35	2.2	151.35	25.0217
3".1/2 (1)	6	1.5	151.35	44.5008
3".1/2 (2)	6	1.5	151.35	50.0307
3".1/2 (3)	6	1.5	151.35	49.7262
7" (1)	3.08	1	151.35	76.2607
7" (2)	3.08	1	151.35	81.348
7" (3)	3.08	1	151.35	78.7428

Tableau XIII : Mesure des échantillons puit OKJHM89.

Puit: OKMH89				
Paramètres	Langueur (cm)	Largeur (cm)	Surface (cm ²)	m ₀ (g)
1".66 (1)	10.35	2.2	151.35	23.5764
1".66 (2)	10.35	2.2	151.35	23.5601
1".66 (3)	10.35	2.2	151.35	23.6052
3".1/2 (1)	6	1.5	151.35	47.5749
3".1/2 (2)	6	1.5	151.35	52.1560
3".1/2 (3)	6	1.5	151.35	51.7313
7" (1)	3.08	1	151.35	79.1848
7" (2)	3.08	1	151.35	79.4261
7" (3)	3.08	1	151.35	76.1399

Tableau XIV : Mesure des échantillons puit OKJM88.

Puit: OKM88				
Paramètres	Langueur (cm)	Largeur (cm)	Surface (cm ²)	m ₀ (g)
1".66 (1)	10.35	2.2	151.35	25.0026
1".66 (2)	10.35	2.2	151.35	23.3592
1".66 (3)	10.35	2.2	151.35	23.1125
3".1/2 (1)	6	1.5	151.35	47.6087
3".1/2 (2)	6	1.5	151.35	47.2910
3".1/2 (3)	6	1.5	151.35	49.1609
7" (1)	3.08	1	151.35	91.8998
7" (2)	3.08	1	151.35	94.2151
7" (3)	3.08	1	151.35	96.3720

Tableau XV: Les résultats expérimentaux de la vitesse de corrosion de puit OKJHA4

Puit: OKJHA4					
Paramètres	Surface $\cdot 10^{-4}$ (m^2)	m_0 (g)	m_1 (g)	Δm (g)	Vitesse $\cdot 10^{-3}$ (g/ m^2 ·h)
1".66 (1)	151.35	23.7618	23.1033	0.6585	13.6304
1".66 (2)	151.35	23.8296	23.1471	0.6825	14.1272
1".66 (3)	151.35	23.2692	22.6484	0.6208	12.8501
3".1/2 (1)	151.35	50.5454	50.1821	0.3633	7.5200
3".1/2 (2)	151.35	50.3384	49.9042	0.4342	8.9876
3".1/2 (3)	151.35	46.2477	45.8612	0.3865	8.0002
7" (1)	151.35	98.9114	98.6611	0.2503	5.1810
7" (2)	151.35	94.4278	94.1882	0.2396	4.9595
7" (3)	151.35	84.6803	84.4561	0.2242	4.6407

Tableau XVI: Les résultats expérimentaux de la vitesse de corrosion de puit OKJ21

Puit: OKJ21					
Paramètres	Surface $\cdot 10^{-4}$ (m^2)	m_0 (g)	m_1 (g)	Δm (g)	Vitesse $\cdot 10^{-3}$ (g/ m^2 .h)
1" .66 (1)	151.35	24.3022	23.673	0.6292	13.0239
1" .66 (2)	151.35	23.8874	23.3012	0.5862	12.1339
1" .66 (3)	151.35	25.0217	24.4271	0.5946	12.3077
3" .1/2 (1)	151.35	44.5008	44.1706	0.3832	7.9319
3" .1/2 (2)	151.35	50.0307	49.6485	0.3822	7.9112
3" .1/2 (3)	151.35	49.7262	49.3740	0.3522	7.2903
7" (1)	151.35	76.2607	76.0391	0.2216	4.5869
7" (2)	151.35	81.3480	81.1826	0.1654	3.4236
7" (3)	151.35	78.7428	78.5539	0.1889	3.9101

Tableau XVII : Les résultats expérimentaux de la vitesse de corrosion de puit OKMH89

Puit: OKMH89					
Paramètres	Surface $\cdot 10^{-4}$ (m^2)	m_0 (g)	m_1 (g)	Δm (g)	Vitesse $\cdot 10^{-3}$ (g/ m^2 .h)
1".66 (1)	151.35	23.5764	22.9345	0.6419	13.2868
1" .66 (2)	151.35	23.5601	22.9339	0.6262	12.9618
1".66 (3)	151.35	23.6052	22.9471	0.6581	13.6221
3".1/2 (1)	151.35	47.5749	47.1752	0.3997	8.2734
3".1/2 (2)	151.35	52.1560	51.7337	0.4223	8.7413
3".1/2 (3)	151.35	51.7313	51.2855	0.4458	9.2277
7" (1)	151.35	79.1848	78.9558	0.2290	4.7401
7" (2)	151.35	79.4261	79.2006	0.2255	4.6676
7" (3)	151.35	76.1399	75.8928	0.2471	5.1147

Tableau XVIII : Les résultats expérimentaux de la vitesse de corrosion de puit OKM88

Puit: OKM88					
Paramètres	Surface $\cdot 10^{-4}$ (m^2)	m_0 (g)	m_1 (g)	Δm (g)	Vitesse $\cdot 10^{-3}$ ($g/m^2 \cdot h$)
1".66 (1)	151.35	25.0026	24.3823	0.6203	12.8397
1".66 (2)	151.35	23.3592	22.7458	0.6134	12.6972
1".66 (3)	151.35	23.1125	22.4860	0.6265	12.9681
3".1/2 (1)	151.35	47.6087	47.2493	0.3594	7.4393
3".1/2 (2)	151.35	47.2910	46.9035	0.3875	8.0209
3".1/2 (3)	151.35	49.1609	48.766	0.3949	8.1741
7" (1)	151.35	91.8998	91.6731	0.2267	4.6925
7" (2)	151.35	94.2151	93.9815	0.2336	4.8353
7" (3)	151.35	96.3720	96.1339	0.2381	4.9285

Tableau XIX : Les résultats expérimentaux de la vitesse moyenne de corrosion

La vitesse moyenne de corrosion $\cdot 10^{-3}$ ($g/m^2 \cdot h$)			
Puits	acier 1".66	acier 3".1/2	acier 7"
OKJHA4	13.5359	8.1693	4.9271
OKMH89	13.290	8.747	4.841
OKM88	12.835	7.8781	4.8888
OKJ21	12.489	7.711	3.974

III-6-4-Résultats de perte de poids en fonction de concentration bactérienne :

Dans cette méthode nous essayons d'évaluer la vitesse de corrosion en fonction la concentration bactérienne, on basons sur le principe de la méthode de dilution successive et le principe de la méthode de perte de poids mais à la place des clous on met des échantillons d'aciers, on effectue cette essai durant 21 jours. On obtient les résultats suivants :

Tableau XXI :Résultats expérimentaux de la vitesse de corrosion en fonction de la concentration bactérienne pour l'échantillon n°1.

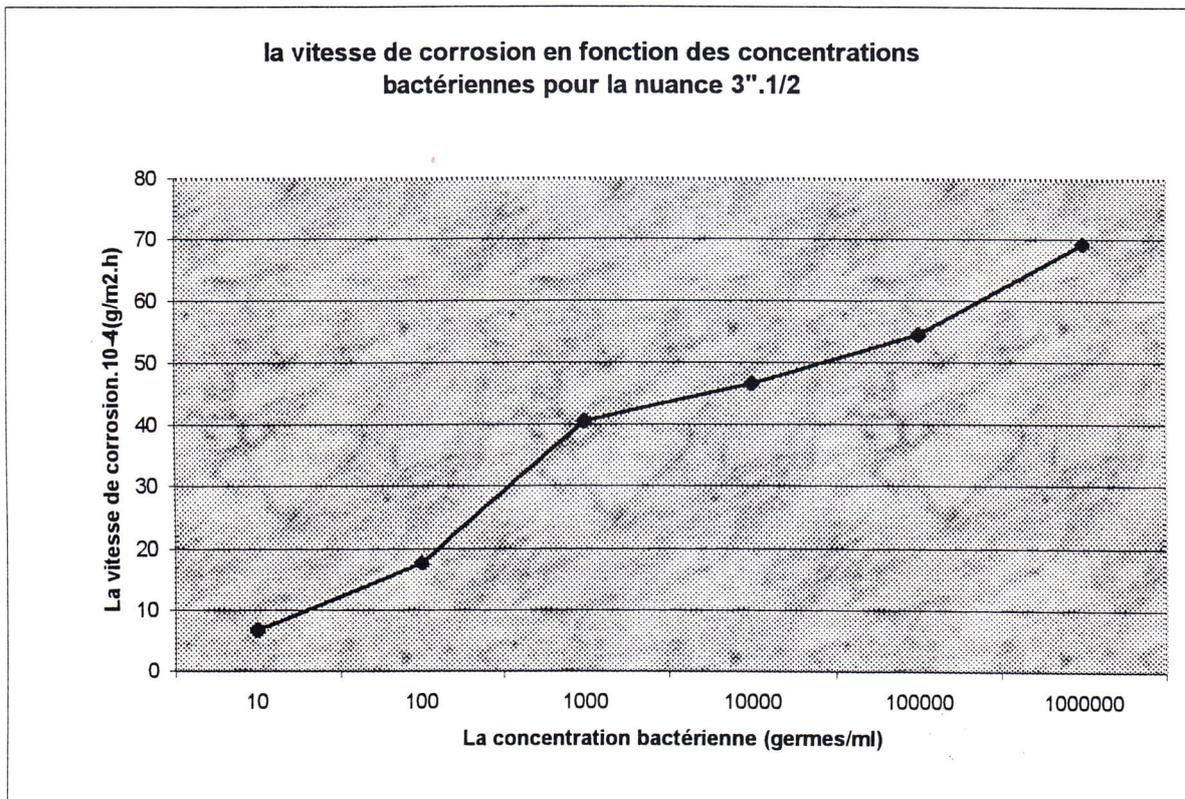
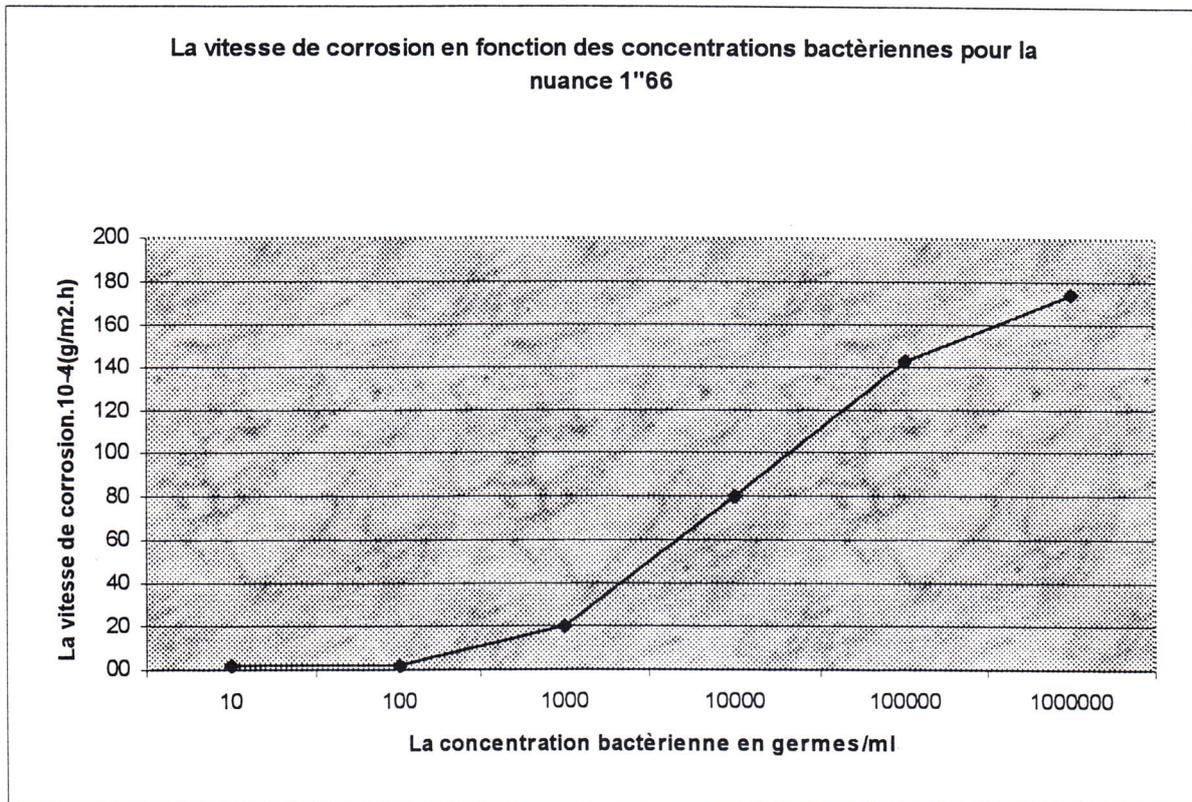
Puit: OKMH89						
Paramètres	Surface. $10^{-4}(\text{m}^2)$	m_0 (g)	m_1 (g)	Δm (g)	Conc bac (germes/ml)	Vitesse.10^{-4} ($\text{g}/\text{m}^2.\text{h}$)
1" .66 (1)	151.35	24.7647	24.7557	0.009	10	1.8629
1" .66 (2)	151.35	21.8846	21.8753	0.0093	100	1.9250
1" .66 (3)	151.35	24.8016	24.7026	0.099	1000	20.492
1" .66 (4)	151.35	24.3669	23.9770	0.3899	10000	80.706
1" .66 (5)	151.35	24.5373	23.8499	0.6874	100000	142.286
1" .66 (6)	151.35	25.1237	24.2830	0.8407	1000000	174.018

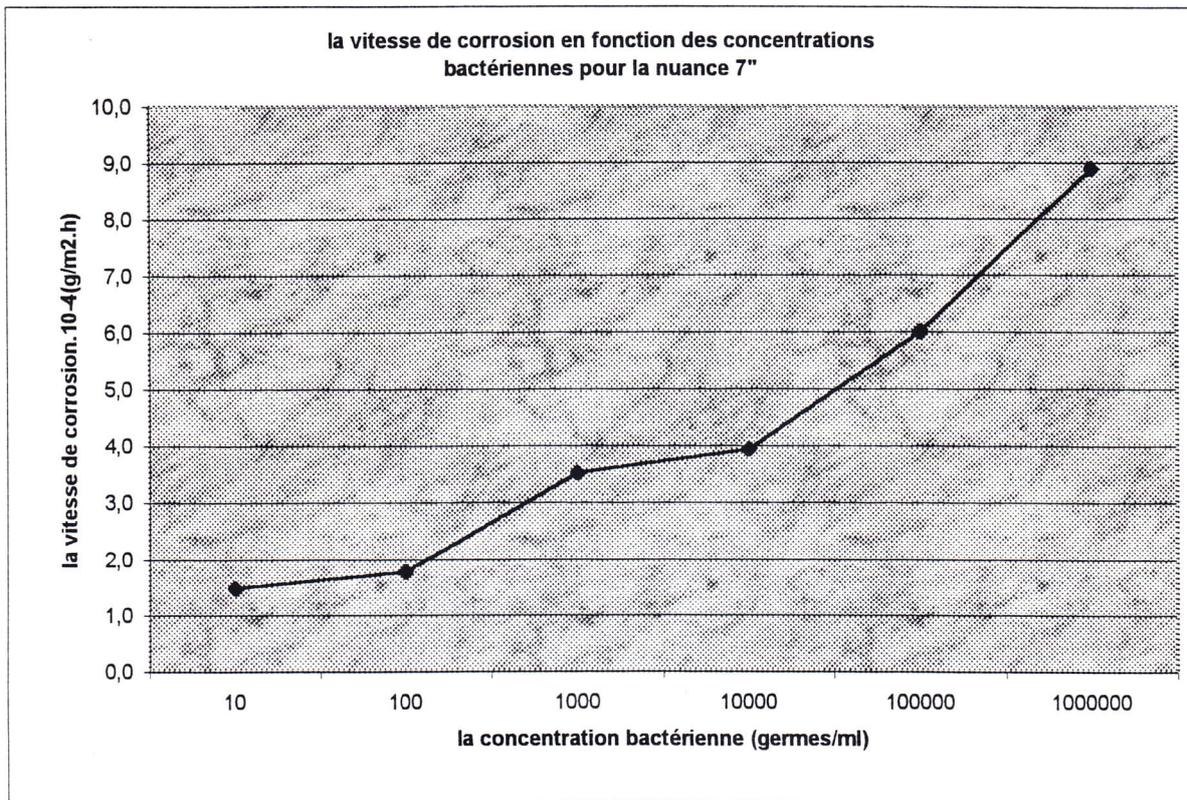
Tableau XXII : Résultats expérimentaux de la vitesse de corrosion en fonction de la concentration bactérienne pour l'échantillon n°2.

Puit: OKMH89						
Paramètres	Surface. $10^{-4}(\text{m}^2)$	m_0 (g)	m_1 (g)	Δm (g)	Conc bac (germes/ml)	Vitesse. 10^{-4} ($\text{g}/\text{m}^2.\text{h}$)
3"1/2 (1)	151.35	44.6640	44.6317	0.0323	10	6.6858
3"1/2 (2)	151.35	45.6875	45.602	0.0855	100	17.6978
3"1/2 (3)	151.35	45.9909	45.7956	0.1952	1000	40.42
3"1/2 (4)	151.35	46.5053	46.2805	0.2248	10000	46.55
3"1/2 (5)	151.35	46.6630	46.4001	0.2629	100000	54.42
3"1/2 (6)	151.35	48.4191	48.8480	0.3343	1000000	69.2

Tableau XXIII : Résultats expérimentaux de la vitesse de corrosion en fonction de la concentration bactérienne pour l'échantillon n°3.

Puit: OKMH89						
Paramètres	Surface. $10^{-4}(\text{m}^2)$	m_0 (g)	m_1 (g)	Δm (g)	Conc bac (germes/ml)	Vitesse. 10^{-4} ($\text{g}/\text{m}^2.\text{h}$)
7" (1)	151.35	85.4536	85.4464	0.0072	10	1.4903
7" (2)	151.35	85.8178	85.8092	0.0086	100	1.7801
7" (3)	151.35	86.1464	86.1294	0.017	1000	3.5188
7" (4)	151.35	91.5396	91.5206	0.019	10000	3.9328
7" (5)	151.35	98.4087	98.3797	0.029	100000	6.002
7" (6)	151.35	70.9005	70.8575	0.043	1000000	8.9006





III-6-5-Interprétation des résultats :

D'après les résultats expérimentaux obtenus par la méthode de perte de poids, on remarque que: La vitesse de corrosion de l'échantillon d'acier de l'épaisseur 1"66 supérieure à celle des aciers 3" 1/2 et 7".

Ce qui implique que l'échantillon n°1 présente une mauvaise résistance à la corrosion, l'échantillon n° 2 présente une moyenne résistance à la corrosion et l'échantillon n°3 présente une bonne résistance à la corrosion

Ceci s'explique par la différence de composition chimique de trois nuance d'aciers, on constate que l'échantillon n°3 contient une addition substantielle en chrome (0.66%) qui lui confère une tenue à la corrosion satisfaisante, par contre cette teneur est de 0.12% et 0.03% respectivement pour les aciers n° 1 et 2. L'échantillon n°2 est un acier faiblement allié au magnésium (1.51%) ce qui donne une moyenne résistance à la corrosion , l'échantillon n°1 est un acier au carbone non allié c'est la raison pour la quelle il présente une mauvaise résistance à la corrosion.

Conclusion

Les études à large échelle montre que :

- L'analyse de dépôt indique l'existence de **FeS**.
- L'analyse de l'agressivité a révélé une eau incrustante.
- L'analyse bactériologique a montré une présence de **BSR** dans l'eau albien.

Donc la corrosivité de l'eau Albien est dûe à la présence de bactérie sulfato-réductrices.

- La méthode de la perte de poids permet de classer les différentes nuance d'acier suivant leur résistance à la corrosion .

- L'acier de la nuance **API5CT grade 110 (7")** présente une bonne resistance.
- L'acier de la nuance **API5CT grade N-80 (3" 1/2)** présente une moyenne resistance.
- L'acier de la nuance **API5CT grade N-80 (1"66)** présente une mauvaise resistance.

RECOMMANDATION

A la lumière des résultats obtenus nous recommandons :

- La substitution des anciens tubes de nuance **API5CT garde N-80** par de nouveaux tubes en acier **API5CT garde N-110**.
- Procéder à des traitement chimique par des biocides pour l'élimination de la contamination par les **BSR**.
- L'installation des coupons testes afin d'avoir des renseignements directs sur les risques de corrosion encourus.
- Essayer d'autres méthodes que la méthode de perte de poids qui est peu précise et assez lente. Tel que la méthode de la résistance de polarisation (R_p), la méthode de voltampérométrie et la méthode de l'impédance qui sont plus rapides et précises.

BIBLIOGRAPHIE



BIBLIOGRAPHIE

1- ~~Dr~~ A. Bourenane.

 RECUEIL 3^{ème} JST Sonatrach.

Exploitation des puits Albien à Haoud Berkaoui.

/ SH/ DP/ HYD/ DPR/ HBK.

2- ~~Dr~~ L. Ayaidia.

 Corrosivité de l'eau Albien.

Direction régionale Haoud Berkaoui

Division production – service traitement corrosion

3- Aquaprox.

 Traitement des eaux de refroidissement .

PROTEX, 1974, Tome I. Eau de refroidissement naturelles.

4-  CECA S.A PROCHINOR industrie pétrolière.

(Division produits chimiques pétroliers).

5-  Corrosion et inhibition des puits et collectes. Edition : TECNIP 1981.

6-  Corrosion et protection contre la corrosion en milieu industriel.

Centre de perfectionnement de l'entreprise.

7- ~~Dr~~ S. YOUNSI & M. A. GANA .

 Etude de corrosion bactérienne(rapport).

Evaluation de la contamination bactérienne du champ pétrolier d'Edjeleh par les bactérie sulfato-réductrices, Mars- 1999.

(Entreprise nationale sonatrach, centre de recherche et développement).

Laboratoire Traitement Des Hydrocarbures Département Corrosion.

8- ✍ BAROID.

📖 Exposé sur les problèmes de corrosion .

bactéries , Tartres , Emulsions , Paraffines Département des traitement chimiques
(NL), octobre 1980.

9- 📖 Fondement de la corrosion 1^{er} et 2^{ème} partie.

Centre de perfectionnement de l'entreprise septembre 1992.

10- 📖 La microbiologie (rapport) décembre 1989.

UMP CHIMICAL. Sonatrach/ Region Stah Alrar. J. P. DUCOTTERD.

11- 📖 La corrosion tome I et tome II .

Centre de perfectionnement de l'entreprise.

12- 📖 La corrosion par l'eau dans l'industrie.

Division " industries " département " maintenance " .

Compagnie française de produits industriels.

13- 📖 Les formes d'attaques (rapport)1994.

Centre de perfectionnement de l'entreprise.

14- ✍ Dégrément.

📖 Mémento technique de l'eau tome I.

Edition du 50^{ème} 1989, 9^{ème} édition (1989).

15- ✍ Jeu- Jacques LAMOUREUX.

📖 PRECIS de corrosion .

Edition Beauchemin MASSON. 1980.

16- ✍ **Pierre Bachmann et Paul Tissot.**

📖 PRECIS de génie chimique.

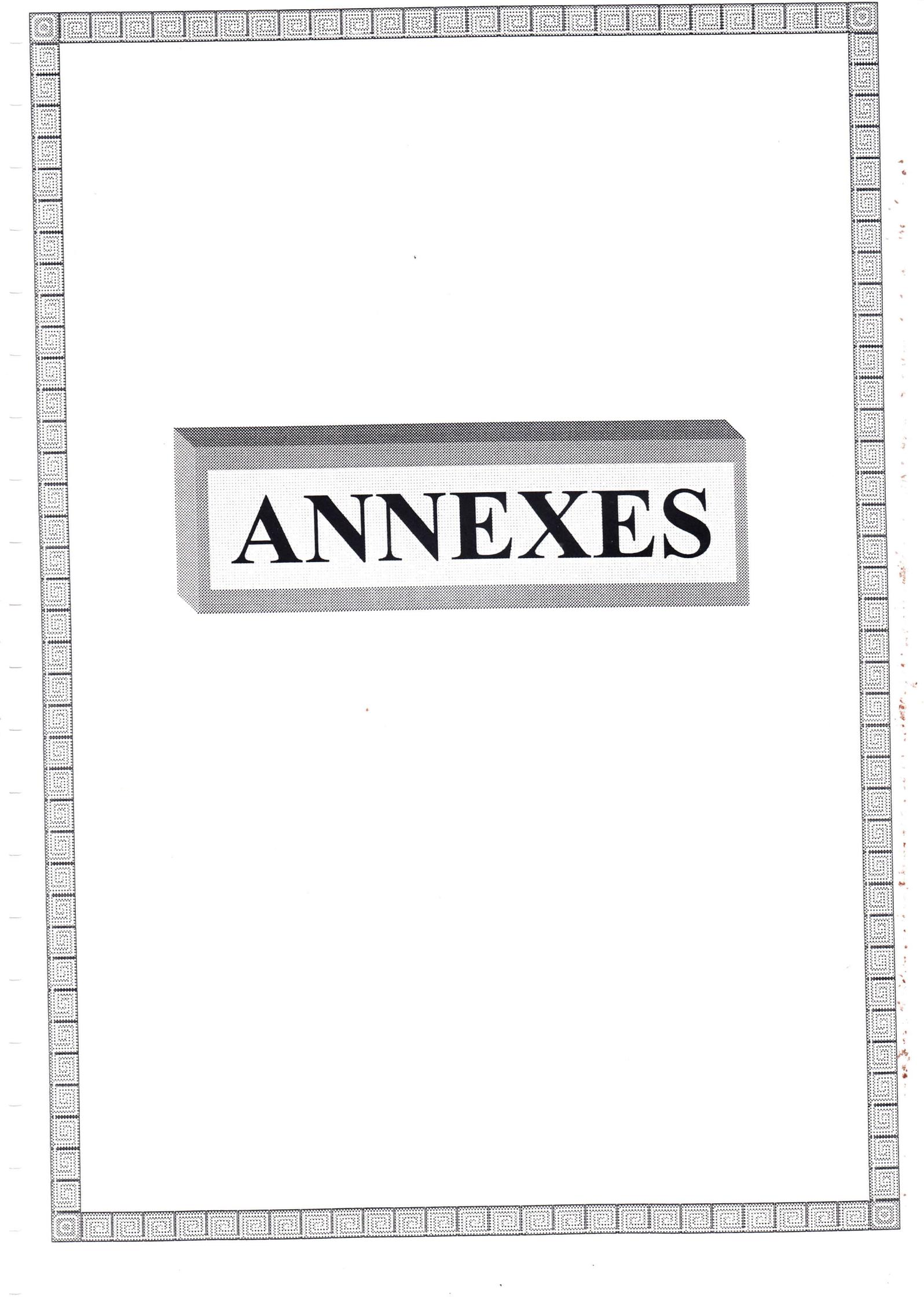
1981 by Librairie de l'Université Georg et Cie S.A, GENEVE.

17- ✍ **J. RODIER.**

📖 L'analyse chimiques et physico-chimique de l'eau.

DUNOD, 1971.





ANNEXES

Annexe 1

Tableau : représente les facteurs de dilution pour les différentes éléments analysées

Les Elements	Les conductivités	Facteur de déllution	La prise d'essai (PE) (ml)
SO_4^{2-}	$X < 1.6 \text{ mv/cm}$	1	PE = 5 ml
	$1.6 < x < 3 \text{ mv/cm}$	2.5	PE = 2 ml complète à 50 ml par l'eau distillée.
	$3 \leq x < 6 \text{ mv/cm}$	5	PE = 10 ml diluées à 50 ml par l'eau distillée et on prélève 5 ml de cette solution diluée.
	$x \geq 6 \text{ mv/cm}$	10	PE = 5 ml diluées à 50 ml par l'eau distillée et on preleve 5 ml.
Cl^-	$x < 4 \text{ mv/cm}$	1	PE = 5ml.
	$4 \leq x < 7 \text{ mv/cm}$	2.5	PE = 2 ml complète à 5 ml par l'eau distillée.
	$7 \leq x < 10 \text{ mv/cm}$	5	PE = 10 ml diluées à 50 ml puis on prélève.
Na^+	$x < 3 \text{ mv/cm}$	1	Il n'y pas lieu d'opérer une dillution.
	$x > 3 \text{ mv/cm}$	5	PE = 10 ml diluées à 50 ml par l'eau distillée permet de resoudre la plus part des cas.
Ca^{2+}	$X < 1 \text{ mv/cm}$		PE = 25 ml.
Cl^-	$1 < x < 3 \text{ mv/cm}$		PE = 20 ml.
	$3 \leq x < 7$		PE = 10 ml.
Mg^{2+}	$7 \leq x < 12$		PE = 5 ml.
	$x \geq 12$		PE = 2.5 ml.

Elements	Méq / l	Mg / l
Calcium (Ca ⁺⁺)	1	20.04
Magnésium (Mg ⁺⁺)	1	12.06
Sodium (Na ⁺)	1	23
Potassium (K ⁺)	1	39
Chlore (Cl ⁻)	1	35.50
Sulfate (SO ₄ ⁻)	1	48
Carbonate (CO ₃ ⁻)	1	30
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	1	61
Nitrate (NO ₃ ⁻)	1	62.11

Tableau : représente les différentes transformations pour les divers éléments analysés

TH (titre hydrométrique . Dureté) ° Français = (Ca⁺⁺ , Mg⁺⁺) méq *5

Exemple : Ca⁺⁺ = 3.32 méq / l & Mg⁺⁺ = 3.91 méq / l

TH °F = (3.32 + 3.91) * 5 = 36.19 °F (Eau de Saïda)

$$\text{SAR (Sodium absorption ratio)} = \frac{\text{Na}^+ \text{ (méq / l)}}{\sqrt{\frac{(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) \text{ méq / l}}{2}}}$$

CALCUL DE LA MINERALISATION A PARTIR DE LA CONDUCTIVITE

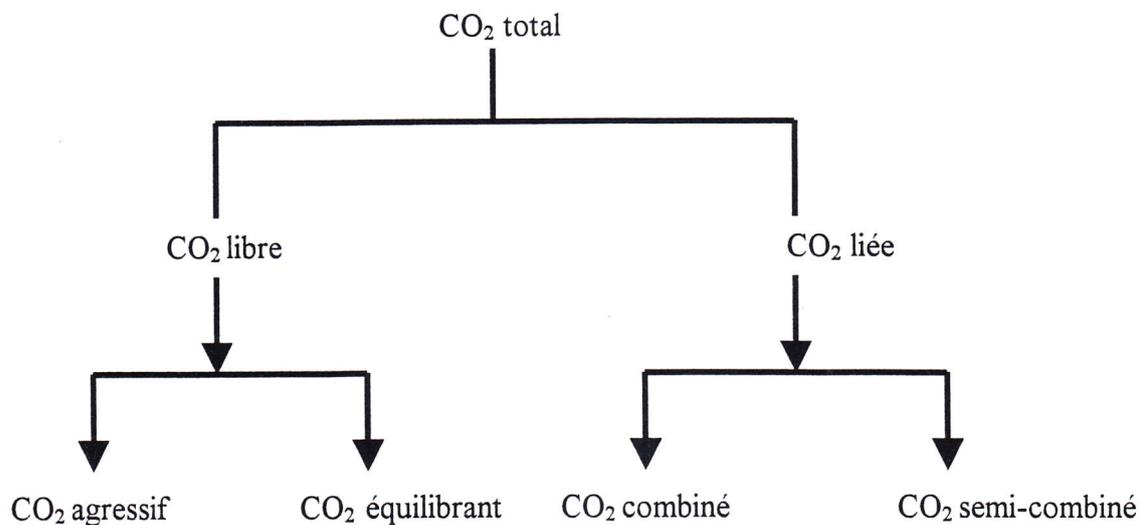
Conductivité (ms / cm)	Minéralisation (Mg / l)
Conductivité inférieure à 0,050 ms / cm	1366 * Conductivité (ms / cm) à 20° C
Conductivité comprise entre 0,050 et 0,166 ms / cm	948 * Conductivité (ms / cm) à 20° C
Conductivité comprise entre 0,166 et 0,33 ms / cm	770 * Conductivité (ms / cm) à 20° C
Conductivité comprise entre 0,333 et 0,833 ms / cm	716 * Conductivité (ms / cm) à 20° C
Conductivité comprise entre 0,833 et 10 ms / cm	759 * Conductivité (ms / cm) à 20° C
Conductivité supérieure à 10 ms / cm	850 * Conductivité (ms / cm) à 20° C

Conversions

$$1 \text{ m / s} = 1 \text{ mmhos / cm} = 1000 \text{ } \mu\text{s / cm}$$

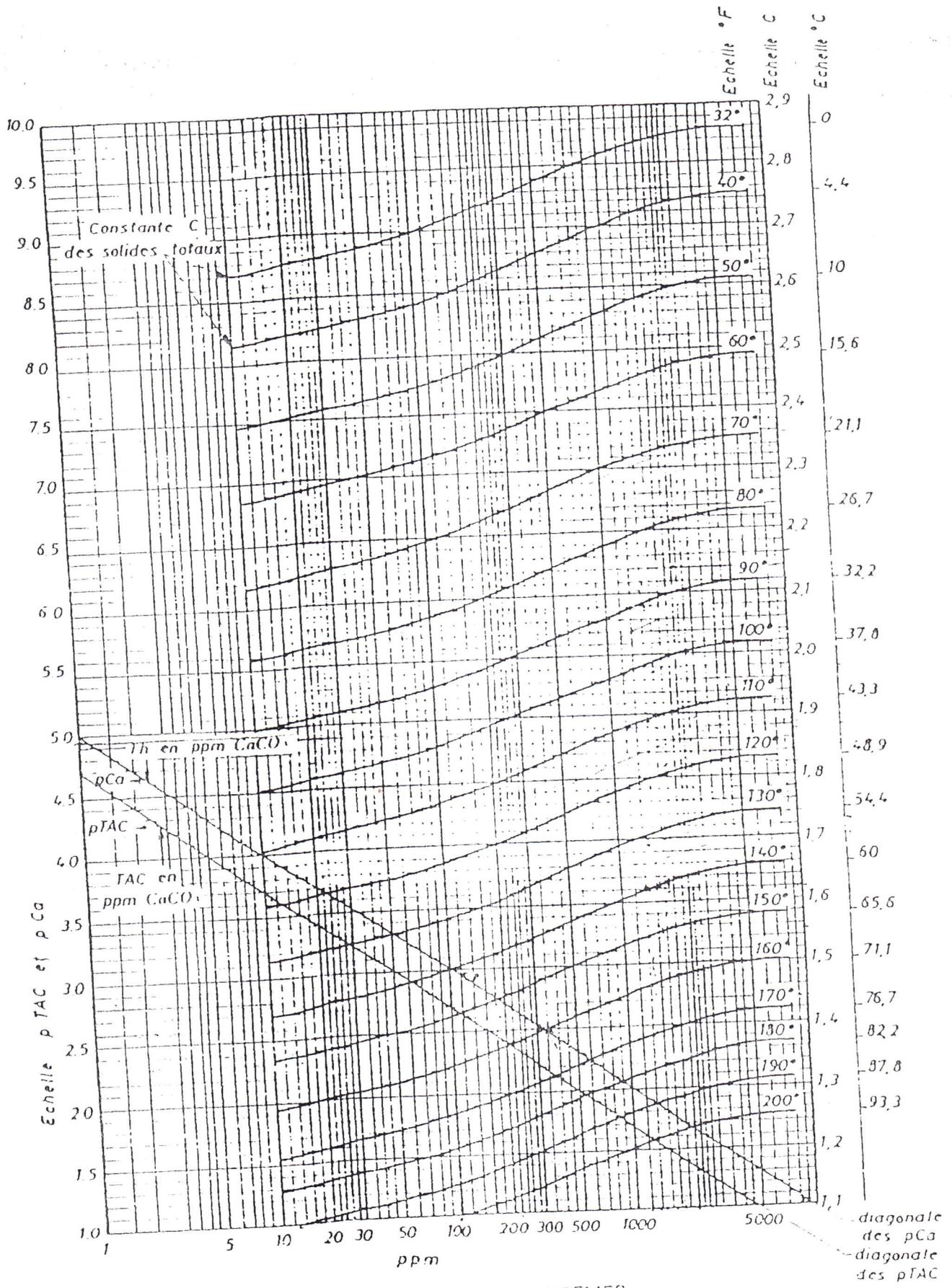
$$1 \text{ } \mu\text{s / cm} = 1 \text{ } \mu\text{mhos / cm} = 0,001 \text{ ms / cm}$$

Les différents équilibres de CO₂ dans l'eau :



°F	TA=0	$TA < \frac{TAC}{2}$	$TA = \frac{TAC}{2}$	$TA > \frac{TAC}{2}$	TA=TAC
HCO ₃ ⁻	TAC	TAC-2.TA	0	0	0
CO ₃ ²⁻	0	2.TA	2TA	2(TAC-TA)	0
OH ⁻	0	0	0	2TA-TAC	TAC

Tableau représente Les titres en carbonates, bicarbonates et hydroxydes dans les différents cas



INDICE DE SATURATION DE LANGELIER

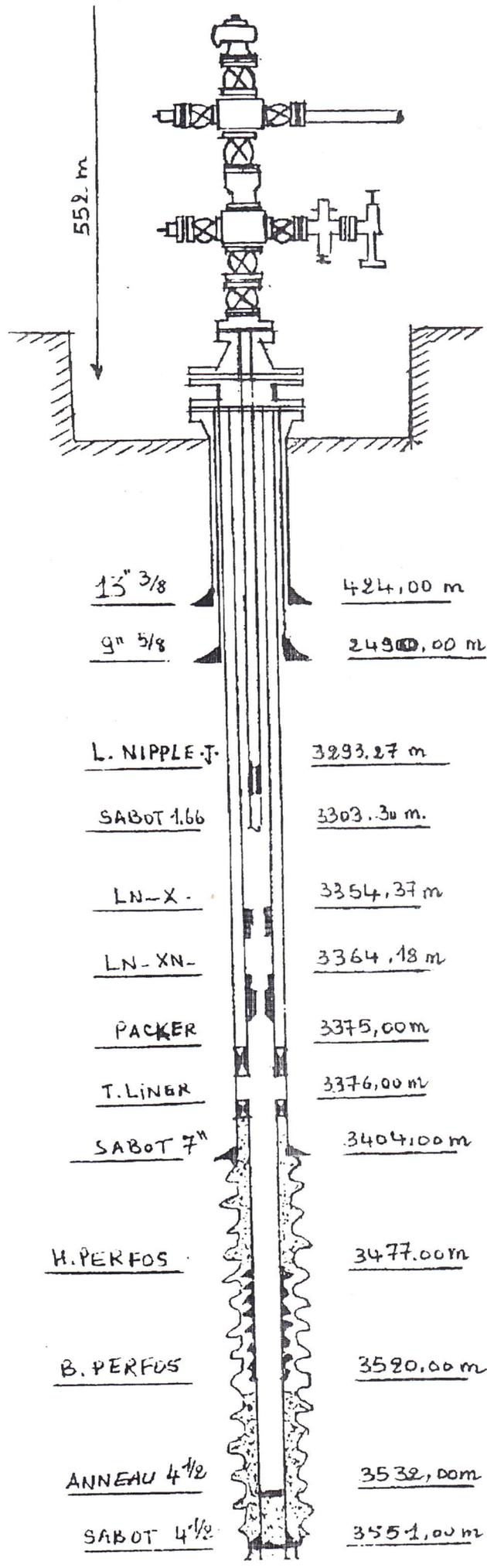
Annexe 2

PRESENTATION GEOLOGIQUE DE L'ALBIEN :

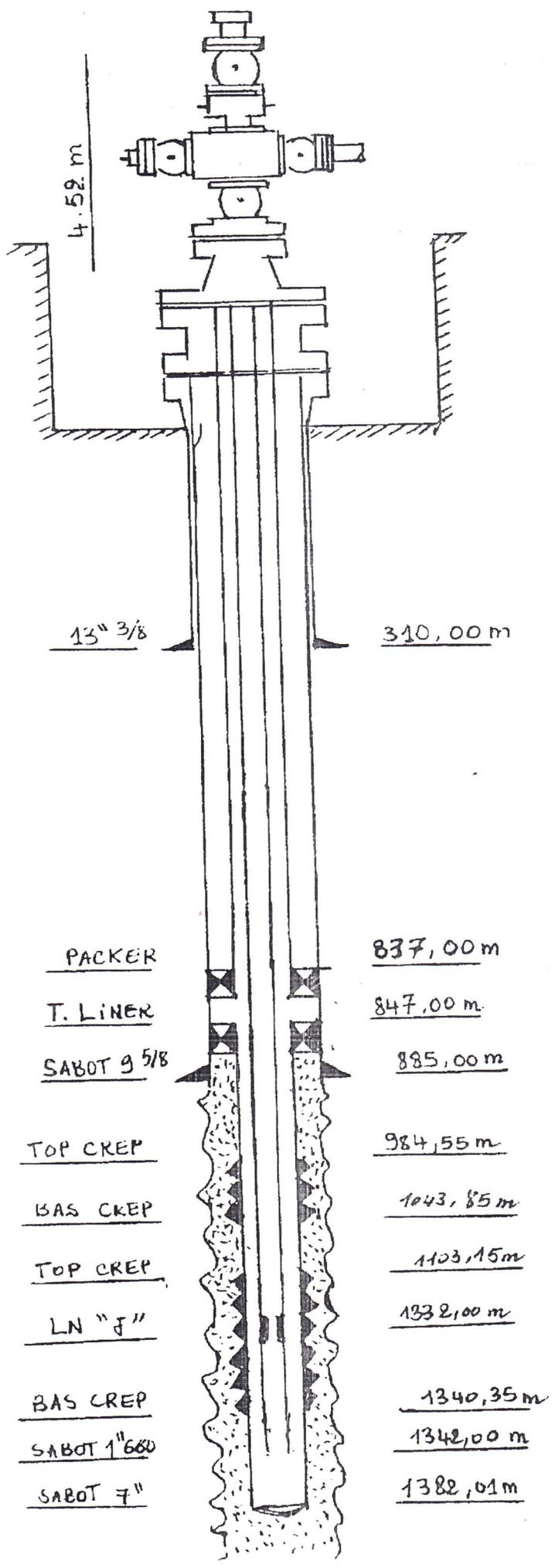
Caractéristiques du réservoir :

- La capacité du réservoir est évaluée à 50 000 milliards de mètre cube.
- La porosité varie entre 20 et 25 %.
- La perméabilité varie entre 1 à 6 darcy.
- La hauteur totale moyenne 500m (OUED MYA).
- Pression de l'ordre de 137 Kg/cm² à -1000m.
- Température 55°C à -1300 m.
- Salinité 0.6 à 2g/l.

COMPLETION SIMPLE



PUITS PRODUCTEUR D'EAU.



**RECAPITULATIF DES INTERVENTIONS
SUR PUIITS PRODUCTEURS D'EAU
AU CHAMPS H.B.K.**

PUIITS	ETAT ACTUEL	HORIZON PRODUCT.	DATE COMPLET.	DIAMETRE MACARONI	DATE DESCENTE	DATE REMONTEE	DUREE RESTEE	ETAT MACARONI	DATE TRANSFOR.	DATE ABONDON	OBSERVATIONS
OKJ 60	Abond.	JURAS	mai-05							sep-94	cor. très avancée, non traitée
OKJ H2		JURAS	juil-75	1"660	mai-79	juil-83	4 ans	Corrodé	juil-83		
	Abond.	ALBIEN			avr-90	mai-96	6 ans	très corrodé		mai-96	en ferraille
OKJ H3	Abond.	JURAS	déc-83	1"660	mar-84	oct-94	10 ans	très corrodé		oct-94	corrosion très avancée
OKJ H4		JURAS	avr-81	1"660 x 2"3/8	avr-81	mar-91	10 ans	Corrodé	mar-91		
	Abond.	ALBIEN		1"660	mar-91	sep-93	2,5 ans	Corrodé		sep-93	
OKN H1	Abond.	JURAS	fév-82	1"900 x 2"3/8	fév-82	nov-89	7 ans	Corrodé		nov-89	
OKN H2		JURAS	jun-82	1"900 x 2"3/8	jun-82	mai-89	7 ans	Corrodé	mai-89		
	Abond.	ALBIEN		1"660	mai-89	avr-95	6 ans	très corrodé		avr-95	en ferraille
OKN H3		JURAS	juil-83	1"660 x 2"3/8	juil-83	avr-89	6 ans	Corrodé	avr-89		
	Abond.	ALBIEN		2"3/8	avr-89	juil-94	5 ans	très corrodé		juil-94	en ferraille
OKN H4		JURAS		2"7/8	jan-84	août-89	9,5 ans	Corrodé			
	Abond.	ALBIEN		2"3/8	nov-89	jan-94	4,5 ans	Corrodé			
OKM H89	Prod	ALBIEN	nov-80	1"660	nov-89	déc-94	5 ans	très corrodé			corrosion très avancée
				1"660	déc-94	sep-97	3 ans	très corrodé			corrosion très avancée
OKJ HA1	Prod	ALBIEN	jan-93	1"660	jan-93	nov-94	2 ans	Corrodé			Derniers tubes percés
OKJ HA2	Prod	ALBIEN	oct-93	1"660	oct-93	avr-97	3,5 ans	Corrodé			Derniers tubes percés
OKJ HA3	Prod	ALBIEN	déc-94	1"660	déc-94	avr-98	3,5 ans	Corrodé			Derniers tubes percés
OKJ HA4	Prod	ALBIEN	avr-95	1"660	avr-95	avr-98	3 ans	Corrodé			Derniers tubes percés

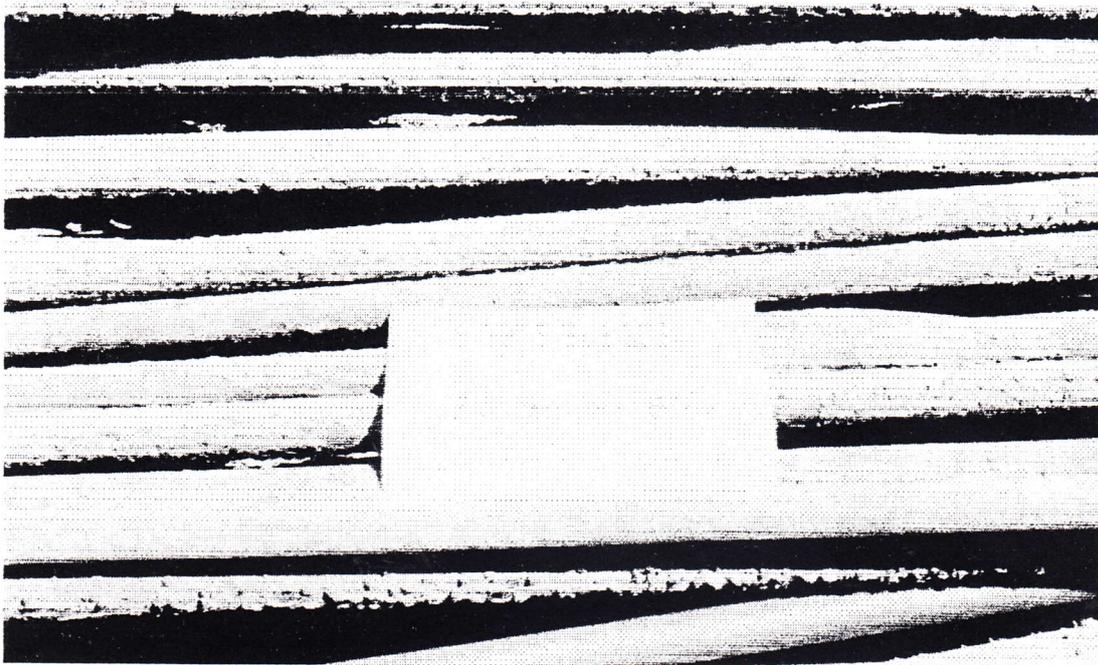
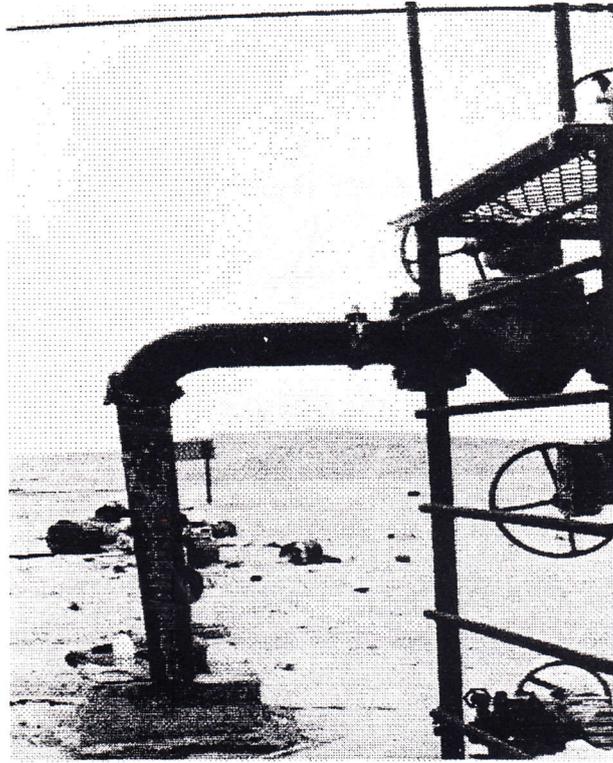


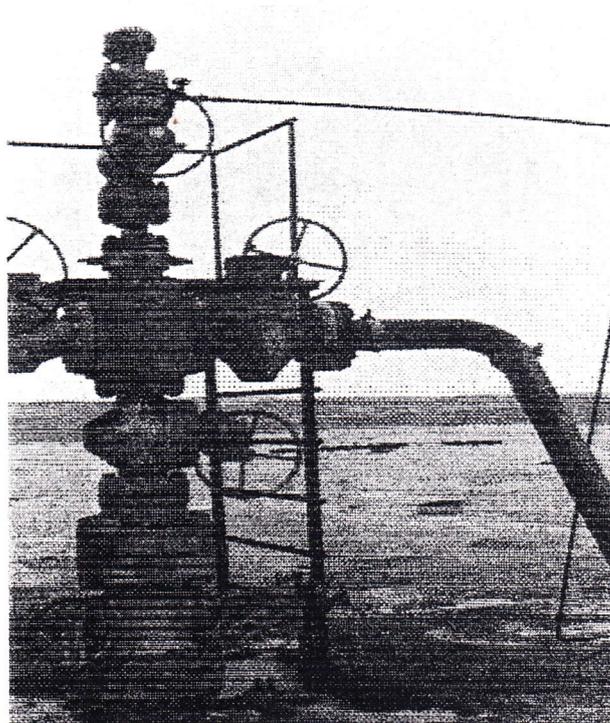
Fig. 1: tube de macaroni 1" 66 corrodée de puit OKMH89



Fig. 2: pipe corrodée de puit OKJHA4



**Fig. 3: ligne de sortie corrodée de puit producteur
de l'eau Albien OKMH89**

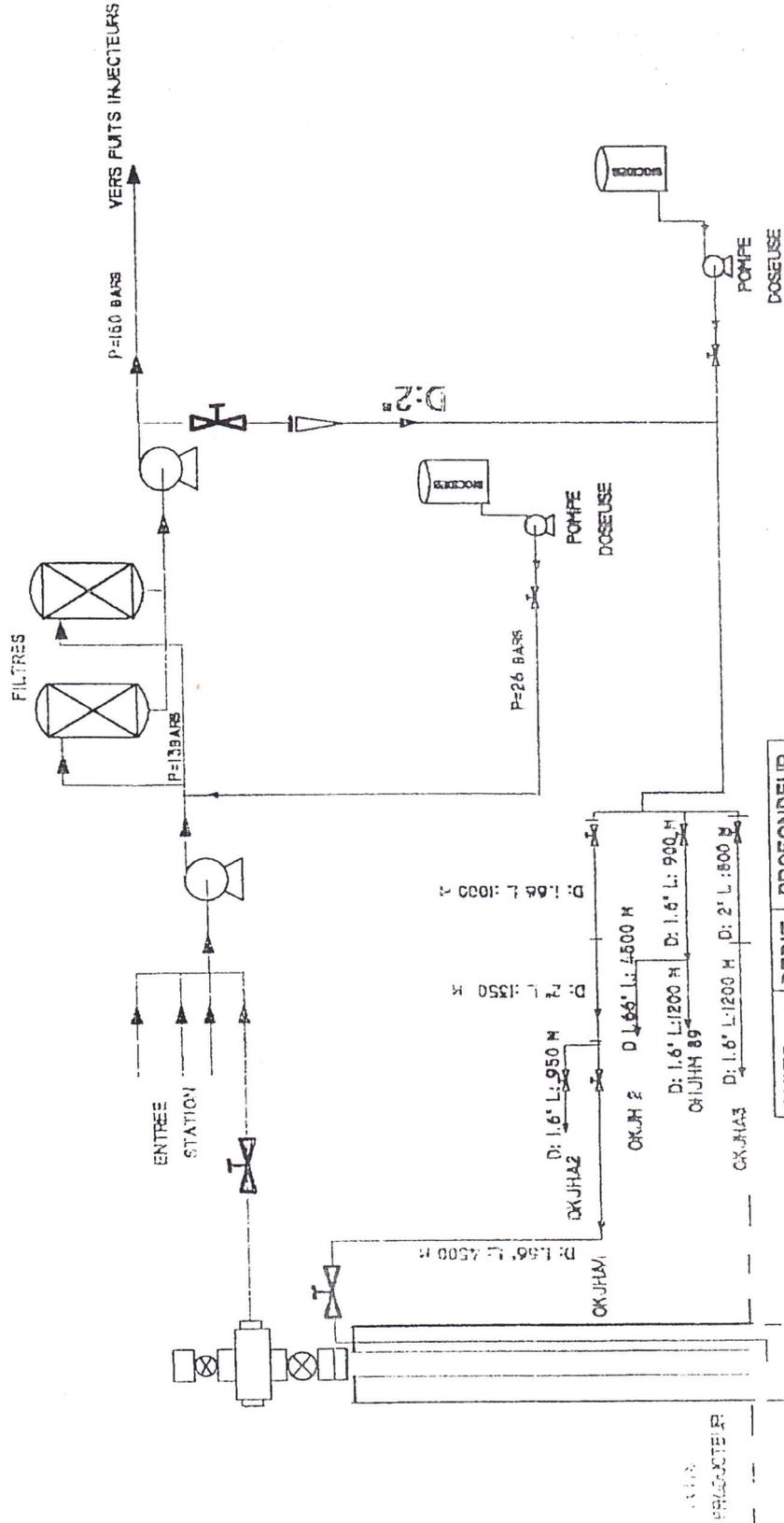


**Fig. 4: puit producteur
de l'eau Albien OKJHA4**

Station d'injection d'eau

L'unité d'injection d'eau est prévue pour injecter $250\text{m}^3/\text{h}$ d'eau à 144 bars pour maintenir la pression du gisement. L'alimentation de l'unité assurée par des puits producteurs d'eau du champ de Haoud-Berkaoui ensuit l'eau pompée à 16 bars à l'aide des boosters (po₂ A/B) pour alimenter les filtres bicouches à sable dont le but d'éliminer les particules en suspension. Après filtration l'eau est pompée à un pression de 144 bars à l'aide des pompes (HPPO₁A/B/C) vers les puits injecteurs d'eau.

SONATRACH DP REGION DE HAOUD BERKAOUI CENTRE D'INJECTION D'EAU DE BERKAOUI



PUITS	DEBIT M3/H	PROFONDEUR
OKJHA3	67	1182
OKJH2		2010
OKJHA2	50	1200
OKJHM 89 25		1216
OKJHA4	57	904

Résumé

Le but de ce travail est de déterminer la cause de corrosion résultant par l'utilisation de l'eau Albien de la région de **Haoud BERKAOUI** dans les activités industrielles et d'avoir l'influence de cet eau vis-à-vis de différentes nuances d'aciers utilisées.

L'étude de l'agressivité de l'eau résulte que l'eau Albien est une eau incrustante, la corrosion envisagée est due à la présence de certains types de bactéries **BSR**.

Pour classer les différentes nuances d'aciers et à la limite des moyennes disponibles, nous avons utilisé la méthode de perte de poids et on arrive à des résultats pas très précisés qui ont indiqué que la nuance **API 5CT grade**

P-110 présente une bonne résistance, par contre la nuance **API 5CT grade N-80** présente une mauvaise résistance à la corrosion.