



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم هندسة الطرائق

Département de Génie des Procédés

N°d'enregistrement

/...../...../...../...../.....

## Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences et Technologie.

Filière : Génie des Procédés.

Spécialité : Génie Chimique.

### Thème

**L'utilisation de cellulose comme nouveau  
Backfill matériel aux protections cathodique des  
installations pétrolier à Hassi R'Mel**

Par :

**BELMOKHTAR SAIFEDDIN**

**HAMEL CHOUAIB**

Devant le jury composé de :

Touaiti Farid	MCA	Univ. Ghardaia	Encadreur
Hellali Naima	MCB	Univ. Ghardaia	Président
Mansouri Khaled	MCA	Univ. Ghardaia	Examineur
Agoune Saleh	MAA	Univ. Ghardaia	Examineur

Année universitaire : 2022/2023

# *Remerciement*

Nous remercions Dieu de nous avoir aidés à achever ce travail. Nous remercions également le Dr **TOUAITI Farid**, qui, quoi que nous fassions, nous ne remplirons pas son droit, car il a consacré son temps et ses efforts à nous superviser dans ce travail. Deuxièmement, nous tenons à remercier tous les employés de Sonatrach, branche Hassi R'mel, Département de la corrosion et de la protection cathodique, qui ne nous ont pas épargnés pour fournir des informations et des conseils qui ont contribué de manière significative à ce travail, dirigé par l'ingénieur **Ghanem Bachiri**. Nous remercions également tous les professeurs qui nous ont accompagnés tout au long de la carrière universitaire, en particulier les professeurs des matières liées à notre sujet, car ils nous ont inspirés dans ce travail. Nous n'oublions pas non plus **M. Auf Jaber, M. Ben Bada Ahmed, M. Ben Hamouda Hicham, M. Bachir Moulay Lakhdar et M. Ali Moulay Ammar**, qui ont joué un rôle majeur dans ces travaux en fournissant tous les outils nécessaires pour mener à bien ces travaux.

*Dédicaces*

*Je dédie cet humble travail à :*

*Cher Père,*

*Chère maman,*

*Chers frères (Adam, Ayoub, Aya)*

*Toute ma famille,*

*Et à tous mes amis (Bitour Houssam, Boudrae Bachir, Yahia*

*faras, D'AHOU yahia).*

*À tous mes professeurs dans ma carrière académique »*



BELMOKHTAR Saifeddin

*Dédicaces*

*Je dédie cet humble travail à :*

*Cher Père,*

*Chère maman,*

*Chers frères*

*Toute ma famille,*

*Et à tous mes amis (Yahia faras . Ahmed*

*GOUAMTO . LAQH'RAB Djebere).*

*À tous mes professeurs dans ma carrière académique »*



**HAMEL Chouaib**

## Resume:

Dans ce travail appliqué, trois types de matériaux de protection lors du remblayage des oléoducs et des gazoducs dans les installations pétrolières (Backfill commercial, cellulose et nano cellulose) ont été comparés en termes de perte de masse et d'intensité de courant appliquée dans la protection cathodique d'échantillons d'acier de grade X70. Les travaux expérimentaux ont commencé par la préparation de cellulose à partir de fibres alliées par plusieurs étapes de lavage et de traitements chimiques, ensuite il a été traité avant d'être décomposé avec l'acide sulfurique pour avoir de la nano cellulose, qui a été utilisée en plus de la cellulose comme un autre nouvel Backfill matériau pour être comparé avec un matériau commercial obtenu lors de notre stage pratique à Hassi R'mel. Les résultats sur une petite cellule cathodique ont montré un résultat prometteur dans le cas des matériaux à base de cellulose qui pourrait conduire à une nouvelle perspective dans le domaine des matériaux de remblai pour la protection contre la corrosion.

**Mots clés :** protection cathodique, remplissage, électrochimique, cellulose.

## Abstract:

In this experimental work, three types of protective materials during backfilling of oil and gas pipelines in petroleum installations (commercial Backfill, cellulose and nanocellulose) were compared in terms of mass loss and current intensity applied in the cathodic protection of x70 grad steel samples. The experimental work began with the preparation of cellulosic materials from alloyed fibers through several stages of washing and chemical treatments. It was then processed to decompose with sulfuric acid to produce nanocellulose, which was used in addition to cellulose as a material to compare its performance as backfill with a commercial material obtained at the Hassi Ramel training site. The results on a small cathode cell showed a promising result in the case of cellulose-based materials that could lead to a new perspective in the field of backfill materials for corrosion protection.

**Keywords:** Catholic protection, backfill, electro-chemical, cellulose.

## ملخص

في هذا العمل التطبيقي، تمت مقارنة ثلاثة أنواع من مواد الحماية (مادة تجارية، سيليلوز و نانو سيليلوز) أثناء ردم الأنابيب الناقلة للبترول و الغاز في المنشآت البترولية من حيث فقدان الكتلة وشدة التيار المطبق في الحماية الكاثودية لعينات من الحديد الصلب من النوع X70. بدأ العمل التجريبي بتحضير مواد السليلوز من ألياف الحلفاء من خلال العديد من خطوات الغسيل والمعالجات الكيميائية. بعد ذلك تم معالجته ليتحلل بالحمض الكبريتي لإنتاج النانوسليلوز الذي تم استخدامه بالإضافة إلى السليلوز كمادة لمقارنة أدائها كمادة ردم مع مادة تجارية تم الحصول عليها من موقع التربص في حاسي الرمل. أظهرت النتائج على خلية كاثودية صغيرة نتيجة واعدة في حالة المواد القائمة على السليلوز والتي يمكن أن تؤدي إلى منظور جديد في مجال مواد الردم للحماية من التآكل.

**الكلمات المفتاحية:** الحماية الكاثودية، مواد الردم، إلكتروكيمي، سيلولوز.

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1 : Carte des bassins sédimentaires de l'Algérie</b>	<b>03</b>
<b>Figure 2 : Situation géographique du champ de Hassi-R'mel</b>	<b>05</b>
<b>Figure 3 : Le champ de Hassi-R'mel</b>	<b>05</b>
<b>Figure 04 : Organigramme représente La chaîne gazière</b>	<b>06</b>
<b>Figure 05: Map of gas pipelines across Mediterranean and Sahara</b>	<b>12</b>
<b>Figure 06: Corrosion chimique: Cuivre et acier noir dans une installation</b>	<b>16</b>
<b>Figure 07 : Pile de corrosion fer-platine en milieu acide, dissolution du fer et réduction ; protons sur le platine des</b>	<b>17</b>
<b>Figure 08 : Organigramme représente Les différentes formes de la corrosion</b>	<b>17</b>
<b>Figure 09 : Image illustrative du revêtement du tube extérieur par système tri couche</b>	<b>21</b>
<b>Figure 10 : Processus du revêtement extérieur du tube en PE tri couches</b>	<b>23</b>
<b>Figure 11 : Processus de revêtement intérieur du tube</b>	<b>24</b>
<b>Figure 12 : différents équipements utilisés dans les méthodes d'analyse</b>	<b>25</b>
<b>Figure 13 : Les méthodes du courant de remise et les vaisseaux sacrificiels</b>	<b>30</b>
<b>Figure 14 : Organigramme représente Méthodes de protection cathodique</b>	<b>31</b>
<b>Figure 15: le système de courant imposé dans la protection cathodique</b>	<b>32</b>
<b>Figure 16: Schéma montrant la composition de l'anode en magnésium</b>	<b>36</b>
<b>Figure 17 : Principe de la protection cathodique par anode sacrificielle</b>	<b>39</b>
<b>Figure 18: Pôle de référence</b>	<b>40</b>
<b>Figure 19 : Organigramme représente plan de travail</b>	<b>45</b>
<b>Figure 20 : Organigramme représente le procédé de préparation de cellulose à base d'Alfa</b>	<b>46</b>
<b>Figure 21 : La préparation des morceaux de fibre d'Alfa</b>	<b>47</b>

<b>Figure 22 : Elimination de sucre et les impuretés d'alfa</b>	<b>47</b>
<b>Figure 23: sechage alfa</b>	<b>47</b>
<b>Figure 24 : Broyage et tamisage de farine d'Alfa</b>	<b>48</b>
<b>Figure 25 : le bain marrée</b>	<b>48</b>
<b>Figure 26 : Elimination de Hemicellulose</b>	<b>48</b>
<b>Figure 27 : l'élimination des impuretés dans la cellulose</b>	<b>49</b>
<b>Figure 28 : les étapes de la Nano cellulose.</b>	<b>50</b>
<b>Figure 29 : les électrodes (anodes) de Zinc</b>	<b>51</b>
<b>Figure 30 : la source des Cathode de l'acier X70</b>	<b>51</b>
<b>Figure 31 : la pochette de Backfill</b>	<b>52</b>
<b>Figure 32 : Anode de zinc introduit dans le backfill de cellulose</b>	<b>52</b>
<b>Figure 33 : le backfill commerciale et l'installation de l'anode au pochette intérieur de toile</b>	<b>53</b>
<b>Figure 34 : la connections de cathode</b>	<b>53</b>
<b>Figure 35 : le schéma utiliser pour testes les 3 matériaux</b>	<b>54</b>
<b>Figure 36 : la préparation des cellules de test de protection cathodique</b>	<b>55</b>
<b>Figure 37 : les deux cellules de testes</b>	<b>56</b>
<b>Figure 38 : les échantillant de terre végétale</b>	<b>57</b>
<b>Figure 39 : système de protection cathodique Courant</b>	<b>58</b>
<b>Figure 40 : les graphe des curent imposer par les matériaux</b>	<b>60</b>
<b>Figure 41 : degradation de Mass pour le trois materiaux dans trois milieu</b>	<b>61</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01 : Capacité de production de gaz naturel, condensât et GPL</b>	<b>08</b>
<b>Tableau 02 : les différents types de corrosion</b>	<b>18</b>
<b>Tableau 03 : Les différents types des anodes à base d'aluminium</b>	<b>37</b>
<b>Tableau 04 : les propriétés du magnésium, de l'aluminium et du zinc en tant qu'anode sacrificielle.</b>	<b>39</b>
<b>Tableau 05 : Composition chimique de Backfill</b>	<b>41</b>
<b>Tableau 06 : Granulométries de Backfill</b>	<b>41</b>



<b>Remerciements</b>	<b>i</b>
<b>Dédicaces</b>	<b>ii</b>
<b>Résumée</b>	<b>Iv</b>
<b>List des Figures</b>	<b>V</b>
<b>List des Tableaux</b>	<b>vi</b>
<b>Sommaire</b>	<b>vii</b>
<b>Partie théorique</b>	
<b>Chapitre I : CHAMPS DES HASSI R'MEL</b>	
<b>I. Introduction</b>	<b>1</b>
<b>I.1.1 Principaux gisements d'hydrocarbures de l'Algérie</b>	<b>2</b>
<b>I.1.1.Champ de Hassi Messaoud</b>	<b>3</b>
<b>I.1.2.Champ de Hassi R'mel</b>	<b>4</b>
<b>I.1.2.1Les installations gazières du champ de Hassi R'mel</b>	<b>8</b>
<b>I.1.2.2 Les modules</b>	<b>8</b>
<b>I.1.2.3.Les stations de compression</b>	<b>9</b>
<b>I.1.2.4.Le stockage et l'expédition des hydrocarbures liquides</b>	<b>9</b>
<b>I.1.2.5.Le Centre National de Dispatching de Gaz (CNDG)</b>	<b>9</b>
<b>I.1.2.6.La Station de Récupération des Gaz Associés (SRGA)</b>	<b>9</b>
<b>I.1.2.7.HR-Sud</b>	<b>9</b>
<b>I.1.2.8.Procédé Pritchard</b>	<b>9</b>
<b>I.1.2.9Procédé Hudson</b>	<b>10</b>
<b>I.1.3.Transport de gaz</b>	<b>10</b>
<b>I.1.3.1Gazoducs d'exportation de gaz</b>	<b>11</b>

<b>I.1.4.Conclusion</b>	<b>12</b>
<b>Chapitre II : CORROSION</b>	
<b>II.1.Introduction</b>	<b>14</b>
<b>II.2. Theory de Corrosion</b>	<b>14</b>
<b>II.2.1. Types de corrosion</b>	<b>15</b>
<b>II.2.1.1.Corrosion chimique (sèche)</b>	<b>15</b>
<b>II.2.1.2.Corrosion électrochimique (humide)</b>	<b>16</b>
<b>II.2.1.3.Corrosion biochimique (bactérienne)</b>	<b>17</b>
<b>II.2.2.Les différentes formes de la corrosion</b>	<b>17</b>
<b>II.2.3. Les facteurs de la corrosion</b>	<b>18</b>
<b>II.2.4.Mécanismes de la corrosion</b>	<b>19</b>
<b>II.3. Les méthodes de protection contre la corrosion</b>	<b>20</b>
<b>II.3.1. Protection passive</b>	<b>20</b>
<b>II.3.1.1. Revêtement organique</b>	<b>21</b>
<b>II.3.1.1.1. Application du Revêtement au tube en acier</b>	<b>22</b>
<b>II.3.1.1.2. Essai de contrôle de qualité de Revêtement</b>	<b>24</b>
<b>II.3.1.2. Revêtement inorganique</b>	<b>26</b>
<b>II.3.2. Protection active</b>	<b>27</b>
<b>II.4.Conclusion</b>	<b>27</b>
<b>Chapitre III : PROTECTION CATHODIQUE</b>	
<b>III.1.Introduction</b>	<b>29</b>
<b>III.2.Le principe de protection cathodique et ses application</b>	<b>30</b>
<b>III.3.Méthodes de protection cathodique</b>	<b>31</b>
<b>III.4. Courant impose</b>	<b>32</b>

<b>III.5. Anode sacrificielle</b>	<b>33</b>
<b>III.5.1. Caractéristiques des anodes à base de magnésium</b>	<b>34</b>
<b>III.5.1. Caractéristiques des anodes à base d' aluminium</b>	<b>36</b>
<b>III.5.1. Caractéristiques des anodes à base de zinc</b>	<b>38</b>
<b>III.6. Mesure de tension du point de protection cathodique</b>	<b>40</b>
<b>III.7. BACKFILL</b>	<b>41</b>
<b>III.8. Problématique</b>	<b>42</b>
<b>Partie expérimentale</b>	
<b>Chapitre VI : MATERIAUX ET METHODES</b>	
<b>VI.1. Matériaux</b>	<b>45</b>
<b>IV.1.1. Les solvants et agents chimiques :</b>	<b>45</b>
<b>IV.1.2. Le cellulose</b>	<b>46</b>
<b>IV.1.2.1. Les méthode de préparation de cellulose:</b>	<b>46</b>
<b>IV.1.2.2. Les méthode de préparation de nano cellulose</b>	<b>49</b>
<b>V.1.3. Méthode de préparation des Electrodes et échenillant de l'acier</b>	<b>50</b>
<b>V.2. Les installations expérimentales de l'investigation</b>	<b>52</b>
<b>V.2.1 Le Backfill</b>	<b>52</b>
<b>V.2.2 Installation de cathode</b>	<b>53</b>
<b>V.2.3. Le dispositif de cellule de protection cathodique</b>	<b>54</b>
<b>V.2.4. Installation d'un système de protection cathodique Courant imposé</b>	<b>57</b>
<b>Chapitre VI : RESULTATS ET DISCUSSIONS</b>	
<b>VI.1. La dégradation de zinc</b>	<b>60</b>
<b>VI.2. Current électrique</b>	<b>61</b>

<b>CONCLUSION</b>	<b>63</b>
<b>REFERENCES</b>	<b>64</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>66</b>

# **PARTIE THEORIQUE**

**CHAPITER I :**

**CHAMPS DE HASSI  
R'MEL**

## **I. Introduction :**

L'énergie est la « capacité de faire le travail ». L'énergie est la façon dont les choses changent et se déplacent. Ils sont tout autour de nous, et ils ont beaucoup de formes. Il existe deux types d'énergie, les énergies renouvelables et les énergies non renouvelables [1].

Le terme énergie renouvelable exprime l'énergie produite à partir de processus naturels, sans intervention humaine, et est constamment renouvelée. Il en existe plusieurs types dans la nature, tels que la lumière du soleil, l'énergie géothermique, le vent, les vagues de la mer, l'énergie de l'eau courante ou tombante des falaises, en plus de l'énergie de la biomasse sous ses diverses formes. L'un des avantages les plus importants des énergies renouvelables est qu'elles sont imperméables et gratuites en plus d'être une énergie propre. [1]. Tandis que, le terme énergie non renouvelables décrit les énergies qui consomment les ressources qu'elles produisent. Par conséquent, ces ressources ne peuvent pas être indemnisées une fois épuisées. Parmi les plus importantes de ces ressources figurent le pétrole et le gaz.

Le pétrole et le gaz sont l'une des sources d'énergie les plus importantes au monde. Ils sont la base de la civilisation moderne, de l'industrie, du transport et du chauffage. Et plus important est l'économie mondiale car ils sont des facteurs importants dans l'économie des pays, en particulier le pétrole.

L'Algérie est un pays riche en ressources naturelles, avec de vastes réserves de pétrole et de gaz naturel. Cette richesse est largement concentrée dans les champs pétrolifères dispersés dans tout le pays.

De point de vue Gaz naturel, il existe trois pays – l'Iran, la Russie et le Qatar – abritent actuellement près de 49 % des réserves conventionnelles de gaz naturel identifiées dans le monde. Avec une production en croissance annuelle de près de 3% en moyenne depuis plus de trente ans, le gaz est l'énergie fossile dont la progression est la plus soutenue. Les gaz non conventionnels (gaz de schiste, et gaz de houille) devraient permettre de prolonger cette croissance et de renouveler les ressources en gaz. Le volume des ressources non conventionnelles est estimé à 51 % des ressources gazières mondiales. Les gaz de schiste, bien répartis sur la planète, concentrent la plus grosse part de ce potentiel. Essentiellement exploitées aux États-Unis, d'importantes ressources non conventionnelles existent en Chine, en Argentine et en Algérie. Les champs pétrolifères algériens sont une source majeure de revenus nationaux, et le gouvernement développe constamment ce secteur. Le gouvernement investit massivement dans la recherche de nouveaux champs et leur exploitation efficace, afin d'atteindre l'autosuffisance en production et d'obtenir des rendements économiques importants.

Les champs pétrolifères algériens couvrent de vastes zones désertiques et montagneuses, et se caractérisent par une haute qualité et une grande proportion de pétrole. La société algérienne Sonatrach est la plus grande entreprise énergétique du pays, qui explore, exploite et exporte du pétrole et du gaz naturel. [1]

### **I.1.Principaux gisements d'hydrocarbures de l'Algérie**

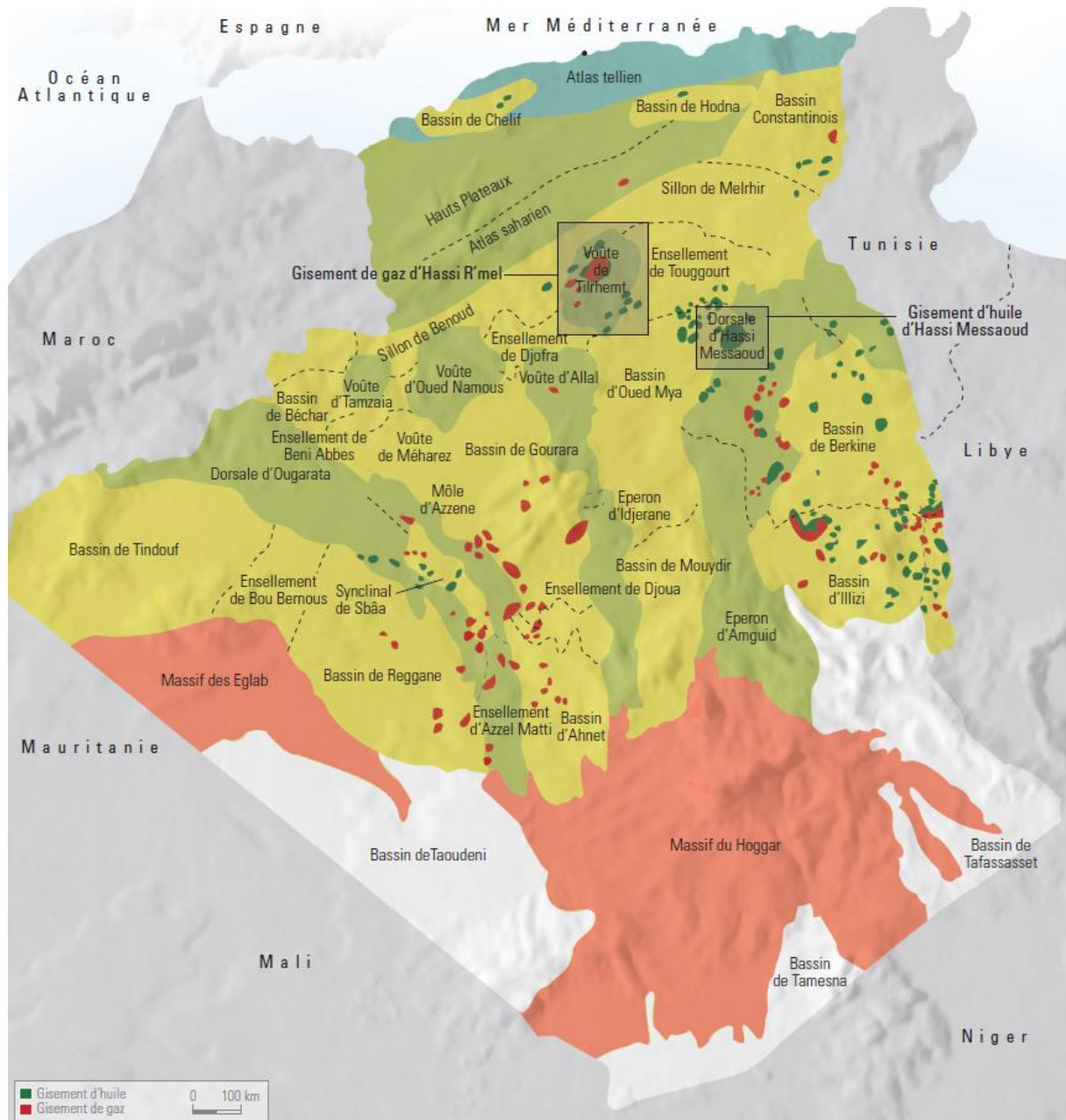
Les bassins les plus productifs d'hydrocarbures demeurent ceux de l'Oued Mya où se trouvent les gisements géants de Hassi Messaoud et de Hassi R'mel, et de Berkine où se trouvent les gisements d'Ourhoud et Hassi Berkine Sud.

Quant aux bassins du Sud-Ouest, ils constituent un pôle d'exploration gazière relativement important, ainsi que de développement tout aussi important avec la mise en production des gisements gaziers de la région d'In Salah, et de la région d'Adrar.

Plus de deux cents gisements sont aujourd'hui reconnus. Les réservoirs sont gréseux dans leur quasi-totalité et se trouvent essentiellement dans les niveaux du Cambro-Ordovicien, du Siluro-Dévonien, du Carbonifère et du Trias.

Les hydrocarbures produits sont très largement soutenus par des opérations de récupération assistée, tant par injection d'eau que par injection de gaz. [2]





**Figure 01 : Carte des bassins sédimentaires de l'Algérie [2]**

### **I.1.1.Champ Hassi Messaoud**

Le champ pétrolifère de Hassi Messaoud, situé dans le bassin de Berkine, province d'Ouargla, en Algérie, est reconnu comme étant le plus vaste gisement pétrolier d'Algérie et du continent africain. Sa découverte en 1956, la même année que celle de Hassi R'mel, qui constitue le plus important gisement de gaz d'Algérie et l'un des plus grands champs de gaz en Afrique, a été un facteur majeur incitant la France à maintenir sa présence en Algérie. La compagnie Sonatrach est le propriétaire et l'exploitant du champ. Les réserves prouvées de pétrole dans le champ de Hassi Messaoud s'élèvent à environ 6,4 milliards de barils (870×106 tonnes), tandis que la production quotidienne atteint 350 000 barils

Les réserves de pétrole du champ de Hassi Messaoud sont évaluées à 870 millions de tonnes de pétrole de grande qualité, avec un taux de récupération de seulement 20% du pétrole présent sur le champ, un chiffre qui dépasse les estimations de Sonatrach. Toutefois, une quantité comprise entre 4 et 5 milliards de barils de pétrole a déjà été extraite de ces gisements. Ces réserves représentent environ un tiers des réserves de pétrole du pays. [2]

Dans les années soixante-dix, la production a atteint un pic de 550 000 barils par jour, mais elle est descendue à 300 000 barils par jour en 1989 avant de remonter à environ 350 000 barils par jour. Sonatrach avait prévu d'augmenter la production à 700 000 barils par jour d'ici 2012. Cependant, ces ambitions n'ont pas été satisfaites, car la production a continué à décliner.

Tout comme le champ de Hassi R'mel, le champ de Hassi Messaoud joue un rôle central dans l'industrie pétrolière algérienne. Il constitue le point de départ de plusieurs oléoducs qui alimentent les raffineries et les terminaux d'exportation situés sur la côte, permettant le transport d'autres produits pétroliers à travers le pays. [2]

Depuis 1980, l'Algérie a émergé comme l'un des principaux exportateurs mondiaux de gaz naturel. Une caractéristique notable est sa capacité à mettre en place diverses installations de liquéfaction de gaz naturel, lui permettant ainsi de le commercialiser sous forme liquide et de le transporter via des méthaniers vers les marchés internationaux tels que les États-Unis et l'Europe. En parallèle à ce mode de transport, l'Algérie a également mis en place des gazoducs reliant directement Hassi-R'Mel à l'Europe. Actuellement, l'Algérie exploite le célèbre gazoduc transméditerranéen qui relie l'Algérie à l'Italie et à la Slovénie via la Tunisie. Grâce à ses vastes réserves en gaz naturel, l'Algérie se classe au quatrième rang mondial, détenant environ 10% des réserves mondiales. [3]

### **I.1.2. Champ de Hassi Rmel**

Hassi R'mel est située à une altitude de 760 m, à environ 550 km au sud d'Alger. Le climat de la région se caractérise par une faible pluviométrie d'environ 140 mm par an, avec une humidité moyenne de 19% en été et 34% en hiver. Les températures varient de -2°C en hiver à +45°C en été. Le champ de Hassi R'mel s'étend sur une vaste superficie de 3500 km<sup>2</sup>, avec des dimensions de 70 km de long sur 50 km de large.

Les réserves estimées en place dans ce champ dépassent les 2800 milliards de m<sup>3</sup>. Les études menées sur le gisement ont confirmé la présence de gaz, de condensat et de GPL (gaz de pétrole liquéfié). Les richesses initiales étaient de 200 g/m<sup>3</sup> pour le condensat et de 80 g/m<sup>3</sup> pour le

GPL. D'autres études ont également révélé la présence de pétrole brut tout autour du gisement, notamment dans les parties est et sud du champ. On peut ainsi parler de la présence d'un anneau d'huile (pétrole brut) [4]



Figure 02 : Situation géographique du champ de Hassi-Rmel

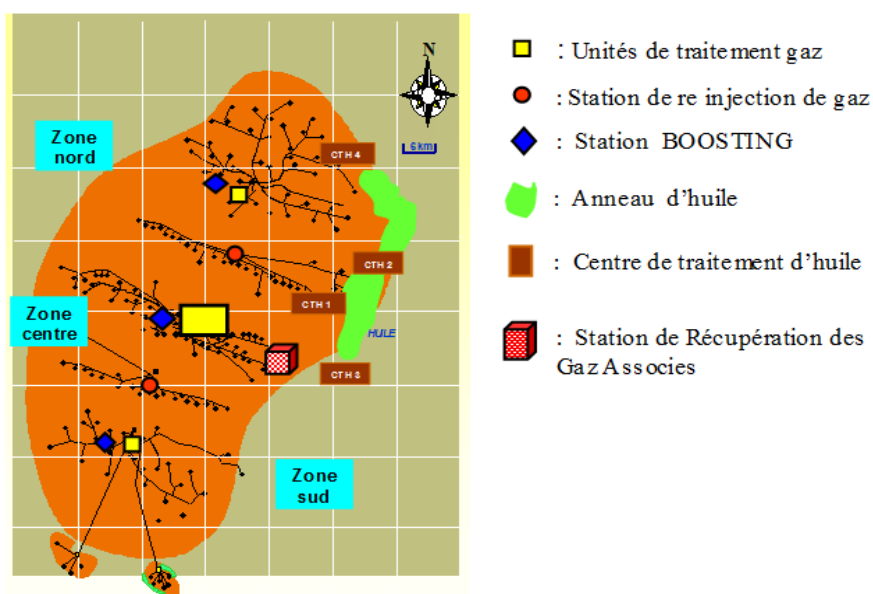
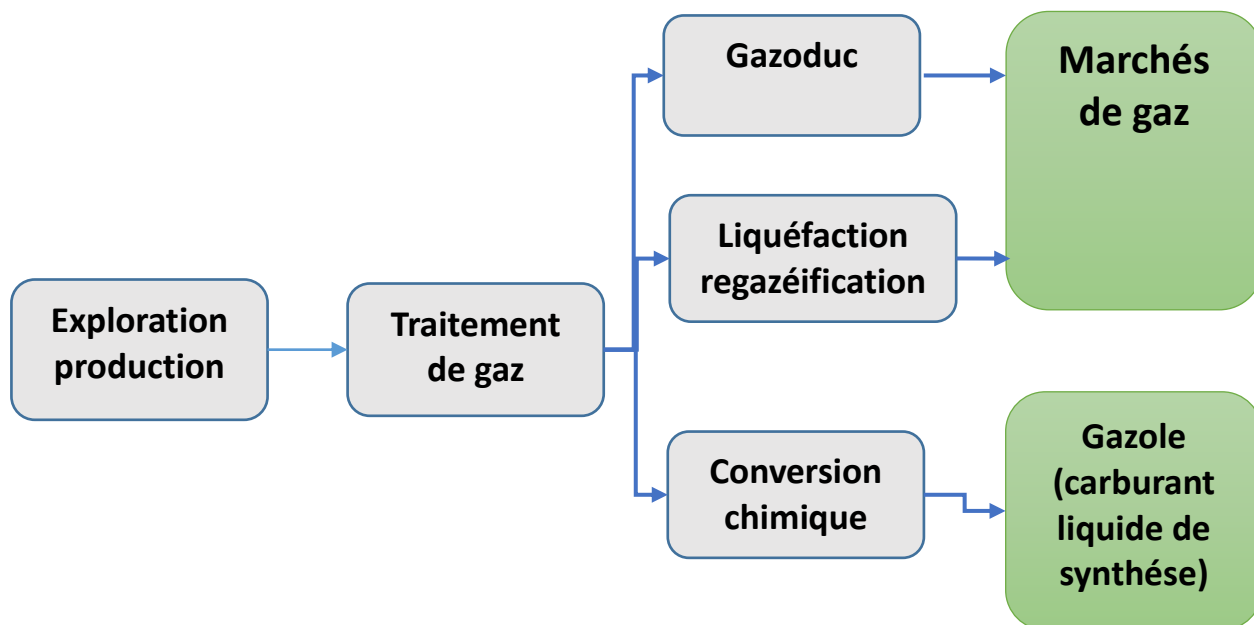


Figure 03 : Le champ de Hassi-R'mel



**Figure 04 : Organigramme représente La chaîne gazière**

Le développement de Hassi R'mel a été étroitement lié à l'essor de l'industrie gazière mondiale et aux importantes réserves contenues dans ce gisement. Avec plus de 2000 milliards de m<sup>3</sup> de réserves, ce gisement a constitué un atout majeur pour lancer une politique d'industrialisation gazière d'envergure pour le pays.

Initialement, le gaz et le pétrole se trouvaient à l'état brut, nécessitant des complexes de traitement qui ont connu un développement continu au cours de cette décennie. Le premier puits a été foré en 1952 à Berriane, puis le puits H-R1 a été foré en 1956 au sommet de l'anticlinal qui forme le gisement de Hassi R'mel. Ce puits a révélé la présence de gaz riche en condensat, avec une température de 90°C et une pression de 310 kg/cm<sup>2</sup>. [4]

Entre 1957 et 1960, sept puits ont été forés (H-R2, H-R3, H-R4, H-R5, H-R6, H-R7, H-R8, H-R9), mettant en évidence l'existence de trois réservoirs distincts :

- Réservoir A : Il s'étend sur l'ensemble du champ de Hassi R'mel, avec une épaisseur variant de 15 à 30 m.
- Réservoir B : Il est limité à la zone centrale et à la zone nord du champ, représentant environ 13% des réserves en place.
- Réservoir C : Il couvre la majeure partie du champ à l'exception de la zone sud. C'est le réservoir le plus épais des trois et le plus important en termes de volume

Le développement du champ de Hassi R'mel peut être divisé en trois étapes clés :

- a. Première étape : En 1961, une petite unité de traitement de gaz d'une capacité de 1,3 milliard de m<sup>3</sup> par an a été mise en place. Cette réalisation a coïncidé avec la construction de la première usine de liquéfaction de gaz entre 1964 et 1969, portant ainsi la capacité à 4 milliards de m<sup>3</sup> par an.
- b. Deuxième étape : Entre 1972 et 1974, six unités supplémentaires ont été mises en exploitation. Après la nationalisation des hydrocarbures en 1971, la capacité de traitement du champ de Hassi R'mel est passée à 14 milliards de m<sup>3</sup> par an.
- c. Troisième étape : Entre 1975 et 1980, une période marquée par la concrétisation d'un plan de développement global pour répondre aux besoins énergétiques du pays et de ses partenaires. Cette période a permis d'optimiser la récupération des différents produits et de doter Hassi R'mel d'un modèle d'exploitation efficace. Les réalisations comprenaient :
  - Une capacité de traitement portée à 94 milliards de m<sup>3</sup> par an.
  - La construction de 4 complexes de traitement d'une capacité de 20 milliards de m<sup>3</sup> chacun.
  - La mise en place de deux stations de réinjection de gaz, avec une capacité unitaire de 30 milliards de m<sup>3</sup> par an et une puissance unitaire de 600 000 CV.
  - Le forage de 150 puits producteurs et de 52 puits injecteurs.
  - La construction de réseaux de collecte de 1000 km à haute pression en entrée.[4]

D'autres réalisations ultérieures comprenaient :

- En 1985, la mise en service d'une unité de récupération des gaz torchés et de production de GPL pour les modules 0 et I (communs).
- Entre 1987 et 2000, la construction et la mise en service des centres de traitement du gaz de Djebel Bissa et HR-SUD.
- Entre 1981 et 1993, la construction et la mise en service de cinq centres de traitement d'huile.
- Entre 1995 et 1999, la mise en service des unités de déshydratation de gaz de Sbaa Adrar et In Salah.
- En 1999, la construction et la mise en service de l'usine de récupération des gaz associés provenant des centres de traitement d'huile.
- En 2000, la mise en œuvre du projet Boosting.

Le développement final du champ de Hassi R'mel a permis d'atteindre les capacités de

production suivantes :

- 100 milliards de m<sup>3</sup> de gaz par ans.
- Des milliards de tonnes de condensat par ans.
- 2,5 millions de tonnes de GPL par ans.
- 700 000 tonnes de pétrole brut par ans.[4]

Le tableau 01 donne des informations sur les capacités de production du champs de Hassi RMel

**Tableau 01 : Capacité de production de gaz naturel, condensât et GPL**

Produits	Modules : I, II, III, IV	Module 0	Djebel-bissa
Gaz (M m <sup>3</sup> /J)	60	30	5
Condensât (t/J)	1120	1500	360
GPL(t/J)	2400	300	/

#### **I.1.2.1. Les installations gazières du champ de Hassi R'mel:**

Les installations gazières à Hassi R'mel revêtent une grande importance dans le but de traiter le gaz naturel et de séparer les fractions liquides afin de les valoriser au mieux. Une partie du gaz est réinjectée tandis que l'autre est destinée à la vente. Les installation au Hassi Rmel pouvant être classer en 4 types :

- **I.1.2.2. Les modules :**

Il y a cinq modules sur le champ de Hassi R'mel, dont quatre ont une capacité unitaire de 60 millions de m<sup>3</sup>/j. Le cinquième module, appelé "module 0", a une capacité de 30 millions de m<sup>3</sup>/j. Un sixième module est présent pour le petit gisement de Djebel Bissa, avec une capacité modeste de 5 millions de m<sup>3</sup>/j. Les modules **I** et **0** disposent d'une unité complémentaire commune, appelée "communs". Les modules de traitement de gaz sont reliés au Centre de Stockage et de Transfert des Fluides (**CSTF**) pour le stockage des hydrocarbures liquides tels que le GPL et le condensat, ainsi qu'à deux stations de réinjection de gaz d'une capacité de 90 millions de m<sup>3</sup>/j chacune. Les installations comprennent 5 500 machines tournantes, 2 000 équipements statiques et 1 600 appareils d'instrumentation.[4]

- **I.1.2.3.Les stations de compression :**

Ces stations ont pour but de réinjecter le gaz sec traité dans le gisement afin de maintenir la pression et de récupérer le maximum de liquides. Il existe deux stations de compression, une au nord et une au sud, avec une capacité de 90 millions de m<sup>3</sup>/j chacune.

- **I.1.2.4.Le stockage et l'expédition des hydrocarbures liquides :**

Le condensat et le GPL produits par tous les modules sont acheminés vers le Centre de Stockage et de Transfert des Fluides (CSTF) situé dans la zone centrale de Hassi R'mel. Avant d'être expédiés vers SP4 puis vers Arzew, ils sont débarrassés de toute quantité d'eau résiduelle et comptabilisés. Le CSTF comprend trois bacs de 35 000 m<sup>3</sup> et quatre bacs de 45 000 m<sup>3</sup> chacun. Le stockage du GPL est réalisé en comprimant le gaz dans des sphères pour éviter les problèmes de vaporisation (boil off) dus à la température ambiante.[4]

- **I.1.2.5.Le Centre National de Dispatching de Gaz (CNDG) :**

Son rôle est de collecter toutes les quantités de gaz produites à Hassi R'mel ainsi que le gaz provenant de l'extrême sud via les gazoducs GR1 et GR2. Ces quantités sont ensuite distribuées vers les centres de consommation tels que les centres GNL, Sonelgaz, l'Italie via la Tunisie et l'Espagne via le Maroc (GME).[4]

- **I.1.2.6.La Station de Récupération des Gaz Associés (SRGA) :**

C'est une unité qui a commencé son activité le 18 avril 1999, avec une capacité de 4 millions de m<sup>3</sup>/j. Elle est équipée de quatre turbocompresseurs ayant une capacité unitaire de 1 million de m<sup>3</sup>/j.[4]

- **I.1.2.7.HR-Sud :**

Ce projet comporte une unité de traitement de gaz naturel, destiné à traiter le gaz brut pour obtenir du gaz sec et la récupération des hydrocarbures liquides .avec une unité de boosting pour la récupération des gaz associe de CTH sud

Le champ de Hassi R'mel met en œuvre 2 types de procédés de traitement de gaz dans les modules de Hassi R'mel :

- **I.1.2.8.Procédé Pritchard :**

Le gaz brut venant des puits à 140 bar et 65°C et refroidit à travers une série d'échangeurs gaz/gaz et de chillers au propane avant d'être détendu isenthalpiquement dans une vanne Joule Thomson jusqu'à 80 bar et -16°C. Les liquides récupérés dans les différents ballons séparateurs sont stabilisés dans le dééthaniseur puis fractionnées en condensât et en GPL dans le débutaniseur.

La particularité de ce procédé est l'apport externe de frigories, qui lui sont fournis par une boucle de propane. Ce procédé est utilisé dans les modules 0 et I. Deux cas de fonctionnement du procédé sont prévus :

a) Cas 140 bar : dans ce cas, la détente est de  $\Delta P = 60$  bar, seul les échangeurs gaz/gaz sont utilisés pour refroidir le gaz brut, la boucle de propane ne fonctionne qu'à 40 % de sa capacité nominale.

b) Cas 100 bar : dans ce cas de fonctionnement, la détente est réduite  $\Delta P = 20$  bar, le taux de d'utilisation de la boucle de propane sera porté à 100%. [4]

- **I.1.2.9. Procédé Hudson :**

Le gaz brut provenant des puits arrive au aux module traitement à 140 bar et 65°C, entré dans un diffuseur qui le répartie en trois charges, alimentant chacune un train. La capacité de production d'un train est de 20. 106 SM3 de gaz sec. Ce procédé est utilisé dans les modules II, III ,et IV

Ce procédé permet une grande flexibilité d'exploitation, la diminution de la pression du gisement et la variation de la pression du gaz impose une variété de cas de fonctionnement

a) Cas IIA : quand le Turbo-Expander est à l'arrêt pour des raisons de maintenance, l'effluent de gaz by-pass la turbine et passe à travers une vanne où il subit une détente isenthalpique par l'effet de Joule Thomson. Dans ces conditions d'exploitation la température obtenue en fin de détente de -22 °C.

b) Cas IA : ce cas de fonctionnement est caractérisé par l'utilisation du Turbo-Expander pour détendre le gaz et récupérer ainsi le maximum de fraction condensable. La température obtenue grâce à la détente isenthalpique à travers la turbine est de -33 °C

Le procédé Hudson et le plus performant son taux de récupération et de 70%, et 65% pour le procédé Pritchard. [4]

- **I.1.3. Transport de gaz :**

Dans l'ensemble, la corrosion est l'un des principaux défis auxquels fait face l'industrie du transport du gaz naturel. Lorsque les gazoducs sont corrodés, des dommages importants aux infrastructures peuvent survenir et entraîner des accidents graves. Par conséquent, les technologies anticorrosion jouent un rôle important dans l'augmentation de l'efficacité et de la sécurité dans le transport du gaz naturel .Les techniques anticorrosion dépendent de plusieurs facteurs, notamment le choix de matériaux appropriés pour les tuyaux, la conception et le fonctionnement des tuyaux de manière à minimiser la corrosion et l'application de méthodes d'inspection appropriées pour détecter la corrosion précoce. Parmi les techniques anticorrosion utilisées figurent le revêtement des tuyaux avec des matériaux résistants à la corrosion et l'ajout



de produits chimiques anticorrosifs au gaz.

L'accent devrait être mis sur l'amélioration des technologies anticorrosion afin d'assurer la sécurité du transport du gaz naturel. [5]

En ce qui concerne les moyens de transport du pétrole algérien, on sait que la distance de la plupart des gisements pétroliers produits en Algérie par rapport à la côte méditerranéenne joue un rôle majeur dans la grande importance accordée aux opérations de transport, en particulier pour le transport par oléoducs, qui est le seul moyen de transport du pétrole vers les ports d'Algérie, d'autant plus que le réseau de pipelines appartenant à des sociétés étrangères a atteint sa capacité maximale entre 1964 et 1965 à 26 millions de tonnes. S'il n'y avait que deux gazoducs principaux en Algérie à l'époque, la ligne Subig, elle a été créée par SVB et Senrepal à parts égales en 1959 pour relier le bassin de Hamra situé au nord-ouest du champ de Hassi Messaoud au port de Bejaia en Algérie avec un diamètre de 24 pouces, une longueur de 661 km, et une capacité annuelle de 17 millions de tonnes, et l'autre ligne est la ligne Trapsa. Il a été créé par la société Trapsa, filiale de Krebs en 1960, pour relier Ain Amenas dans le bassin de l'Illizi dans l'est de l'Algérie, où se trouvent les champs d'Ajila et de Razatine au port tunisien de l'ironie, de la même taille que le diamètre du tuyau précédent, d'une longueur de 255 km, et d'une capacité de 13 millions de tonnes par an.

Le cours des lignes de transport de pétrole s'applique également aux terminaux d'exportation de pétrole en Algérie, qui est un pays pétrolier, où il n'y avait que le port de Bejaia avant 1965, car c'est le premier port établi en Algérie à être utilisé comme estuaire pour l'oléoduc du bassin Hamra-Bejaia, et entré en service en 1959.[5]

### **I.1.3.1 Gazoducs d'exportation de gaz :**

L'Algérie dispose actuellement de 3 gazoducs pour exporter du gaz naturel: le premier est Galci, qui devrait être opérationnel bientôt, transportant du gaz de l'Algérie vers l'Italie, avec une capacité de 238 milliards de pieds cubes par an et une longueur de 534 miles. Le pays africain exporte également du gaz vers l'Espagne directement via le gazoduc Medgaz, d'une longueur de 125 milles et de 8 milliards de mètres cubes par an, qui est devenu opérationnel en 2011. En outre, le gazoduc transméditerranéen de l'Algérie, passant par la Tunisie, transporte du gaz vers l'Italie, avec le fait qu'il a commencé à fonctionner en 1983 avec une longueur de 1 025 miles et une capacité d'exportation de 1 340 milliards de pieds cubes par an. Un gazoduc transsaharien est proposé pour transporter du gaz du Nigeria via le Niger, vers l'Algérie, puis vers l'Europe via d'autres gazoducs, appartenant à l'Algérie. Le pipeline proposé a une capacité d'environ 1 059

milliards de pieds cubes par jour et une longueur de 2 602 milles. [6]



Figure 05 : Map of gas pipelines across Mediterranean and Sahara[6]

#### 1.4.Conclusion :

Le plus gros problème auquel est confronté le secteur du transport et du stockage de gaz est la corrosion, car elle entraîne de nombreuses pertes de matériaux et une détérioration de l'équipement. C'est ce dont nous parlerons dans le prochain chapitre.

**CHAPTER II:**

**CORROSION**

## **II.1 Introduction**

La maîtrise de la corrosion en ce qui concerne les équipements de l'industrie pétrolière et gazière est primordiale pour offrir une réponse adaptée aux besoins sociétaux en carburants et en composés chimiques de base. Afin d'assurer une fiabilité accrue dans sa production, l'industrie pétrolière a développé et optimisé des méthodes de suivi, contrôle et management de la corrosion. Également la planification des inspections fondée sur une approche par le risque a été largement implantée afin d'accroître la fiabilité et d'optimiser le ratio coût-efficacité (et coût-sécurité) pour la surveillance des installations

## **II.2. Theory de Corrosion :**

La corrosion est une réaction chimique ou électrochimique entre un matériau, généralement un métal, et son environnement qui entraîne une dégradation du matériau et de ses propriétés. Il existe trois types de corrosion : la corrosion chimique, la corrosion électrochimique et la corrosion bactérienne. [7]

On pourrait en conclure que la corrosion étant la manifestation de l'affinité chimique des métaux pour certains éléments constitue une branche de la chimie. Malheureusement ce concept purement chimique ne permet pas d'interpréter bien des phénomènes de corrosion qui font intervenir un certain nombre de facteurs présentant un caractère chimique, électrochimique, métallurgique, mécanique, et agissant souvent simultanément .[7]

La corrosion des métaux et de leurs alliages témoigne de leur tendance à revenir à leur état originel de minerais (oxydes, sulfures, carbonates, ...) sous l'action des agents atmosphériques.

Elle est fonction du couple substance corrosive / matériau et de l'environnement dans lequel se trouvent réunis ces deux éléments. par exemple, l'eau a un rôle très corrosif sur les aciers non inoxydables. Ce rôle est activé par certains sels minéraux et autres produits éventuellement contenus dans l'eau (l'eau de mer est plus corrosive que l'eau douce), mais aussi par la température, la présence d'oxygène; Les matériaux composites sont insensibles à la corrosion, mais de nombreux mécanismes d'altération des propriétés mécaniques peuvent néanmoins apparaître. Par exemple, dans les cas d'osmose des polyesters orthophtaliques ou après vieillissement hygrothermique de la résine époxyde. [7]

Le partenaire industriel utilise deux types de protections complémentaires pour protéger les canalisations en acier potentiellement soumises à l'action corrosive du milieu sol. Une protection passive (revêtement protecteur épais) et une protection active électrochimique (protection cathodique).

Les manifestations de la corrosion sont nombreuses et une description complète de ces

phénomènes nécessite de prendre en compte les caractéristiques structurales du matériau et la nature précise du couple matériau/milieu, sachant que les réactions vont se produire à l'interface entre le milieu ambiant et le métal. Il existe deux cas principaux qui peuvent conduire à des effets de décollement du revêtement protecteur, précurseurs de la corrosion. [7]

- L'existence d'un défaut physique macroscopique du revêtement qui met localement à nu le métal en contact direct avec le milieu extérieur (défauts apparus lors de la fabrication, de la pose ou de l'exploitation de la canalisation).
- La pénétration lente de la vapeur d'eau, de gaz corrosifs (oxygène, gaz carbonique) ou d'ions au travers du matériau (vieillessement physico-chimique du matériau) depuis la surface externe jusqu'à l'interface avec le métal.

### **II.2.1. Types de corrosion:**

Selon la nature de l'environnement et le comportement du métal, on peut définir le type de corrosion. En général, on peut résumer les différents processus de la corrosion comme suit:

- **II.2.1.1 Corrosion chimique (sèche):**

La corrosion chimique est l'érosion directe des métaux par l'environnement. Ce type de corrosion se produit dans des solutions non électrolytiques ou sous l'action de gaz (O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S et CO<sub>2</sub>). Lorsque le réactif est gazeux ou que cette corrosion se produit à haute température, on parle de : corrosion sèche ou corrosion à haute température [8,9].

L'attaque d'un métal par un autre métal liquide (Hg), un sel fondu ou une solution non aqueuse (Al dans CCl<sub>4</sub>) peut être considérée comme une corrosion chimique. Il est couramment rencontré dans les industries qui produisent ou utilisent des acides [10].



**Figure 06 : Corrosion chimique : Cuivre et acier noir dans une installation**

- **II.2.1.2. Corrosion électrochimique (humide):**

Les réactions électrochimiques sont des réactions redox avec transfert d'électrons.

Toute réaction redox consiste en deux réactions :

- Réactions d'oxydation :

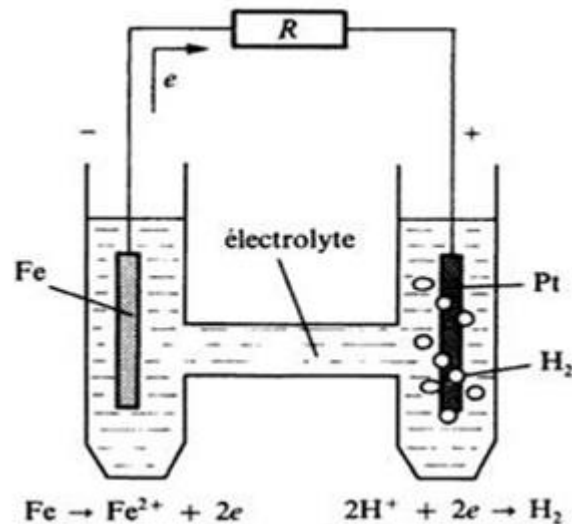
$M \rightarrow Mz^{+} + ze^{-}$  = réaction anodique, pôle (-), perte d'électron

- Réaction de réduction :

$Ox + ze^{-} \rightarrow Rouge$  = réaction cathodique, pôle (+), avec gain électronique

Les deux réactions se produisent simultanément, de sorte que le courant total est

Apparence vide : elle est encore réelle. appelé courant de corrosion. [11]

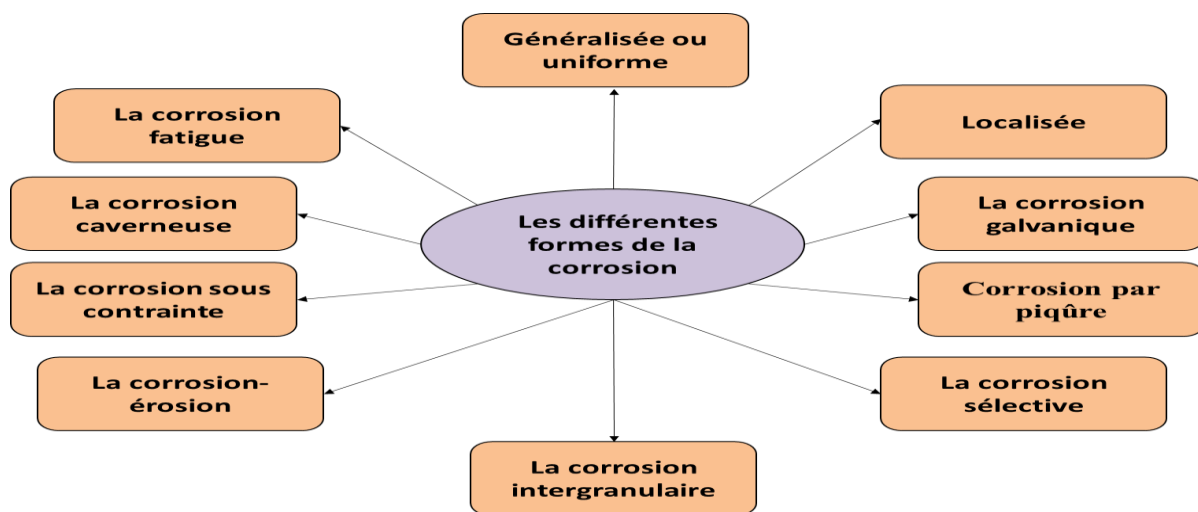


**Figure 07 : Pile de corrosion fer-platine en milieu acide, dissolution du fer et réduction des Protons sur le platine ;**

- **II.2.1.3. Corrosion biochimique (bactérienne):**

La corrosion bactérienne est due à la présence d'importantes colonies de bactéries dites anaérobies, qui se développent dans les eaux sulfatées. Actuellement, la lutte contre cette forme de corrosion est largement biologique et s'effectue par l'injection de produits antiseptiques dans le milieu corrosif. [10]

**II.2.1. Les différentes formes de la corrosion :**



**Figure 08 : Organigramme représente Les différentes formes de la corrosion**

### II.2.3. Les facteurs de la corrosion:

Les phénomènes de la corrosion dépendent d'un grand nombre de facteurs et ils peuvent être classés en quatre groupes principaux comme indique le Tableau 2.

**Tableau 2 : les différents types de corrosion**

Facteurs du milieu Corrosif	Facteurs Métallurgiques	Facteurs définissant mode d'emploi	Facteurs dépendant du temps
<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Concentration du réactif</b></li><li>• <b>Teneur en oxygène</b></li><li>• <b>pH du milieu</b></li><li>• <b>Température</b></li><li>• <b>Pression</b></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Composition de l'alliage</li><li>• Procédés d'élaboration</li><li>• Impuretés</li><li>• Traitement thermique</li><li>• Traitement mécanique</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Etat de surface</li><li>• Forme des pièces</li><li>• Emploi d'inhibiteur</li><li>• Procédés d'assemblage</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vieillissement</li><li>• Tensions mécaniques</li><li>• Modification Des Revêtements Protecteurs.</li></ul>

- **La vitesse de corrosion**

La vitesse de corrosion d'un métal en milieu corrosif dépend des caractéristiques de ces deux paramètres.

La température et le pH ont une influence directe sur la vitesse de corrosion et une influence indirecte via la phase aqueuse (condensat, eau de process). Les conditions d'écoulement, la formation de film sur la surface métallique et la pression sont directement influencées par la pression partielle de CO<sub>2</sub>. [12]



**Effet de la température:**

En général, une augmentation de la température accélère les phénomènes de corrosion car elle réduit le domaine de stabilité du métal et accélère la cinétique de réaction et de transport. Cependant, l'importance de son effet varie en fonction de l'environnement corrosif dans lequel le matériau est placé.. [12]

**Effet de l'acidité :**

L'influence du pH de l'électrolyte environnant sur la susceptibilité d'un matériau à la corrosion est un sujet d'intérêt dans le domaine académique et scientifique. Lorsque le pH de la solution augmente, la concentration de protons diminue, réduisant ainsi l'agressivité du milieu. Cette diminution du pH a des répercussions sur les équilibres des réactions chimiques et électrochimiques, entraînant une intensification de la corrosion. Ainsi, la diminution du pH du milieu est associée à une augmentation de la corrosion.

**Régime hydrodynamique :**

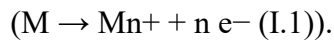
L'influence de la dynamique de transport des réactifs vers l'interface et des produits de réaction vers l'électrolyte sur la cinétique des réactions électrochimiques est notable, car elle provoque des modifications dans la concentration des espèces et, par conséquent, dans le potentiel d'équilibre. Les conditions hydrodynamiques jouent un rôle clé dans la régulation des vitesses de réaction en contrôlant le mouvement des substances à travers la formation d'une couche limite de diffusion, connue sous le nom de couche de Nernst. C'est pourquoi l'agitation de l'électrolyte revêt une importance cruciale lors des expériences de corrosion en laboratoire. [12]

**La salinité :**

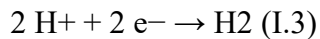
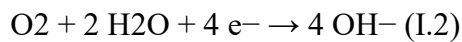
Les ions chlorures sont connus pour leur nature réactive qui peut entraîner des phénomènes de corrosion localisée. En solution, leur présence génère des effets supplémentaires. Premièrement, leur concentration dans un milieu donné entraîne une acidification de l'environnement. Deuxièmement, la salinité a un impact sur la conductivité de la solution aqueuse. [12]

**I.2.4.Mécanismes de la corrosion**

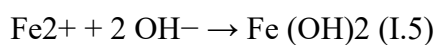
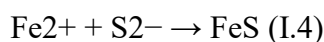
Le phénomène de corrosion des métaux en milieu aqueux est de nature électrochimique. Ce processus est principalement basé sur la présence d'une différence de potentiel entre deux composants d'une micropile, ce qui entraîne une perturbation de l'équilibre d'oxydo-réduction, également connue sous le nom d'effet de micropile. Cette différence de potentiel peut être due à une hétérogénéité du métal ainsi qu'à une variation de l'aération. Deux réactions d'oxydo-réduction simultanées sont responsables de cet effet de micropile : la réaction anodique, qui correspond à l'oxydation du métal en une espèce soluble



A l'inverse, la réaction cathodique (I.2) correspond à la réduction d'une espèce de ce milieu naturel, il s'agit de l'oxygène dissous s'il est présent, Où les ions d'hydrogène provenant de la dissociation électrolytique dans les milieux désaérés selon la réaction (I.3) :



Ces deux réactions (I.2) et (I.3) sont dites réactions de réduction ou cathodiques. Les ions métalliques réagissent avec d'autres ions présents dans le milieu aqueux (l'ion sulfure  $S^{2-}$ , réaction d'oxydation (I.4), l'ion hydroxyde  $OH^-$ , réaction d'oxydation (I.5)...) formant ainsi les produits de corrosion (les hydroxydes de fer, sulfure de fer...).



Ces deux réactions (I.4) et (I.5) sont dites réactions d'oxydation ou anodiques. Ces produits se déposent sur la surface anodique et la polarisent (formant un protecteur): c'est ce qu'on appelle la polarisation anodique [13].

### **II.3. Les méthodes de protection contre la corrosion**

La prévention de la corrosion requiert une attention continue, de la conception initiale des équipements à leur maintenance quotidienne. Bien que les méthodes à appliquer puissent varier en fonction des conditions d'utilisation spécifiques, l'objectif principal est d'entraver la détérioration des équipements afin d'en prolonger la durée de vie. Diverses approches sont utilisées pour lutter contre la corrosion, parmi lesquelles :

- La protection électrochimique
- Protection par revêtements
- Protection par des inhibiteurs
- Prévention par une forme adaptée des pièces
- Prévention par le choix du matériau [14].

#### **II.3.1. Protection passive**

L'objectif de la protection de la surface extérieure d'une conduite métallique au moyen d'un revêtement approprié est de créer une barrière qui isole la conduite de son environnement. Cependant, il convient de souligner que ce type de revêtement ne peut offrir une protection absolue et permanente en raison des défauts pouvant survenir lors de l'installation ou au cours de la durée de vie de l'infrastructure. Afin d'assurer son efficacité, le revêtement appliqué doit

respecter certaines spécifications, telles que l'adhérence, une résistance adéquate aux impacts, une isolation électrique efficace et une stabilité chimique durable. [15]

### II.3.1.1. Revêtement organique

La technologie de peinture par poudrage existe depuis de nombreuses années, mais elle a connu un regain d'intérêt compte tenu des préoccupations environnementales actuelles. Ces peintures ne relarguent pas de composés organiques volatiles, comme les peintures solvants. Les peintures poudres sont majoritairement utilisées sur des subjectiles métalliques. Cependant, de nouvelles technologies permettent l'application sur des supports tels que le verre, le bois, les composites, les matières plastiques [7].

Les peintures poudres sont fabriquées en plusieurs étapes. Après un prémélange des constituants (résine, durcisseur, additifs), une extrusion à chaud conduit à un solide homogène. Celui-ci est ensuite broyé à la granulométrie souhaitée. Les FBE, acronyme issu du terme anglais « Fusion Bonded Epoxy » ont été introduits comme revêtement protecteurs des pipelines de gaz ou de pétrole dans les débuts des années 1960. Ce sont des thermo-durs qui réticulent à haute température.

Deux principaux types de systèmes sont présents sur le réseau de pipelines : les revêtements polyoléfinés tri-couches, qui sont largement plébiscités dans le monde entier à l'exception de l'Amérique du Nord, où les systèmes monocouches prédominent. Dans les systèmes monocouches, l'épaisseur du FBE varie classiquement entre 400 et 800  $\mu\text{m}$ . Les deux inconvénients majeurs de ces systèmes sont leurs faibles tenues mécaniques et les températures maximales de service qui sont souvent limitées à 65°C. Pour pallier à la faiblesse mécanique, des nouveaux systèmes sont développés, on parle de «FBE dual layer», mais leur résistance mécanique restent inférieure à celles des systèmes tri-couches [7].

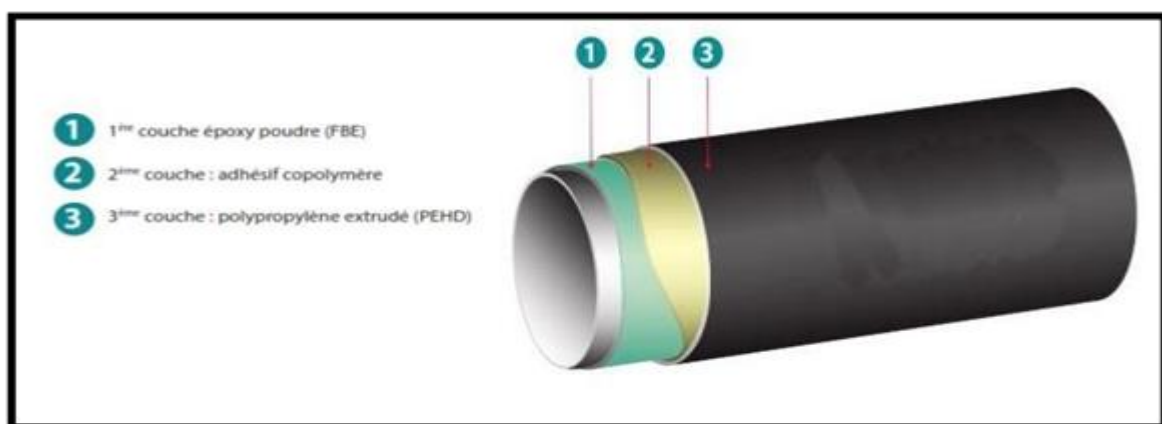


Figure 09 : Image illustrative du revêtement du tube extérieur par système tri-couche

L'application industrielle exige des poudres qui réticulent vite, notamment pour les tubes de faible diamètre. La viscosité à l'état fondu de la poudre est donc un paramètre important pour la bonne mouillabilité du substrat par l'adhésif, et une bonne adhésion de l'assemblage. A haute température, deux effets antagonistes sont observés, la viscosité de la peinture diminue, par contre le processus de réticulation est accéléré. Par ailleurs, pour une bonne adhésion entre le primaire époxy et la couche d'adhésif, le primaire ne doit pas être complètement réticulé de manière à favoriser l'interpénétration des chaînes, tout en étant suffisamment rigide pour supporter l'extrusion de l'adhésif. Ainsi, pour ce type d'application, les peintures poudres sont formulées de manière à réticuler dans une fenêtre de temps bien déterminée (< 1 minute). Pour chaque chimie d'époxy, le temps de gel de la peinture poudre est un paramètre, que l'on peut ajuster en modifiant les proportions de durcisseur dans la formulation ou par addition d'accélérateurs [7].

La machine époxy sert au revêtement intérieur de tubes en aciers machine époxy est constituée de

- Pompe pour : peinture durcisseur.
- Deux bacs d'alimentation : Bleu=époxy, rouge=durcisseur
- Pompe de rinçage.
- Pistolet airales A la fin de l'opération de revêtement, les tubes sont séchés par soufflante.

[7]

#### **II.3.1.1.1. Application du Revêtement au tube en acier**

Il existe deux types de revêtement de tube en acier : revêtement extérieur et revêtement intérieur.

- Revêtement extérieur :

l'unité de revêtement extérieur fait le revêtement de tubes extérieurement par le polyéthylène et intérieurement par la peinture. L'opération en général peut être décrite par les étapes suivantes :

- Séchage.
- Grenailage extérieur.
- Chauffage par induction.
- Revêtement de tube en PE.
- Tunnel de refroidissement.
- Cut-back d'extrémité.
- Bosseuse d'extrémité
- Contrôle électrique de défaut de revêtement.

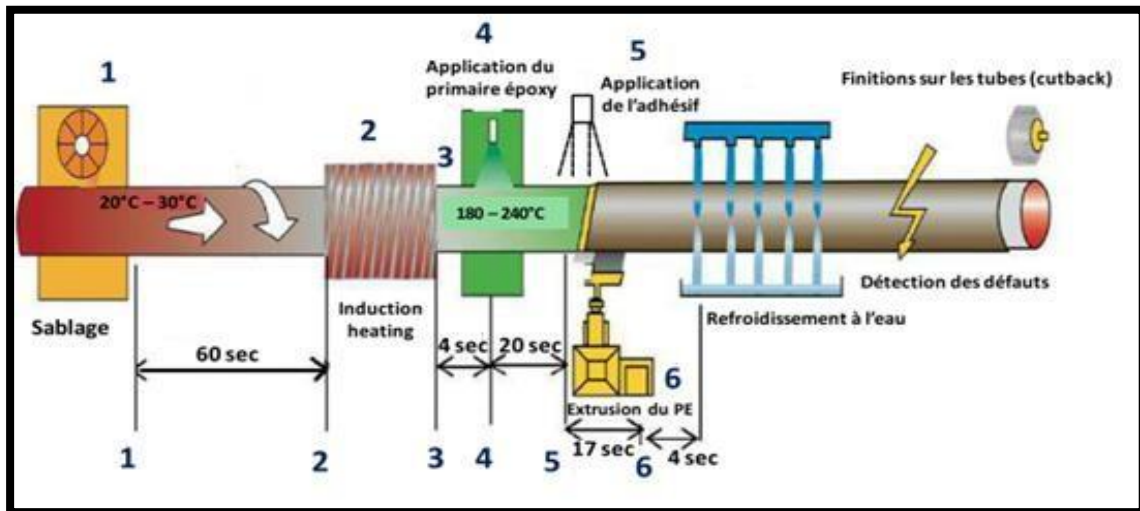


Figure 10 : Processus du revêtement extérieur du tube en PE tri couches

- Le revêtement intérieur

L'unité de revêtement intérieur applique les étapes suivant sur le tube :

- Le rinçage des tubes présentant des parties graisseuses et huileuses avec un jet d'eau chaude à haute pression.
- Séchage des tubes rincés ou humides par un bruleur à gaz.
- Grenailage par jet d'acier pour enlever la calamine et l'oxyde et l'oxyde de fer.
- Revêtement des tubes par projection de peinture avec pompe RS, ceci pour faciliter l'encollement surtout quand ils sont utilisés le gaz et les fluides et les préserver contre la corrosion.
- Contrôle final dans labo chimie.
  - o Le séchage se fait par annulaire monté entre 2 convoyeurs à rouleaux est le gaz d'une puissance de 800 thermies.
  - o Le four est contrôlé par armoire de commande disposant d'un régulateur de température qui agit sur des vannes d'arrêt à gaz liés à 4 brûleurs.
  - o La sonde gaine "LG 150 " est utilisée pour détecter la température du four.

o L'intérêt du séchage est d'éliminer l'humidité qui est néfaste pour l'opération de grenailage. [9]

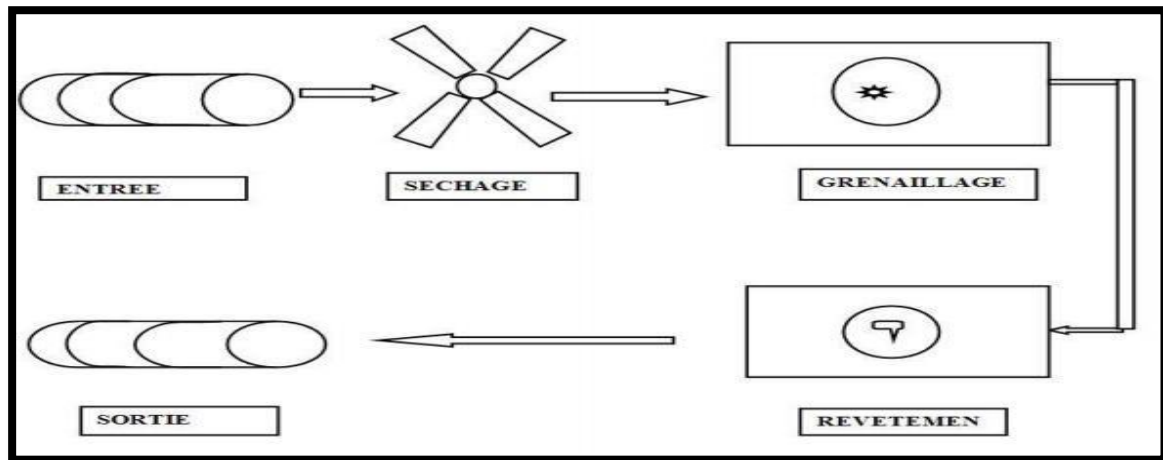
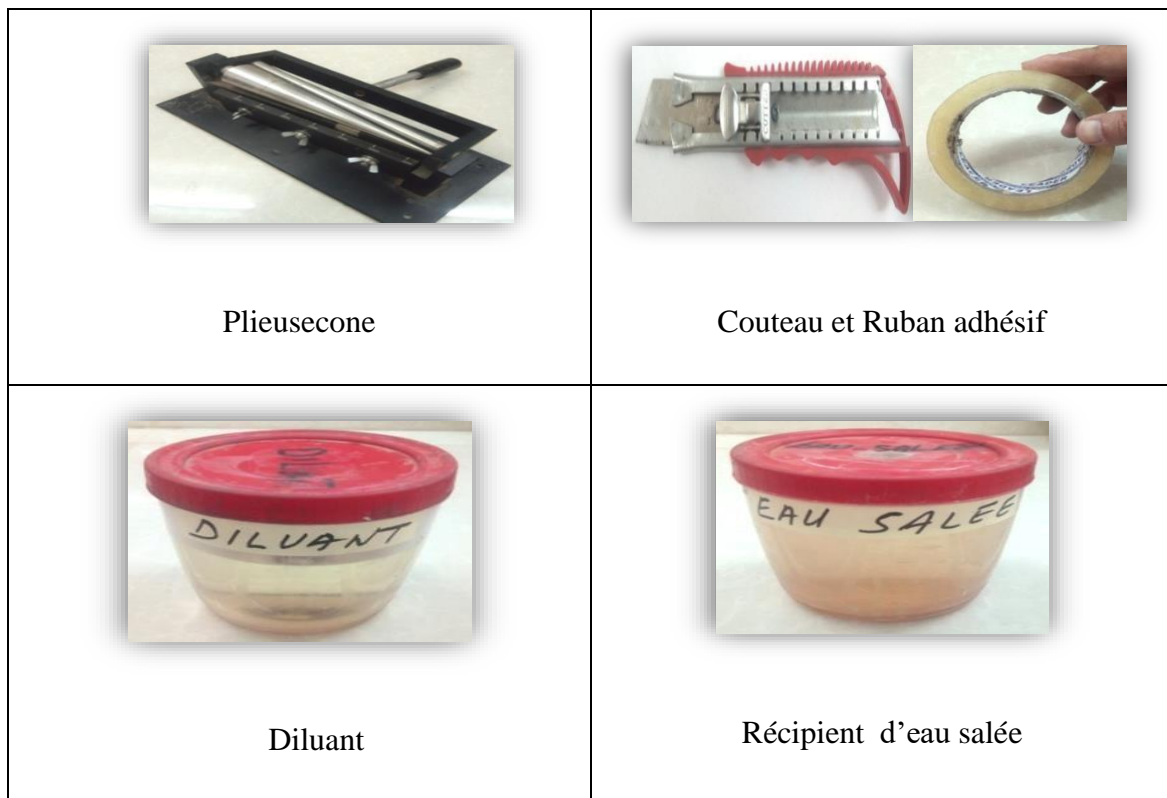


Figure 11 : Processus de revêtement intérieur du tube

### II.3.1.1.2. Essai de contrôle de qualité de revêtement

Le tableau III.1 représente les différents équipements et produits utilisés dans les essais de production et de revêtement du tube.

 <p>Etuve (température entre 66°C et 79°C).</p>	 <p>Etuve (température 149±6°C).</p>
 <p>Thermomètre</p>	 <p>Testeur d'épaisseur de revêtement</p>



**Figure 12 : différents équipements utiliser dans les méthodes d'analyse**

- Test de trous d'épingle :
- Nous observons l'échantillon de verre avant et après le durcissement,
- Poser le panneau de verre sur une fente dans un récipient contenant une ampoule de 100 watts, l'ampoule étant à une distance comprise entre 4 et 5 pouces (100 et 130 mm) du panneau de verre revêtu.
- Test d'épaisseur :
- À l'aide d'un micro test, Nous mesurons l'échantillon non peint, puis nous l'emballons et mesurons la plaque traitée durci au même endroit pour l'épaisseur de l'échantillon plus revêtement.
- La différence entre les deux est l'épaisseur du revêtement.
- 
- Test d'adhérence :
- Dans une zone du panneau d'au moins 13 mm à l'extrémité, À l'aide d'un cutter, nous coupons le revêtement sur le métal avec des lignes transversales (de 16x16 à 90° espacées sur 26mm).
- Les coupes produiront donc 225 carrés de revêtement attachés au métal chacun d'environ

1,6 mm de côté.

- Nous mettons un ruban en plastique transparent de 25 mm de large et pressons fermement avec le pouce pour donner une couleur uniforme à la zone de contact, nous retirons le ruban immédiatement.

- Test de pelage :

Le panneau doit être placé sur une surface plane avec la face revêtue vers le haut, une lame tranchante à 60 ° par rapport à la surface doit être poussée pour enlever le revêtement (lame a une tendance pour élever le revêtement)

- Test de Pliage :

Nous plions la plaque revêtue à 180 ° sur un mandrin rond d'un diamètre de 13 mm et plus

- Test d'immersion dans le diluant :

Immerger le panneau métallique dans le diluant de la peinture pendant 4 heures à température de la chambre

- Test d'immersion dans l'eau salée :

Immerger le panneau métallique dans l'eau fraîche ou une solution aqueuse contenant (en poids) 1% de chlorure de sodium, 1% de sulfate de sodium et 1% de carbonate de sodium pendant 4 heures à température de la chambre. [7]

### **II.3.1.1. Revêtement inorganique**

Le revêtement inorganique est une revêtement des métaux avec une couche de porcelaine ou de verre pour les protéger de la corrosion en fusionnant le métal à la surface métallique.

\*Les revêtements métalliques et inorganiques sont des revêtements courants pour le contrôle de la corrosion, le choix du type de revêtement dépend de chaque milieu corrosif, de la méthode d'application et du type de métal à revêtir, ainsi que du type de liaison entre le métal de revêtement et le revêtement lui-même.



### **II.3.2. Protection active**

Dans ce type de protection on peut définir 2 types important come indique le schéma de dessous

#### **•Protection anodique :**

La protection anodique est couramment utilisée dans le contexte de matériaux passifs ou passivables. Son objectif est de réduire la vitesse de dissolution du métal en modifiant le potentiel de corrosion mixte du spécimen, afin qu'il atteigne le potentiel réversible de la réaction anodique. Dans cette condition, une corrosion à faible vitesse se produit, mais elle est considérée acceptable car elle est uniforme. Le passage de l'état passif à l'état actif se manifeste par une diminution significative de la densité de courant, atteignant une valeur très faible. Cette caractéristique est largement exploitée dans l'industrie, où le maintien d'un métal dans sa plage de passivité est appelé protection anodique.[16]

#### **•Protection cathodique :**

La protection cathodique est une méthode utilisée dans le domaine de la corrosion pour préserver les métaux de l'oxydation. Elle implique l'utilisation d'une anode placée dans le même milieu électrolytique que le métal à protéger. Ce processus vise à modifier le potentiel électrique de la surface métallique afin de la rendre cathodique au sein d'une cellule électrochimique. La protection cathodique est couramment employée pour prévenir la corrosion des structures métalliques, en particulier celles composées d'acier.[16]

#### **Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons discuté de tout ce qui concerne la corrosion et dans le chapitre suivant, nous verrons la protection cathodique en détail.

**CHAPTER III :**

**Protection  
Cathodique**

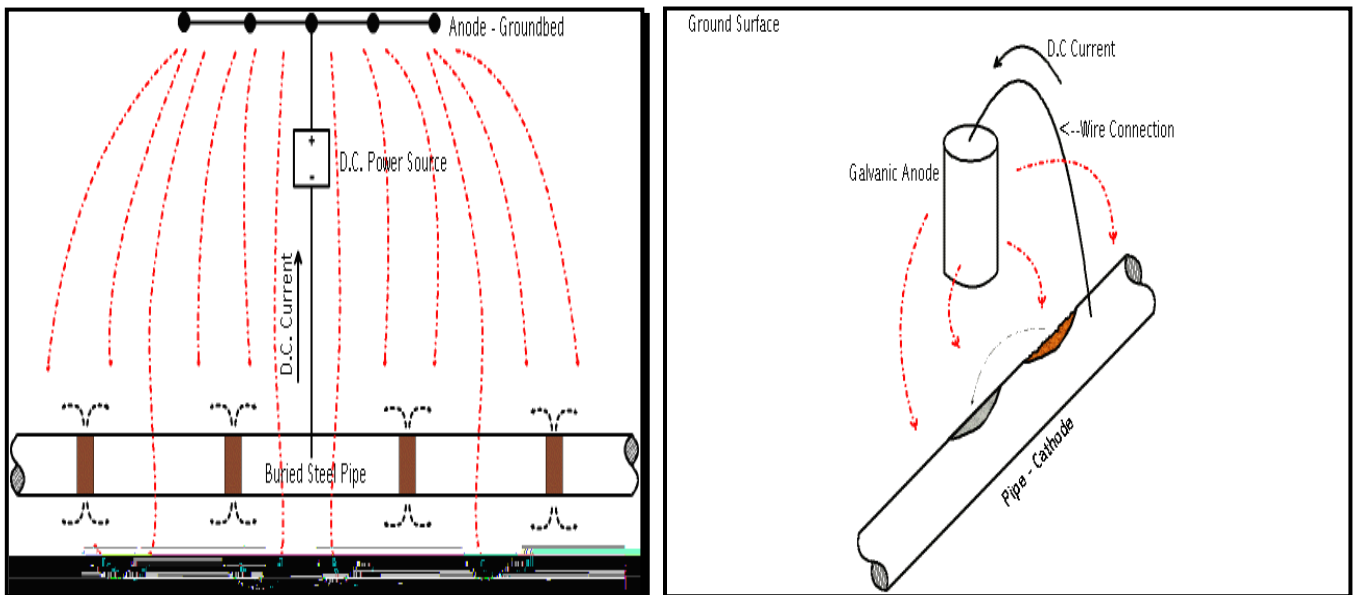
### **III.1.Introduction**

L'impact ou les conséquences de la corrosion sur le bien-être économique et technologique des industries et des pays du monde entier sont très difficiles. Par exemple, le coût direct de la corrosion en Inde en 2011-2012 était de 26,1 milliards de dollars, soit 2,4 % du PIB indien. La corrosion évitable a coûté 9,3 milliards de dollars, soit 35 % du coût direct de la corrosion, et coûté 39,8 milliards de dollars, soit 3,6 % du PIB de l'Inde. Aux États-Unis seulement, de nombreuses études gouvernementales indiquent que le coût annuel des pertes par corrosion dépasse 276 milliards de dollars. En fait, selon une étude récente de la NACE, le coût total a été estimé à 2 500 milliards de dollars, soit 3,4 % du PIB mondial (2013). En utilisant les pratiques de contrôle de la corrosion existantes. Des économies estimées de 15 à 35 % des coûts de corrosion peuvent être réalisées ; IE. Globalement 37,5 milliards de dollars à 875 milliards de dollars par an. [17]

Ce coût énorme n'est pas inattendu puisque la corrosion se produit à des degrés divers partout où des métaux et d'autres matériaux sont utilisés. Cependant, la science et la technologie disponibles aujourd'hui empêchent une grande partie de la perte par corrosion des infrastructures. La protection cathodique est une méthode utilisée pour prévenir ou contrôler la corrosion, un moyen électrochimique de contrôle de la corrosion dans lequel la réaction d'oxydation dans une cellule primaire est concentrée à l'anode et la corrosion est éliminée de la cathode dans la même cellule. Ceci est accompli en plaçant le métal le plus facilement corrodable comme anode de la cellule électrochimique en contact avec le métal à protéger. Sir **Humphrey Davy** a utilisé la technique pour la première fois en 1824 et l'a décrite dans une série d'articles soumis à la Royal Society of London..[17]

### III.2. Le principe de protection cathodique et ses application :

La protection cathodique est une méthode de lutte contre la corrosion (inhibiteur de corrosion) comme expliqué précédemment, et c'est l'un des moyens de changer la tension du milieu corrosif et la protection cathodique vise à former un circuit électrique, qui vise à convertir la surface à protéger en cathode et ainsi être dans la position de gagner des électrons toujours et de ne pas perdre d'électrons et le courant est considéré (Imprimé Curent) et les anodes sacrificielles (Anodes sacrificielles) sont les deux méthodes de base de la protection cathodique, qui seront expliquées en détail plus loin [18]



**Figure 13 : Les méthodes du courant de remise et les vaisseaux sacrificiels**

Avant d'aborder les applications de la protection cathodique, il est nécessaire de connaître plusieurs termes, qui sont la soi-disant (Protection générale et complète), dans le cas de la prise de mesures de la tension des tuyaux tous les kilomètres ou un demi-mile de leurs longueurs, si les mesures ne sont pas inférieures à (0,85) volts, on peut dire que les tuyaux ont une protection générale (Protection Générale), mais cela ne signifie pas qu'ils ont une protection complète, ceux-ci ne sont atteints que lorsque la tension de chaque point de la

surface du tuyau est au niveau requis, car il est Il faut savoir qu'il existe deux types de sols, à savoir les sols homogènes Et un sol hétérogène (sol non homogène) dans un sol ou une eau homogène peut être confirmé qu'il existe une protection complète sur le tuyau s'il est disponible protection générale parce que la tension du tuyau dans ces deux environnements s'estompe doucement avec la distance de la station de protection et donc si le niveau de protection requis est disponible en deux points le long du tuyau, il est clair qu'il y a une protection suffisante en chaque point de la surface du tuyau, mais dans un sol hétérogène ne peut pas être confirmé en raison de la présence du phénomène de blocage du courant ( Voile de courant) pour les lignes à certains endroits, ce qui rend la tension du tuyau inférieure au niveau de protection complète et que l'augmentation du courant dans les stations adjacentes à ce site ne changera rien, de sorte que l'application de la protection cathodique à un pipeline dans un sol homogène ou dans l'eau ne pose pas de difficulté, mais il est très difficile de l'appliquer dans les terres désertiques et rocheuses (sol hétérogène), surtout s'il y a plusieurs tuyaux parallèles et que leur état est inégal. [18]

### III.3. Méthodes de protection cathodique :

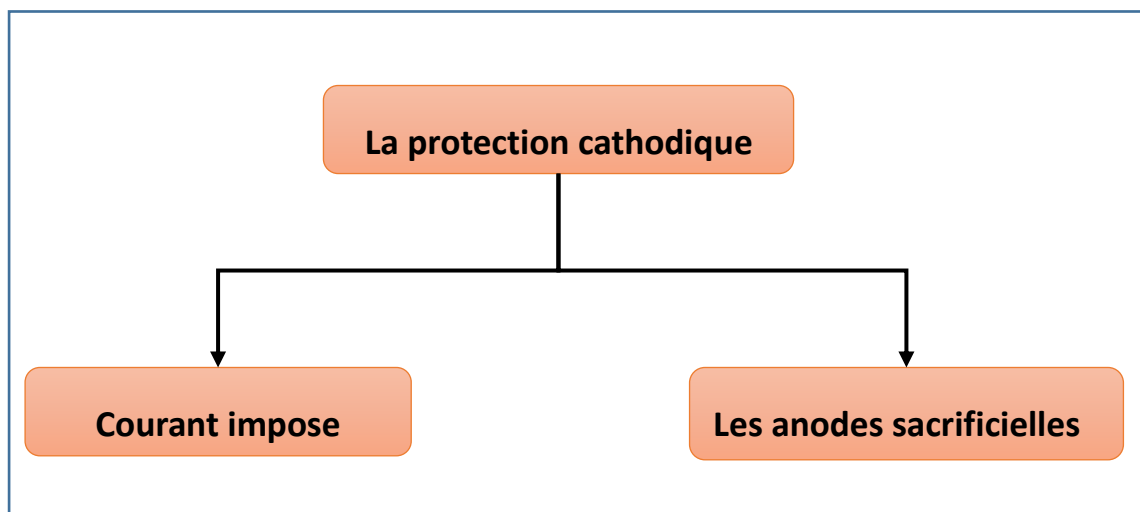
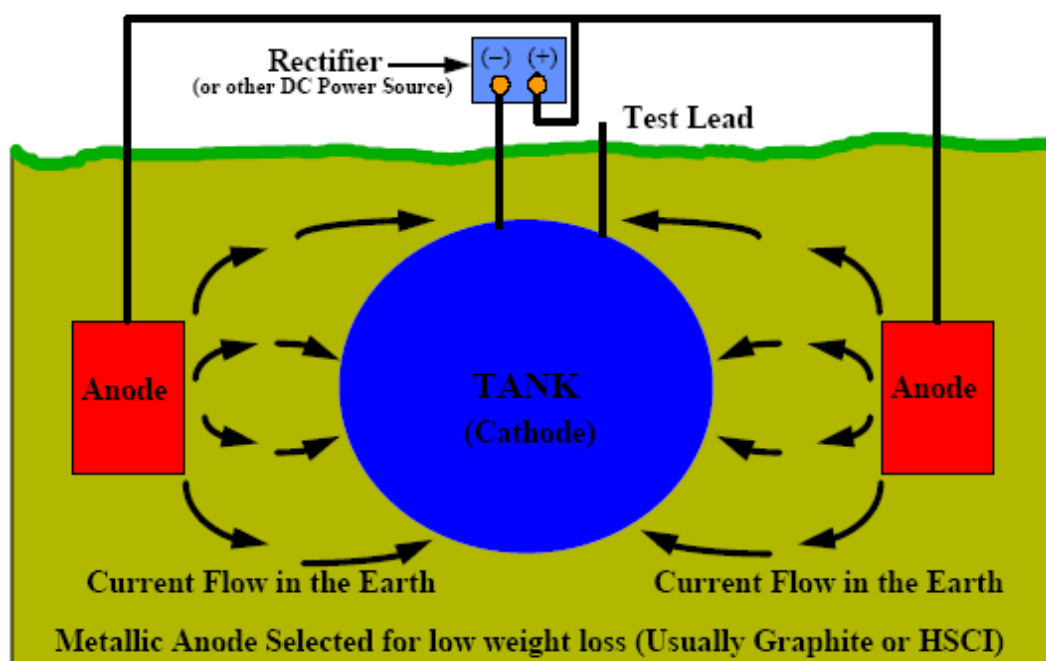


Figure 14 : Organigramme représente Méthodes de protection cathodique

### III.4. Courant impose :



**Figure 15 : le system de current imposer dans la protection cathodique**

Cette méthode dépend de la présence d'une source de courant continu (obtenue en convertissant la source AC en courant continu à travers le (Transformer Rectifier) de sorte que le corps du métal à protéger soit connecté à la borne négative de la source de courant et que la borne positive soit connectée au lit de terre. Il est en fer de silicium et loin de la source de courant dans la plage de 100-150 mètres et la protection cathodique du type de courant est utilisée en cas de nécessité de protéger les pipelines et les bases des réservoirs avec de grandes surfaces qui Il nécessite un courant de protection élevé pendant de longues périodes s'étendant sur la durée de vie des installations dans lesquelles il retourne (20 ans et plus), et ces systèmes ont la possibilité de contrôler la protection et la surveillance continue. Les ustensiles couramment utilisés sont les pots en fer silicium Fe-Si, qui ont un taux de consommation de 0,1 à 0,5 kg / ampère / an et il existe également des ustensiles de type graphite entourés de poudre grossière de coke de coke et ainsi agrandir la taille de l'anode et diminuer en conséquence sa résistance au sol, qui a une consommation de 0,1 à 2 kg / ampère / an et ne peut pas charger d'anodes de graphite de plus de (3,5) ampères car cela accélère sa corrosion. [18]

### **Avantages de cette méthode**

- 1- Les utiliser dans des projets ou des applications avec une grande surface et sont moins coûteux que la méthode des vaisseaux sacrificiels dans ce cas.
- 2- Tant que la source électrique est présente, le système est efficace et a donc une durée de vie supérieure à la méthode de sacrifice d'olinide
- 3- La capacité de résister à une densité de courant élevée sur la surface métallique.
- 4- Haute capacité de conductivité électrique.

### **Inconvénients de cette méthode :**

- 1- Besoins d'entretien
- 2- Difficulté à obtenir une source de courant continu dans certains cas

### **III.5. Anode sacrificielle :**

Lorsque des structures métalliques sont soumises à la corrosion, que celle-ci prenne la forme de formes à dissolution lente ou de formes plus localisées (piqûres, ulcérations), ces évolutions peuvent être prévenues en associant à ces structures des anodes sacrificielles fortement électro-négatives, selon le courant, Elles délivreront rendra le potentiel moyen des couples corrosifs plus négatif, les amenant dans le domaine immunitaire. Les propriétés primordiales d'une anode sacrificielle, quelle que soit sa nature, sont :

— Degré d'électro-négativité mesuré avec une électrode de référence dans l'environnement d'utilisation :

- vide .

- Sous charge (par exemple à une densité d'anode de  $100 \text{ mA} \cdot \text{dm}^{-2}$ )

- leur résistance à la passivation dans les conditions d'utilisation : il faut garder à l'esprit que ces électrodes auxiliaires seront utilisées à l'état anodique pendant toute la durée d'utilisation ;

- leurs capacités sont exprimées en Ah/kg : cette valeur permet le calcul de leur durée de vie .

- la mesure dans laquelle ils ne sont pas nocifs pour le milieu environnant (dissolution lente des composants de l'anode et leur dispersion) ou pour le fonctionnement (dégagement

gazeux en cours de fonctionnement). [19]

### **III.5.1. Caractéristiques des anodes à base de magnésium :**

L'alliage le plus courant est le G-A6Z3. Les impuretés doivent être réduites à une valeur maximale : 0,003 % pour Fe ; 0,005 % pour le cuivre ; 0,1 % pour Si et 0,15-0,3 % pour Mn.

Pour certaines applications (réservoirs de stockage susceptibles de recevoir régulièrement des hydrocarbures blancs), la teneur en zinc a été réduite à moins de 0,1 % (G-A6M).

L'alliage G-A6U2 a un certain effet antisalissure. Mais les rendements de ces alliages dépendent du support, sont variables et doivent être spécifiés par le fabricant.

Pour les projets, les paramètres suivants sont pris :

- Décharge/(Ag/AgCl) : - 1,4 V (eau de mer) ;
- Capacité : 1 400 Ah/kg ;
- Consommation : 8 kg/(A·an) ;
- Densité : 1,9.

On voit que l'électrode positive en alliage à base de magnésium et la structure métallique à protéger constitueront une batterie à forte force électromotrice. A première vue, cela donne à ces anodes une plus grande plage de protection, mais les métaux de base peuvent avoir trois effets qui ne sont pas observés dans la même mesure avec d'autres types d'anodes :

- Cloquage potentiel du revêtement associé à proximité de l'anode.
- dégagement d'hydrogène relativement élevé ;
- S'enflamme spontanément en cas de chute sur une surface fortement oxydée.

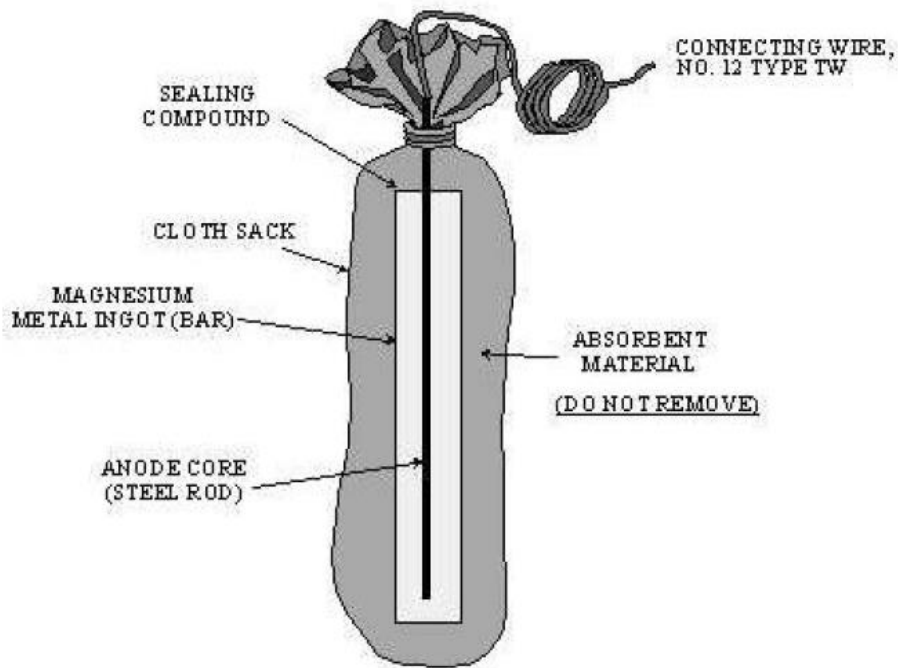


Le deuxième point n'est évidemment pas dangereux sauf si le système anode/milieu/cathode doit fonctionner dans le vide. Dans ce cas, d'autres types d'anodes sacrificielles doivent également être envisagées

.L'hydrogène est un gaz hautement fondu facile à évacuer. Si le milieu est aqueux, l'hydrogène libéré se dissoudra dans le liquide à raison de 20 centimètres cubes par litre. Des poches d'air se forment dans le plafond uniquement s'il n'y a pas de sorties.

Quant à la combustion spontanée après une chute, il a été constaté que des objets en magnésium (et dans une bien moindre mesure en aluminium) fortement heurtés contre une structure rouillée peuvent provoquer une combustion spontanée de micro-éclats arrachés au contact brutal, par contact avec la réaction de la rouille et de l'oxygène. La libération d'énergie spécifique correspondant à ces étincelles est significativement plus forte que celle observée pour les étincelles de collisions pour la plupart des métaux. Pour les hydrocarbures, on sait que la limite d'explosivité est de 1 % (hydrocarbure/air) pour la couche inférieure et de 15 % pour la couche supérieure. Mais les explosions entre ces limites sont fonction de la densité d'énergie dégagée par la source (étincelles d'impact entre métaux, électricité statique). Pour les navires transportant des produits pétroliers, les garde-côtes américains et certaines sociétés de classification ont interdit l'utilisation d'anodes à base de magnésium ou contenant du magnésium pour protéger les capacités de ballast mixte .

Le magnésium, en revanche, est un métal rare qui ne présente aucun danger pour l'environnement et peut même être considéré comme compatible avec les aliments. [19] ]



**Figure 16 : Schéma montrant la composition de l'anode en magnésium**

### **III.5.1. Caractéristiques des anodes à base d'aluminium:**

Il existe maintenant de nombreux alliages proposés sur le marché, se divisant approximativement en deux classes : les anodes à rendement médiocre et les anodes à haut rendement. Le tableau 03 indique ces différents types.

**Tableau 03 : Les différents types des anodes à base d'aluminium**

<b>Alliages</b>	<b>Potentiel <math>E/</math> (Ag/Ag Cl) en charge</b>	<b>Rendement dans l'eau de mer</b>	
AZ 6	- 1,05	40-50 %	rendement médiocre
AZ 8 C 2	- 1,05	40-50 %	rendement médiocre
AE 0,5	- 1,2	33 %	rendement médiocre
AZ 10 In 1	- 1,1	30-50 %	rendement médiocre
AZ 6 Hg 0,04	- 1,05	90 %	Haut rendement
AG 6 Hg 0,08	- 1,05	85 %	haut rendement

Il est donc démontré que l'on peut fabriquer de bonnes anodes à base d'aluminium et que l'on peut profiter de sa trivalence pour obtenir des électrodes sacrificielles très intéressantes. On pourra adopter les paramètres suivants pour les anodes à haut rendement :

- $E_{charge} / (Ag/AgCl) : - 1,05 \text{ V}$  (eau de mer) ;
- capacity: 2 900 Ah/kg
- consommation: 3,4 kg/ (A · an)
- Densité : 2,6 à 2,75.

Lors de la dissolution lente de ces anodes, les traces de mercure sont émises dans le milieu sous forme métallique hydratée et il n'en résulte donc aucune nocivité pour le milieu ; les traces d'indium seraient plus nocives, ce métal étant tératogène. [19]

### III.5.1. Caractéristiques des anodes à base de zinc

Deux types d'alliages à base de zinc peuvent être envisagés, le second donnant lieu à une dissolution plus régulière en surface :

- alliage Z A 0,5 Cd 0,15 (le fer étant tenu inférieur à 0,005 %)
- alliage Z Hg 0,15 (le fer est ici tenu à moins de 0,001 4 %).

Le zinc de base de ces anodes est à 99,995 %. On peut aussi employer des anodes en zinc extra pur. Les paramètres à retenir pour ces anodes sont :

- $E$  charge / (Ag/AgCl) : – 0,94 V (eau de mer) ;
- capacité : 780 Ah/kg ;
- consommation : 13 kg/(A · an) ;
- densité : 7,13.

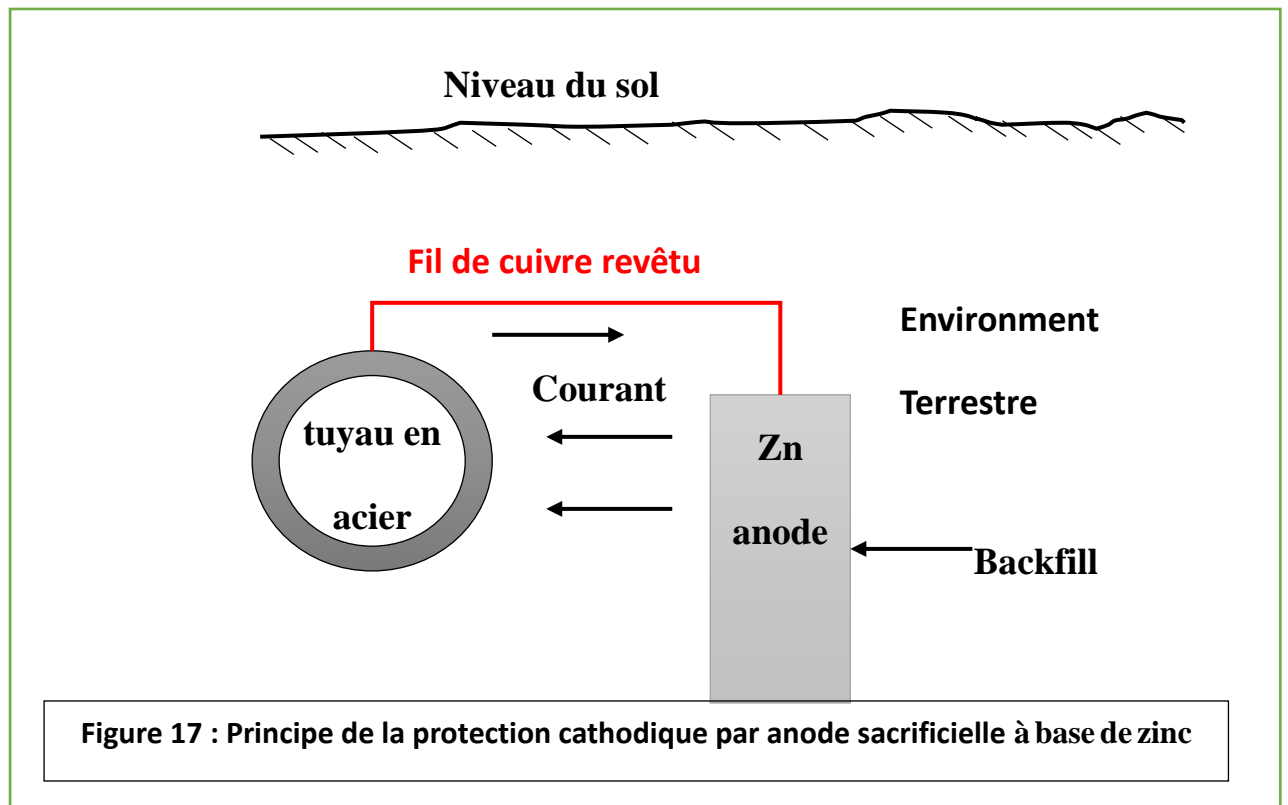


Figure 17 : Principe de la protection cathodique par anode sacrificielle à base de zinc

- Lorsqu'une bonne protection est requise pour les canalisations de surfaces limitées (zones limitées) ou lorsqu'il existe des structures métalliques à proximité de la surface à protéger pour prévenir les effets des perturbations, ou en l'absence d'alimentation, ou une protection temporaire pendant les phases de construction, et Protège les surfaces intérieures des réservoirs de stockage et des navires dans certaines conditions
- Il existe de nombreux types d'ustensiles sacrificiels, par exemple, le fer peut être protégé par du magnésium, du magnésium, de l'aluminium, du zinc ou du zinc .Notre société utilise du magnésium.

**Tableau 04 montrant les propriétés du magnésium, de l'aluminium et du zinc en tant qu'anode sacrifiée .Avantages de cette méthode :**

Matériau de l'anode	Densité g.cm <sup>-3</sup>	Volts potentiels Cu/CuSO <sub>4</sub>	Ampères-heures par kg	Densité de courant d'anode typique A.m <sup>-2</sup>
Zn	7.1	-1.10	780	0.5 – 2
Al	2.7	-1.15	2700	0.6 – 2.5
Mg	1.7	-1.55	1230	1.5 – 5.6

1- Cette méthode se caractérise par sa flexibilité, car un tel système peut être construit dans diverses applications

2- Aucune source de courant requise

**Inconvénients de cette méthode :**

1- En cas de corrosion nécessité de remplacer la main du sacrifice

2- Difficulté de contrôler le niveau de protection

3- Il a une durée de vie spécifique qui dépend de l'efficacité de l'anode [18]

**III.6. Mesure de tension du point de protection cathodique :**

La mesure de la différence de potentiel entre la ligne et le sol environnant est très importante, que ce soit l'effet de corrosion sur la ligne ou le niveau de protection cathodique de la ligne, et la différence de potentiel entre le métal de la ligne et la batterie (demi-cellule) est mesurée sous terre, cellule Une électrode de cuivre (électrode de cuivre) immergée dans du sulfate de cuivre est utilisée comme électrode standard (électrode de référence) pour enregistrer les lectures de protection cathodique.



**Figure 18 : Pôle de référence**

L'utilisation d'un multimètre est due à la grande résistance interne de l'appareil, qui peut

éviter l'erreur de lecture causée par la perte de courant de l'appareil sur la résistance du circuit externe (ligne-connexion ligne-terre-cellule), de sorte que la lecture du compteur est la tension de ligne réelle et la batterie au sol Placez une certaine quantité d'eau autour pour réduire la résistance au sol. [19]

### **III.7. BACKFILL :**

#### **OBJET :**

Le but de cette spécification est de définir le remblai (conditionneur de corrosion) qui sera utilisé pour remplir la longueur effective d'un déversoir profond.

#### **UTILISATION :**

Les remblais sont des modificateurs de corrosion autour de l'anode et sont conçus pour :

- Résistance réduite au contact avec le sol.
- Consommation d'anode normalisée.

#### **CARACTERISTIQUES :**

- Référence : Cathonite DB
- Résistivité : 50  $\Omega$ .cm
- Densité : 850 à 1000 Kg/m<sup>3</sup>

**Tableau 05 : Composition chimique**

<b>Composition</b>	<b>Cendre</b>	<b>Volatiles</b>	<b>Humidité</b>	<b>Charbon</b>	<b>Sulfate</b>
<b>%</b>	0.2	0.4	0.3	99.10	0.9

**Tableau 06 : Granulometries [20]**

<b>Dimensions</b>	<b>%</b>
0.5 mm à 1.0 mm	56.50
0.3 mm à 0.5 mm	23.10
0.15 mm à 0.3 mm	15.40
0.08 mm à 0.15 mm	03.40
< 0.08 mm	0.70

### **III.8. Problématique:**

L'objectif de cette étude est d'explorer l'utilisation de la cellulose comme nouveau matériau de remblai dans la protection cathodique des installations pétrolières.



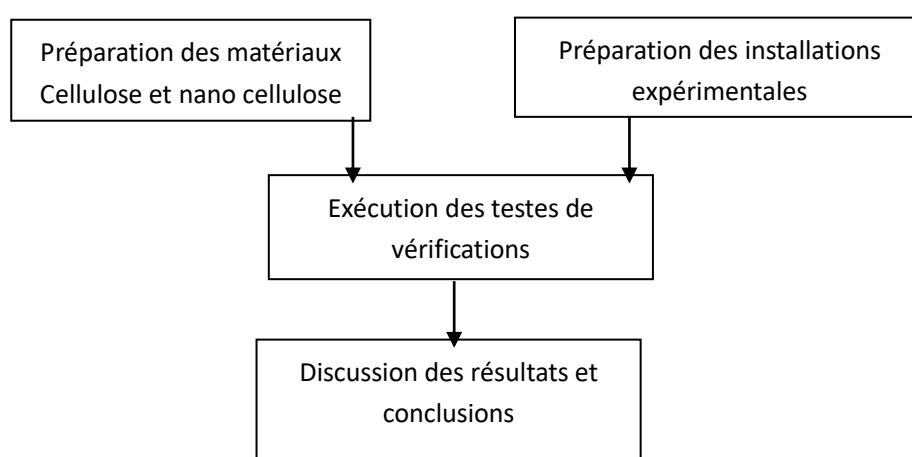
**PARTIE**  
**EXPERIMENTAL**

**CHAPTER IV :**

**MATERIAUX ET  
METHODES**

Ce chapitre présente une exposition détaillée des instruments et des produits (chimiques et végétaux) utilisés dans les travaux expérimentaux. Les expériences ont été menées au laboratoire pédagogique de chimie 4, situé à la faculté des Sciences et Technologies de l'Université de Ghardaïa.

L'objectif de ce travail est de tester la possibilité d'utiliser la cellulose et ces dérivées dans la méthode de protection cathodique comme un nouvelle matérielle de backfill. Pour atteindre ce but on a développé le plan indique dans l'organigramme suivant :



**Figure 19 : Organigramme représente plan de travail**

## **IV.1. Matériaux**

### **IV.1.1. Les solvants et agents chimiques :**

- **Acide hydrochlorique (HCl):** 41 ml de HCl est dilué avec de l'eau distillée jusqu'au volume total de solution égale 500ml ( $V_T = 500$  ml).
- **Hydroxyde de sodium (NaOH):** 20g de NaOH (granules) est dissoudre dans 25ml d'eau distillée, puis la solution est chauffée et agitée pour facilite la dissolution. Apres 10 min on ajouter l'eau distillée jusqu'à ce que le volume total soit égal 500ml.
- **Hypochlorite de sodium (NaClO 12%):** la solution a été acheter de marcher dans des boitier de 850 ml en plastique (Eau de Javel NASSAH 12°)

## IV.1.2. Le Cellulose

L'alfa a été utilisée comme source disponible de cellulose. Des empaquettes ont été achetées chez les vendeurs des herbes pour la préparation de cellulose. Le procédé de préparation de cellulose et nanocellulose est basé principalement sur la méthode développée dans la mémoire de Kebire [21]. Cette méthode commence principalement à découper et déchiqueter l'alfa en de petits morceaux avant qu'ils ne soient trempés dans différents solvants à des températures différentes.

### V.1.2.1. Méthode de préparation de la cellulose

L'organigramme ci-dessous résume le procédé de préparation de cellulose

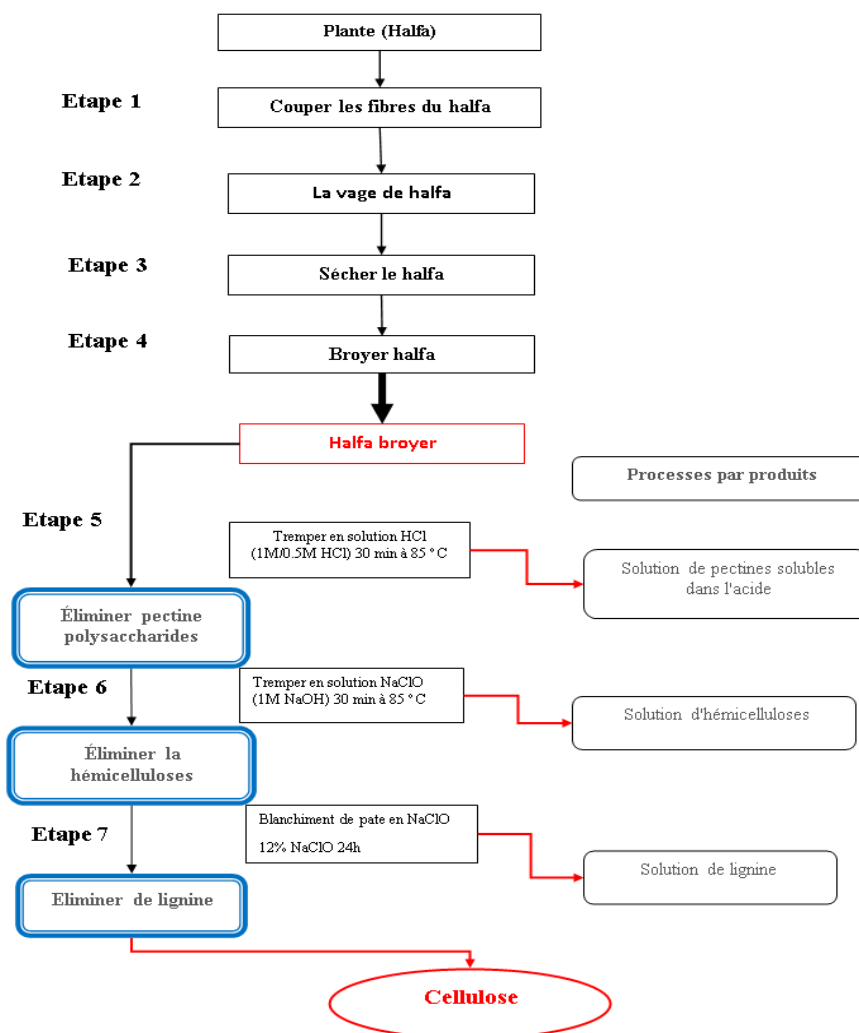
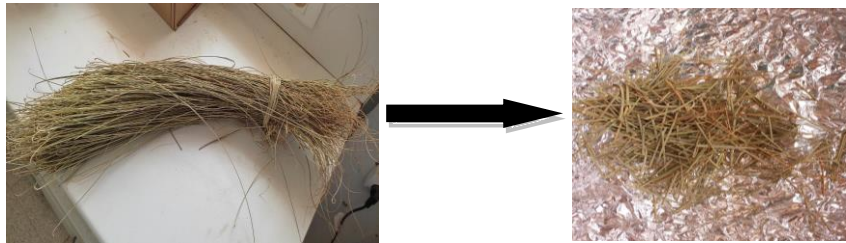


Figure 20 : Organigramme représente le procédé de préparation de cellulose à base d'Alfa

**La préparation de cellulose est effectuée selon les étapes suivant :**

- **Etape 1:** les fibres du Alfa sont couper à l'aide d'un ciseaux en petits morceaux comme indique le diagramme dans la figure 16.



**Figure 21 : La préparation des morceaux de fibre d'Alfa**

- **Etape 2 :** Comme indique la Figure 17, une quantité de 100 grammes de morceaux d'alfa est trempé dans de l'eau chaude pendant 2 heures, pour éliminer le sucre, les phénoliques, l'amidon et les pectine polysaccharides.



**Figure 22 : Elimination de sucre et les impuretés de Alfa**

- **Etape 3 :** Séchage du Alfa au four a100°C pendant 24 h



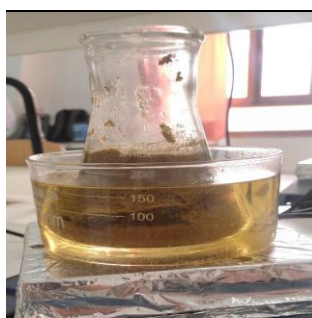
**Figure 23 : Séchage d'Alfa**

- **Etape 4:** Broyage et tamisage de l'alfa. Le broyage a été effectuée par l'appareille indiquée dans la figure 19 pendant 5 min. Après cette opération la farine a été tamiser



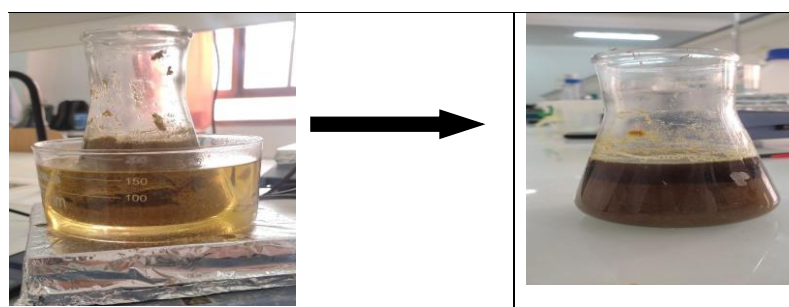
**Figure 24 : Broyage et tamisage de farine d'Alfa**

- **Etape5 :** Placé la matière végétale dans l'acide hydrochlorique (12%) pendant 30 min dans bain marrée a température 85°C, pour éliminer pectine polysaccharides. Cette étape est répétée deux fois.



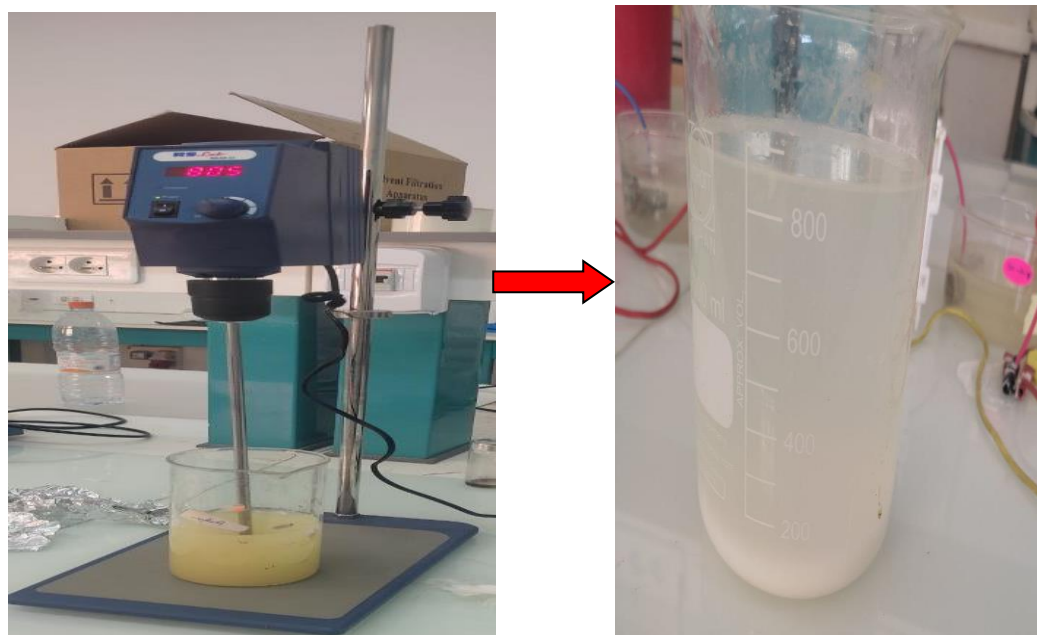
**Figure 25 : le bain marrée**

- **Etape 6:** Tremper la matière végétal dans l'Hydroxyde de sodium pendant 30 min dans bain marrée comme indique la Figure 21 a température 85 °C, pour éliminer la hémicelluloses, Répétez cette étape trois fois.



**Figure 26 : Elimination de Hemicellulose**

- **Etape 7 :** La matière végétal a été placé dans l'Hypochlorite de sodium pendant la nuit pour l'élimination de tous trace de impuretés que existe dans la cellulose .



**Figure 27 : l'élimination des impuretés dans la cellulose**

#### **V.1.2.2. Méthode de préparation de la Nano cellulose :**

Le nano cellulose a été préparée par l'hydrolyse acide ( $H_2SO_4$ ) de la cellulose qui a été déjà isolée de l'alfa. Les étapes à suivre de la procédée est bien présenter dans la Figure 21. Dans la première étape une solution de 50% de l'acide sulfurique a été préparée par la dilution de 98% de  $H_2SO_4$  avec l'eau distillé. Apre la préparation de l'acide sulfurique une quantité de 20g de cellulose et ajouter lentement au Becher contient 100ml de l'acide sulfurique sous l'agitation continue d'un mélangeur a barre. Come indique la Figure 23 l'agitation continue pendent 40 min tous en gardent la température inferieur a 50 °C. la solution est transférer à un homogénéisateur a barre pour homogénéiser la solution avec une grand vitesse de rotation (2000 rpm) pendent 20min. la solution est filtrée par une pompe sous-vide et la partie sec (matière de cellulose) est collecter et peser pour évaluer le rendement de procédée. La matière a été remis au four (100 °C) durant tous la nuit pour séchage.



**Figure 28 : les étapes de la Nano cellulose.**

### **V.1.3. Méthode de préparation des Electrodes et échenillant de l'acier**

Les tubes utiliser dans l'industrie pétrolier come les pipelines sont fabriquer à l'entreprise **Alpha pipe** qui est installée au voisinage de l'Université. Apres une petite visite a cette entreprise on a obtenu des morceaux de l'acier dit X70 utiliser pour la fabrication de pipe qui sont vendue a Sonatrach.

Les électrodes utiliser pour la protection cathodique sont fabrique a base de magnésium, malheureusement pendant notre stage a Hassi R'mel on a pas peut avoir des électrodes de cette matière. Les électrodes de zinc sont aussi utilisées dans la protection cathodique car le zinc come élément a un potentiel électrique inferieur au celle de l'acier (série galvanique). Heureusement, que notre responsable de laboratoire **Dr Jaber Auf** a peu nous assurée une plaque épaisse de zinc qui on a transformé a des électrodes. La plaque de zinc a été coupé en



échantillons de dimensions de 1 cm× 3 cm× 1 cm pour avoir 4 électrodes come indique la Figure 24 suffisant pour notre travaille expérimentale.



**Figure 29 : les électrodes (anodes) de Zinc**

L'échantillon de l'acier X70 ont été découpé de la même façant en échantillons de dimensions de 1 cm ×5 cm × 1 cm pour avoir 6 échantillons come indique la Figure 25.

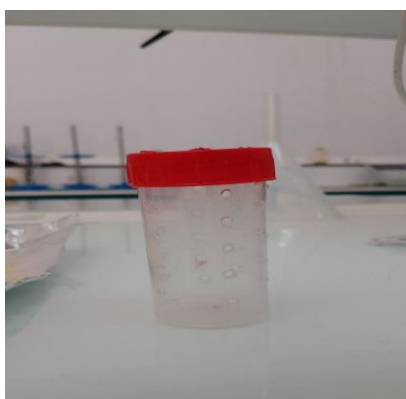


**Figure 30 : la source des Cathode de l'acier X70**

## **V.2. Les installations expérimentales de l'investigation**

### **V.2.1 Le backfill**

Le backfill est généralement compris dans des pochettes de textile pour éviter la désintégration de produit en contact du milieu électrolyte. La même stratégie est adaptée dans cette étude car le backfill, la cellulose et le nano cellulose sont tous incorporée dans des cortinaires en plastique perforer come indiquer par la Figure 26.



**Figure 31 : la pochette de Backfill**

Les anodes de zinc sont introduites au pochette plastique remplie avec une quantité de 10g de chaque matière (backfill commercial, cellulose et nanocellulose) come indique la Figure 27.



**Figure 32 : Anode de zinc introduit dans le backfill de cellulose**

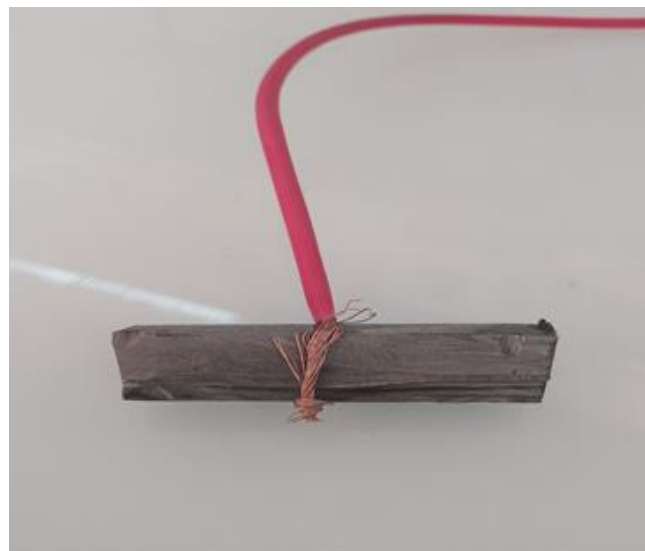
Pour le backfill commercial (la poudre noire), il est conservé dans une pochette de toile (Figure 26) avant d'être introduit au pochette plastique pour éviter la perte à la solution d'électrolyte.



**Figure 33 : le backfill commerciale et l'installation de l'anode au pochette intérieur de toile**

#### **V.2.1 Installation de cathode :**

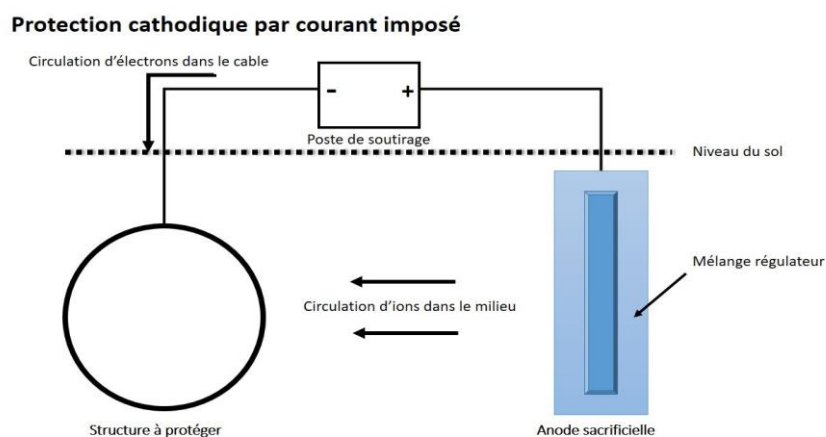
Un fil de cuivre flexible de 2,5mm de diamètre est utiliser pour connecter les électrodes dans le montage expérimental de protection cathodique comme indique la Figure 29.



**Figure 34 : la connections de cathode**

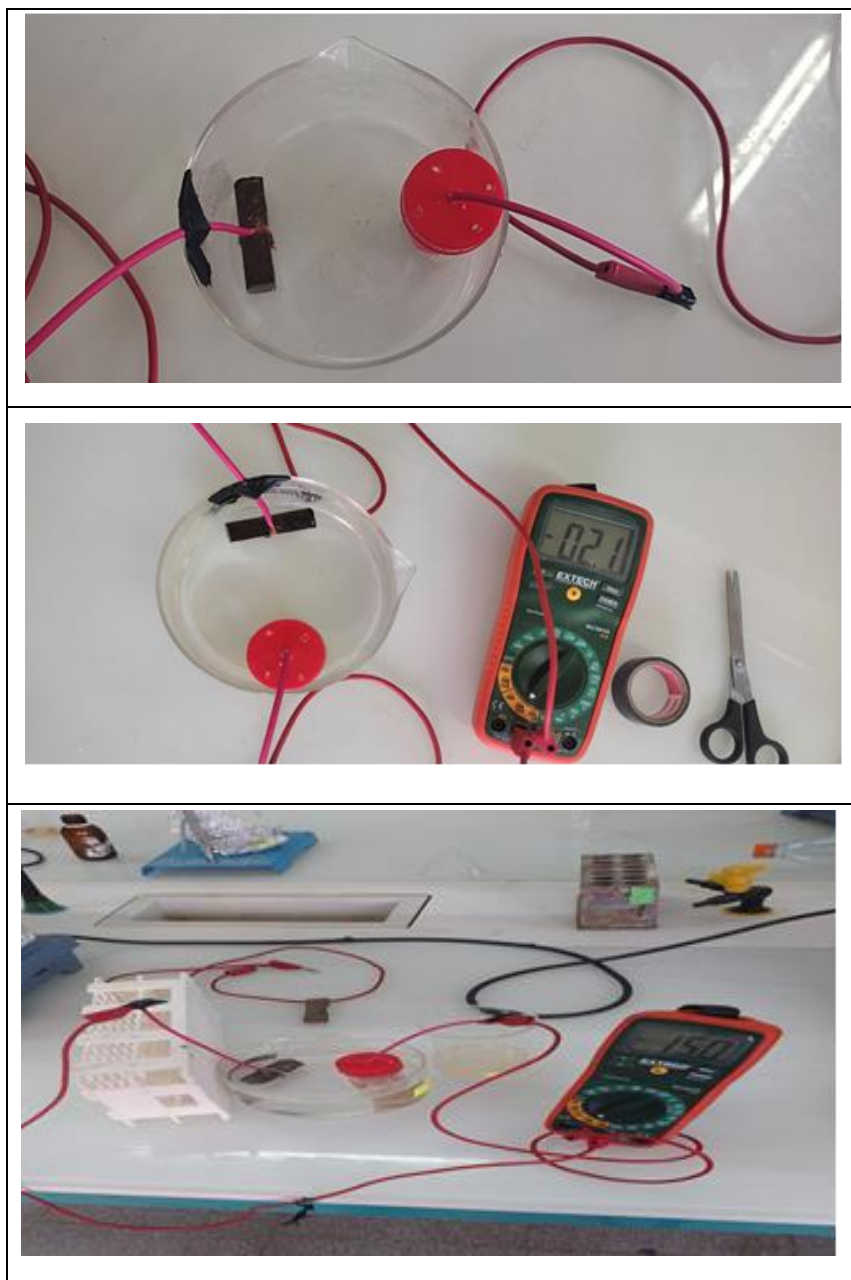
### V.2.3. Le dispositif de cellule de protection cathodique :

L'étude sur les trois matériaux sont exécuter sur des petites cellules de protection selon le schéma présenter dans la Figure 30. Les éprouvettes ont été immergées entièrement et séparément pendant 4 jours dans chacune des différentes cristallisoir (Figure 29)



**Figure 35 : le schéma utiliser pour testes les 3 matériaux**

Le milieu acide a été préparée par l'acide chlorhydrique 0,5 M lorsque les éprouvettes ont été protégées séparément en reliant les fils à chacune des anodes de zinc. Des échantillons et des anodes ont été retirés, lavés à l'eau distillée, séchés et Peser à nouveau. Des différences de poids ont été enregistrées. Graphiques de perte de poids et également séparément taux d'usure par rapport à l'exposition.

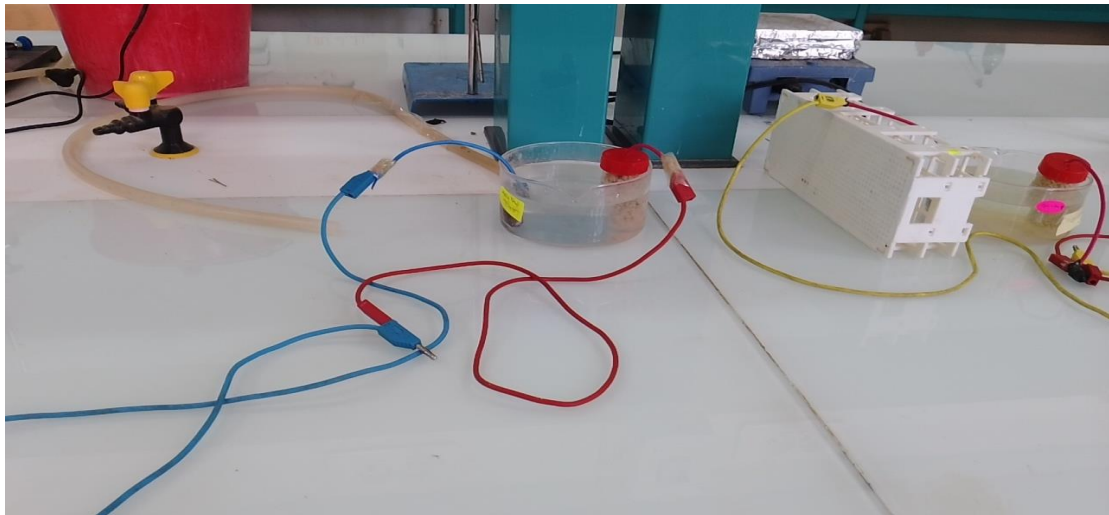
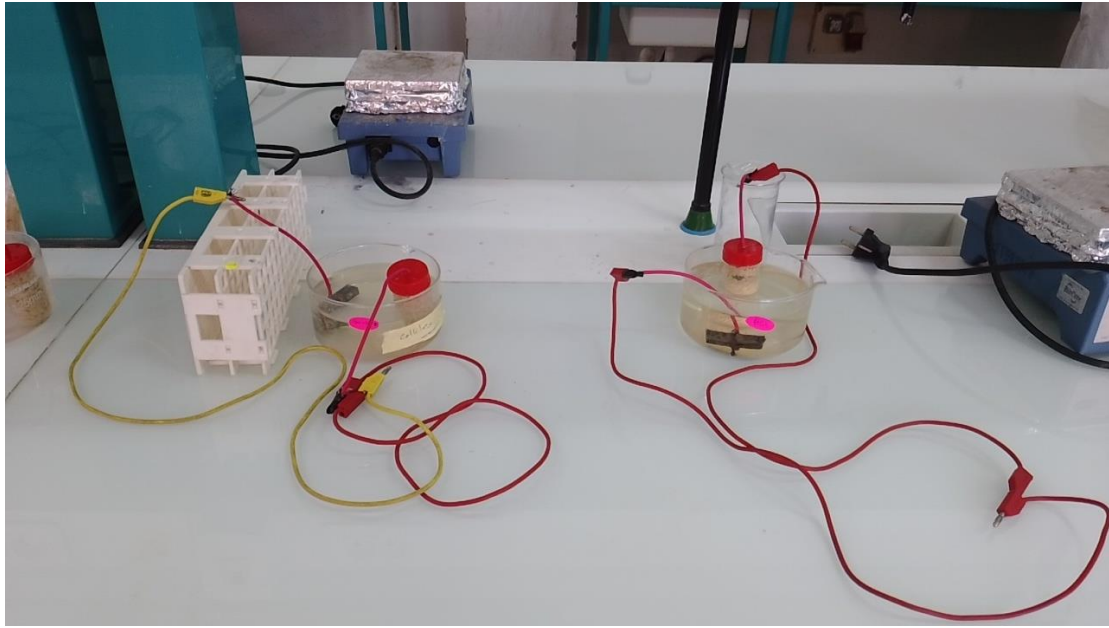


**Figure 36 : la préparation des cellules de test de protection cathodique**

Les éprouvettes lestées ont été immergées entièrement et séparément pendant 4 jours dans chacune des différentes ventouses contenant

$H_2O + NaCl$  où les éprouvettes ont été protégées séparément en connectant les fils à chacune des anodes en zinc.

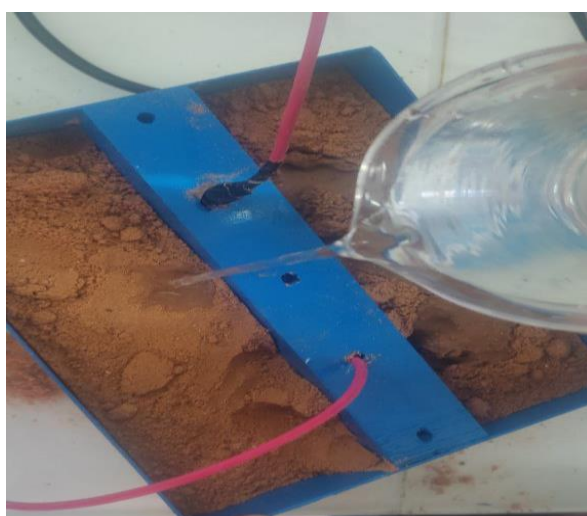
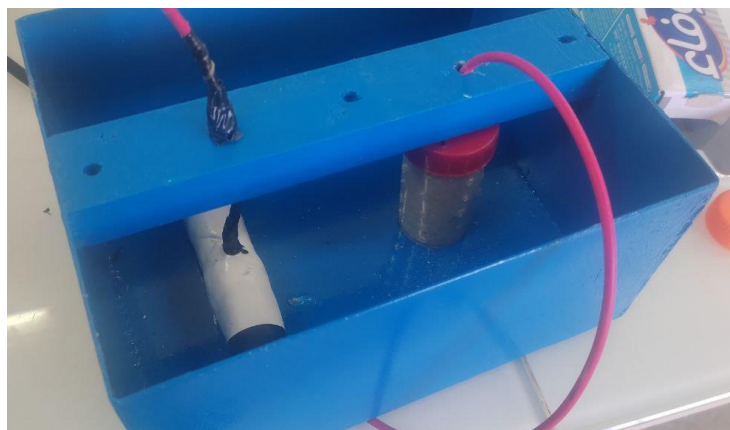
Des échantillons et des anodes ont été retirés, lavés à l'eau distillée, séchés et Peser à nouveau. Des différences de poids ont été enregistrées. Graphiques de perte de poids et également séparément taux d'usure par rapport à l'exposition .



**Figure 37 : les deux cellules de testes**

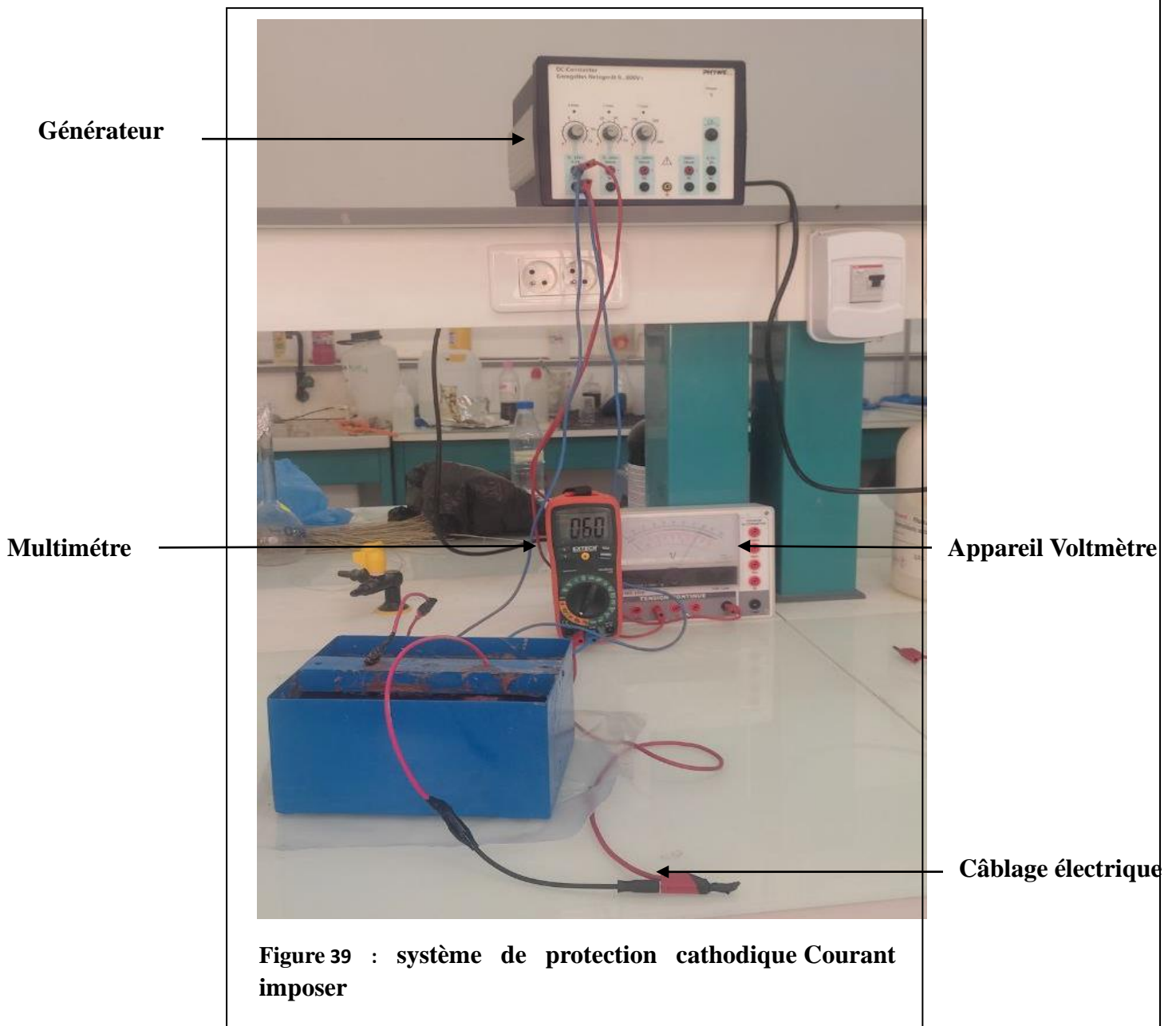
#### **V.2.4. Installation d'un système de protection cathodique Courant imposé :**

Nous utilisons un fil de cuivre flexible avec un calibre 2,5 pour connecter la cathode et sont présentés à la Figure 33 :



**Figure 38 : les échantillants de terre végétale**

Enfouissement de l'anode et de la cathode dans terre végétale et humidifier la terre pour assurer l'humidité sont présentés à la figure 34 :



La surveillance du système a été effectuée pendant trois jours, des notes ont été enregistrées sur les changements en cours. Après cette période, l'échantillon et l'anode sont retirés, soigneusement nettoyés à l'eau distillée, séchés puis pesés à nouveau. Des différences de poids ont été enregistrées. Des tableaux de perte de poids ont été développés pour enregistrer les résultats.

Après cela, le système a été réinstallé en changeant le type de remblai utilisé (cellulose puis nanocellulose) et en répétant les mêmes étapes que l'expérience précédente.



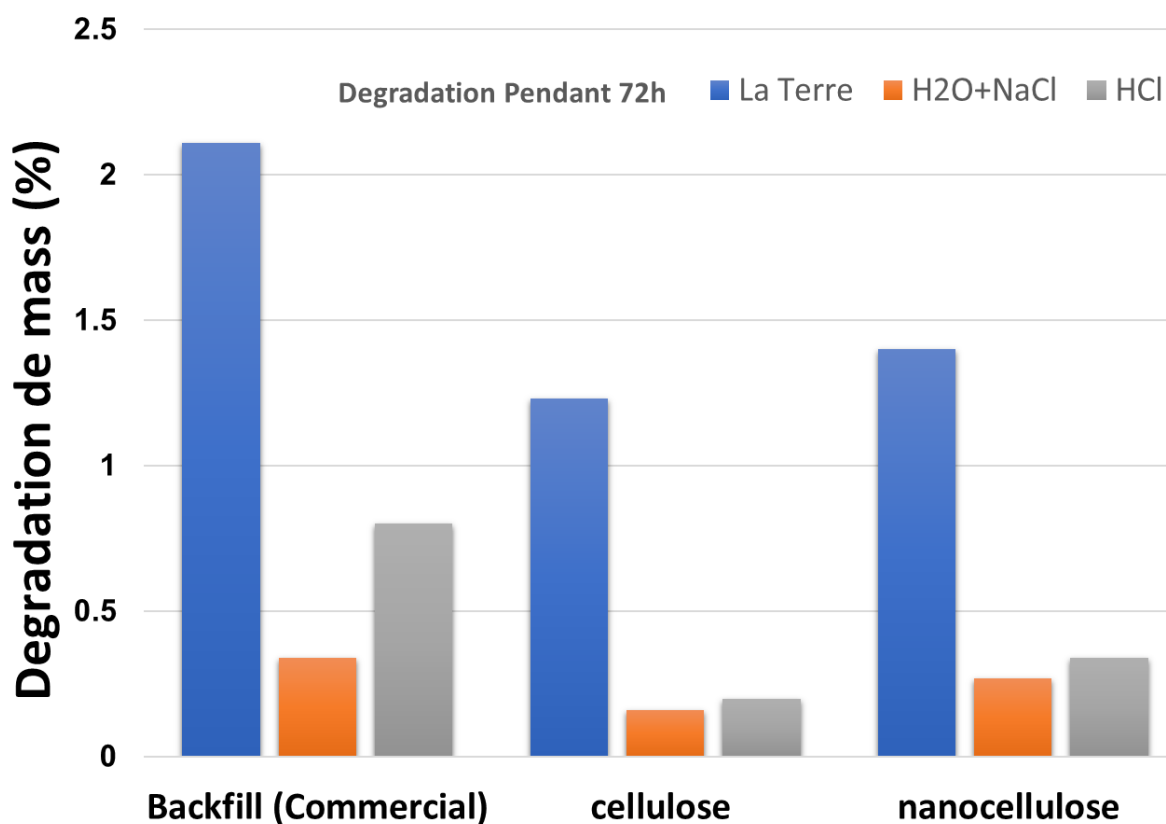
**CHAPTER VI :**

**RESULTAS**

**ET**

**DISCUSSIONS**

### VI.1. La dégradation de zinc :



**Figure 40 : dégradation de Mass pour le trois matériaux dans trois milieu**

Les résultats de dégradation d'anode indiquent que le backfill commercial a la quantité maximal tandis que le cellulose présente la quantité le plus faible comparée au eux autre matériaux. On observe aussi que la terre come milieu réelle provoque la dégradation maximale dans les trois matériaux ainsi que l'eau salée montre une dégradation minimale parmi les trois milieux.

## VI.2. Courant électrique imposée :

Les trois graphes de curent sont présenter dans Figure 36.

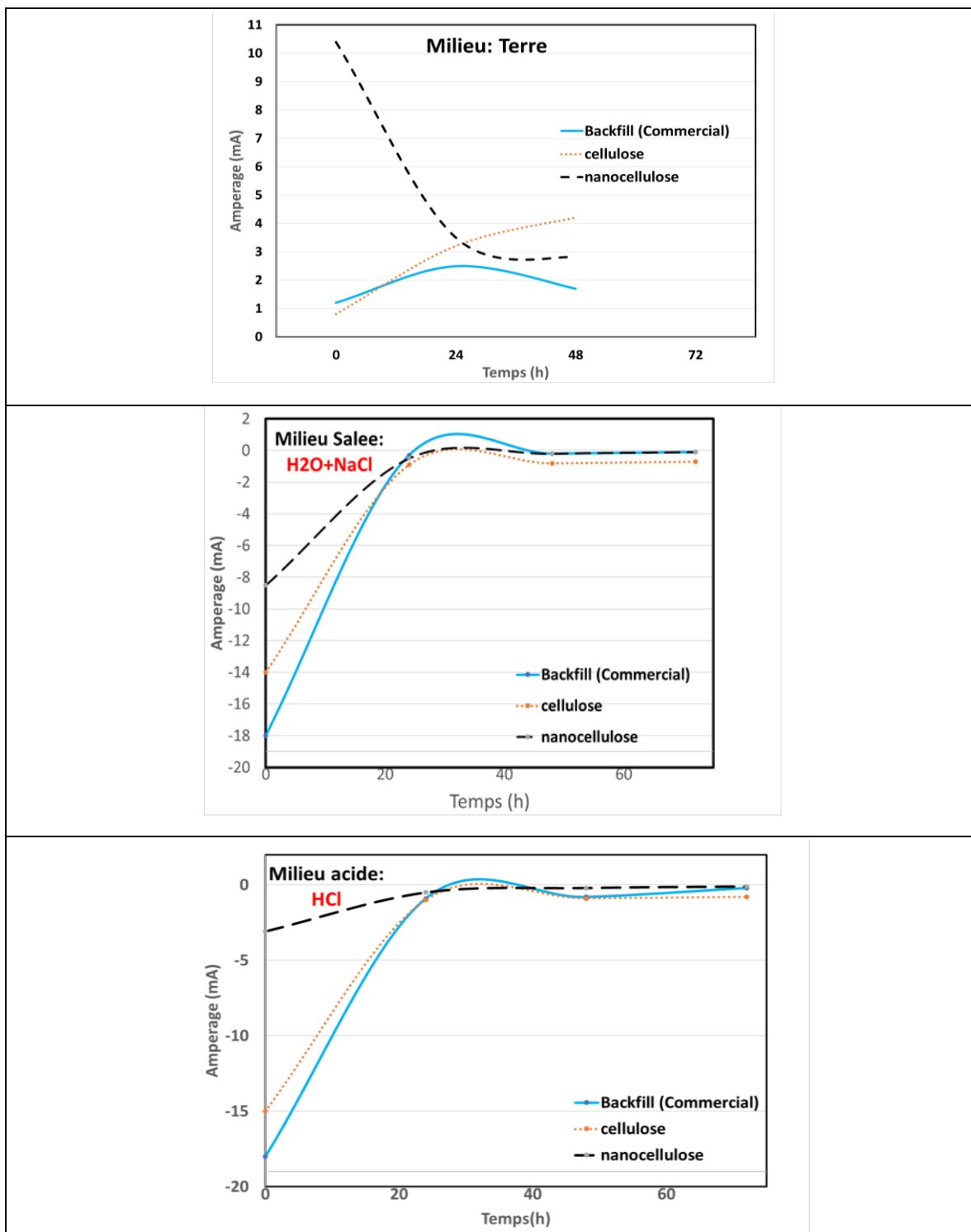


Figure 41 : les graphe des curent imposer par les matériaux

Les graphes de courant présentent une valeur supérieure au commencement qui décrit la phase où une grande quantité d'électrons sont générés par l'acier due à l'impact de milieu corrosif. Après des vingtaine des heures le courant commence à baisser car l'anode (Zinc) commence à générer des électrons pour minimiser la quantité des électrons générés par le cathode (acier) cela peut être bien observé par la chute dans le courant de cellule.

Les milieux agressifs dans ces trois sont l'eau salée et l'acide ce qui est bien compris par l'effet que la transmission des électrons et les ions sont facile et rapide

## **Conclusion :**

Ce travail nous a permis de découvrir le potentiel dans l'utilisation de cellulose et ces dérivés dans le procédé de protection cathodique comme des matériaux de backfill. Les résultats ont tous indiqué que le taux de dégradation des échantillons d'acier est minimal comparé quand le backfill commercial est utilisé. Ce travail peut être amélioré par l'étude de stabilité au long terme de ces matériaux dans ce type d'application.

Le protocole adopté pour la fabrication de la cellulose (Organigramme 5) a obtenu de bons résultats en termes de quantité de cellulose produite. Quant au protocole adopté dans la fabrication de la nano cellulose, il doit être amélioré. Parce que la technologie moderne dépend beaucoup de la nano-industrie et qu'il est très possible d'obtenir de meilleurs résultats à partir de cellulose dans le cas de l'obtention de nanoparticules précises de cellulose.

Le système de protection cathodique utilisé dans notre étude (Figure 34) est proche de la réalité. Il s'inspire de systèmes réels où tout le système est enfoui dans le sol. Mais la courte durée du test et l'apparition de nombreuses anomalies remettent en question les résultats du test, de sorte que l'expérience doit être répétée plusieurs fois avec une période plus longue pour vérifier les résultats.

D'autres expériences développées dans des environnements acides et tempérés ont eu des résultats prometteurs. Il ouvrira de nouveaux horizons dans le domaine de l'utilisation de la cellulose, car ce sujet est une nouvelle innovation qui n'a pas été dirigée et travaillée. Le succès de ce projet apporte également de nombreux avantages au pays. Le premier est de réduire les matériaux importés et d'autre part d'augmenter la durée de vie des systèmes de protection cathodique.

## Références :

1. Javid Mohtasham, Review Article-Renewable Energies, Energy Procedia, Volume 74, 2015, Pages 1289-1297
2. Ministère de l'Énergie et des Mines - Algérie. Hydrocarbures. Retrieved from <https://www.energy.gov.dz/?rubrique=hydrocarbure>
3. L'Expression DZ. (n.d.). Sonatrach redresse la barre. Retrieved from <http://www.lexpressiondz.com/actualite/198145-sonatrach-redresse-la-barre.html>
4. Rapport d'activité de la direction d'exploitation, région HASSI R'mel. (2007).
5. صاحب منعم, أ. (2019). دراسات في تاريخ الجزائر الحديث والمعاصر 1830-1962. طبع بجامعة بابل/ مركز بابل للدراسات الحضارية والتاريخية.
6. Attaqa. (2021, August 25). Retrieved from <https://attaqa.net/2021/08/25/>
7. Hamel, C., Yahia, F., & Belmokhtar, S. (2020). Etude Revêtement Intérieure Du Pipeline Et Le Contrôle Final En ALFAPIPE Ghardaï. Mémoire de licence, Université de Ghardaïa.
8. Mehibil, R. (2008). Etude de l'efficacité inhibitrice de quelques nouveaux inhibiteurs, dits non polluants, sur la corrosion de deux types d'alliages d'aluminium (Mémoire de Magister). Université de Skikda.
9. Nadir, D., & Rabah, R. (2004). Introduction à la corrosion et aux inhibiteurs de corrosion. Livre Edition: 1.03.4278, (6-7).
10. Habchi, A. (2013). Etude de l'effet de la température sur la corrosion de l'acier xc52 en présence du sulfarlem et leur sel correspondant dans un milieu H2SO4 20% (Master académique). Université Kasdi Merbah Ouargla.
11. Rosgogeat, G. (2009-2010). Colon: Document la corrosion, 2.
12. Khoukhi, F. (2008). Étude de l'efficacité d'inhibiteur de corrosion dans le milieu multiphasiques (Eau, Huile, Gaz) (Mémoire magister). Université M'hamed Bougara Boumerdas.
13. Landolt, D. (Ed.). (2002). Traité des matériaux, volume 12, Corrosion et chimie de surfaces des métaux. Presse polytechnique.

- 14.** Fixation Emile-Maurin. (n.d.). Méthode de lutte contre la corrosion infrastructures industrielles et bâtiment. Retrieved from <https://fixation.emilemaurin.fr/custom/images/rtf/methode-lutte-contre-corrosion-infra-ldoc13.pdf>
- 15.** Bouzidi, D. (2011). Corrosion et protection cathodique des conduites souterraines (Mémoire d'ingénieurs). École de technologie supérieure, Université du Québec.
- 16.** M<sup>r</sup> Bouamama Nassim M<sup>lle</sup> Madene Sabrina(2015). Elaboration d'un revêtement à base d'oxyde de cérium destiné à la protection de la corrosion de l'acier en milieu marin. (Mémoire de Master). Université Abderrahmane MIRA - Bejaia.
- 17.** Cleophas Akintoye Loto, Roland Tolulope Loto, Abimbola Patricia Popoola, Performance evaluation of zinc anodes for cathodic protection of mild steel corrosion in HCL, Chemical Data Collections, Volume 24, 2019, 100280
- 18.** Bensaada , S. (n.d.). Cours de corrosion [Online book].
- 19.** Hélie, M. (Commissariat à l'Énergie Atomique, Université d'Evry - Val d'Essonne). Matériaux métalliques phénomènes de corrosion. [Unpublished manuscript].
- 20.** Slimani, A., & Ghedier, B. N. (2017). Effets de la corrosion sur les installations gaziers et leurs méthodes de protections. Cas de SH /Hassi R'mel (Mémoire de licence professionnelle). Université Kasdi Merbah Ouargla.
- 21.** Kebir Siham, Fabrication d'un patch médical a partir d'extraits de COLOQUINTE et de matériaux cellulose Mémoire de Master en Génie Chimique Université de Ghardaïa 2018/2019

# **Annexe I : Normes utiliser dans les operations de Protection**

## **Cathodique**

### ***Normes générales***

- NF EN ISO 8044 (1999) : Corrosion des métaux et alliages – Termes principaux et définitions
- NF EN 13509 (Octobre 2001) : Techniques de mesures applicables en protection cathodique
- NF A05-800 (Mars 2006) : Prestations de service en protection cathodique. Engagement des prestataires de service
- NF EN 50162 (Juillet 2005) : Protection contre la corrosion due aux courants vagabonds issus de systèmes à courant continu
- BS 7361-1 (Juin 1991): Cathodic protection (protection cathodique) Part1: Code of practice for land and marine applications
- NACE International SP 0502 “Pipeline External Corrosion Direct Assesment (ECDA) ”
- NACE International, SP 0207-2007 “Performing Close-Interval Potential Surveys and DC Surface Potential Gradient Surveys on Buried or Submerged Metallic Pipelines”.
- NACE International SP 0286-2007 “The Electrical Isolation of Cathodically Protected Pipeline” (protection cathodique)
- NACE International RP0200-2000 “Steel-Cased Pipeline Practices”
- NACE International SP0572-2007 “Design, Installation, Operation, and Maintenance of Impressed Current Deep Anode Beds”

### ***Normes spécifiques à la protection des ouvrages enterrés***

- NF EN 12501 : Evaluation du risque de corrosion dans les sols (partie 1 : généralités - partie 2 : matériaux ferreux faiblement alliés et non alliés)
- NF EN 12954 (Janvier 2001, en cours de révision avec ISO 15589-1) : Protection cathodique des structures métalliques enterrées ou immergées. Principes généraux et applications aux canalisations.
- NF EN 13636 (Décembre 2004) : Protection cathodique des réservoirs métalliques enterrés et canalisations associées
- NF EN 14505 (Juillet 2005) : Protection cathodique des structures complexes
- prEN 16299:2011 (en préparation) : Protection cathodique des surfaces externes des fonds de bacs de stockage aériens au contact du sol ou des fondations
- prEN 15280 (en préparation) : Evaluation de la probabilité de corrosion des canalisations enterrées par les courants alternatifs - Application aux canalisations protégées cathodiquement
- ISO 15589-1 (Novembre 2003, en cours de révision) : Petroleum and natural gas industries- Cathodic protection (protection cathodique) of pipeline transportation systems – Part 1: On-land pipelines



- NF A05-615 : Recommandations concernant les traitements des influences du courant continu sur les structures métalliques enterrées
- NF A05-650 : Mesure et neutralisation des influences électriques dues aux courants vagabonds d'origine industrielle
- NF A05-655 : Techniques de mesures en Protection Cathodique externe des ouvrages en acier
- AS 2832.1-2004: Cathodic protection (protection cathodique) of metals – Part 1: Pipes and cables, Standards Australia
- AS 2832.2-1991: Cathodic protection (protection cathodique) of metals – Part 2: Compact buried structures, Standards Australia
- DIN 30676 (Oct. 1985): Design and application of cathodic protection (protection cathodique) of external surfaces
- GOST 51164-98: Main steel pipelines – General requirements for protection against corrosion
- NACE International SP 0169-2007 “Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping systems”.
- NACE International RP0193-200 “External Cathodic Protection (protection cathodique) of On-Grade Carbon Steel Storage Tank Bottoms”
- NACE International RP0285-2002 “Corrosion Control of Underground Storage Tank Systems by Cathodic Protection” (protection cathodique)
- NACE International SP0100-2008 “Cathodic Protection (protection cathodique) to Control External Corrosion of Concrete Pressure Pipelines and Mortar-Coated Steel Pipelines for Water or Waste Water Service

### ***Normes spécifiques à la protection des ouvrages immergés***

- NF EN ISO 12473 (Juin 2000, en cours de révision) : Principes généraux de la protection cathodique en eau de mer
- NF EN 12474 (Septembre 2001, en cours de révision avec ISO 15589-2) : Protection cathodique des canalisations sous-marines
- NF EN 13173 (Avril 2001, en cours de révision) : Protection cathodique des structures en acier flottant en mer
- NF EN 13174 (Mai 2001, en cours de révision pour vote CEN et ISO) : Protection cathodique des installations portuaires
- NF EN 12495 (Mai 2000, en cours de révision) : Protection cathodique des structures en acier fixes en mer
- prEN 12496 (en préparation) : Anodes galvaniques pour la protection cathodique dans l'eau de mer et les boues salines
- EN xxxxx (en préparation) : Protection cathodique de l'extérieur des coques de navires
- EN xxxxx (en préparation) : Protection cathodique des surfaces intérieures des capacités en acier et autres ouvrages contenant de l'eau de mer

- ISO 15589-2 (Mai 2004, en cours de révision) : Petroleum and natural gas industries- Cathodic protection (protection cathodique) of pipeline transportation systems – Part 2: Offshore pipelines
- XPA05-674 : Protection cathodique des œuvres vives des navires
- AS 2832.3-2005: Cathodic protection (protection cathodique) of metals – Part 3: Fixed immersed structures, Standards Australia
- NACE International SP0176-2007, “Corrosion Control of Submerged Areas of Permanently Installed Steel Offshore Structures Associated with Petroleum Production”
- Det Norske Veritas DNV-RP-401(2010) “Cathodic Protection (protection cathodique) Design”
- Det Norske Veritas DNV-RP-F103 (2003) “Cathodic Protection (protection cathodique)of Submarine Pipelines by Galvanic Anodes”

### ***Normes spécifiques à la protection interne***

- NF EN 12 499 (Mai 2003) : Protection cathodique interne des structures métalliques
- EN xxxxx (en préparation) : Protection cathodique interne des équipements de production du pétrole et du gaz
- AS 2832.4-1994 : Cathodic protection (protection cathodique) of metals – Part 4: Internal surfaces, Standards Australia
- NACE International RP0180-2001 “Cathodic Protection (protection cathodique) of Pulp and Paper Mill Effluent Clarifiers”.
- NACE International SP0388-007 “Impressed Current Cathodic Protection (protection cathodique) of Internal Submerged surfaces”
- NACE International RP0196-2004 “Galvanic Anode Cathodic Protection (protection cathodique) of Internal Submerged Surfaces of Steel Water Storage Tanks”
- ANSI/AWWA D104-04 “Automatically Controlled Impressed-Current Cathodic Protection (protection cathodique)for Interior of Steel Water Tanks”

### ***Normes spécifiques à la protection des ouvrages en béton armé***

- NF EN 12 696 (Juillet 2000, en cours de révision) : Protection cathodique de l'acier dans le béton
- CEN/TS 14038-1 : Ré-alcalinisation électrochimique et traitements d'extraction des chlorures applicables au béton armé - Partie 1 : Ré-alcalinisation
- prCEN/TS 14038-2 (en préparation) : Ré-alcalinisation électrochimique et traitements d'extraction des chlorures applicables au béton armé - Partie 2 : Extraction de chlorures
- AS 2832.5-2002: Cathodic protection (protection cathodique)of metals – Part 5: Steel in concrete structures, Standards Australia
- NACE International RP 0187 “Design Considerations for Corrosion Control of Reinforcing Steel in Concrete”

- NACE International RP 0290 “Cathodic Protection (protection cathodique) of Reinforcing Steel in Atmospherically Exposed Concrete Structures”
- NACE International SP0408-2008 “Cathodic Protection (protection cathodique) of Reinforcing Steel in Buried or Submerged Concrete Structures”
- ASTM C876, Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, American Society for Testing and Materials (ASTM), (Philadelphia, PA:1986)

### ***Normes sur la certification des personnels***

- NF EN 15257 (Dec. 2006) : Protection cathodique- Niveaux de compétence et certification du personnel en protection cathodique
- NF EN ISO/CEI 17024 (2003) : Évaluation de la conformité - Exigences générales pour les organismes de certification procédant à la certification de personnes

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique

Faculté des sciences et  
Technologie  
Département génie Des procédés

جامعة غرداية



Université de Ghardaïa

كلية العلوم و التكنولوجيا  
قسم هندسة الطرائق

### Autorisation d'impression finale d'un mémoire de master

	Nom et prénom	Signature
Examineur 1	Mansouri Khaled	
Examineur 2	Agoune Saleh	
Encadreur	Touaiti Farid	
Co-encadreur		

Soussigne Mr: Halali Naima

Président de jury des étudiant (s): -Belmokhtar Seifeddine

-Hamel Chouaib

Filière :Génie des procédés . Spécialité :Génie chimique

Thème : L'utilisation de cellulose comme nouveau Backfill de technique la protection cathodique des installation pétrolier a Hassi remel

Autorise le (s) étudiant (s) mentionné (s) ci-dessus à imprimer et déposer leur (s) manuscrit final au niveau du département.

Ghardaïa le: 2023... 17 جويلية 2023

Le président de jury

Halali Naima

Le chef de Filière

Trahelaf

Le chef de département