



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

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد  
Université D'Oran 2 Ben Mohamed Ahmed Ben  
-----  
معهد الصيانة والأمن الصناعي  
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

**Département de Maintenance en Instrumentation**

## **MÉMOIRE**

Pour l'obtention du diplôme de Master

**Filière : Génie Industriel**

**Spécialité : Ingénierie de la Maintenance en Instrumentation**

**Thème**

**Surveillance et contrôle en temps réel de la  
protection Cathodique d'un pipeline par l'Ido  
(Internet des Objets)**

Présenté et soutenu publiquement par :

**KESSAR Ayoub & MOUAZ Rania**

Devant le jury composé de :

| <b>Nom et Prénom</b>    | <b>Grade</b> | <b>Etablissement</b> | <b>Qualité</b>   |
|-------------------------|--------------|----------------------|------------------|
| ROUAN-SERIK Mehdi       | MCB          | IMSI-Univ. D'Oran2   | <b>Président</b> |
| MEKKI Ibrahim El Khalil | MCA          | IMSI-Univ. D'Oran2   | <b>Encadreur</b> |
| TITAH Mawloud           | MCB          | IMSI-Univ. D'Oran2   | <b>Examineur</b> |
| HASSINI Abdelatif       | PR           | IMSI-Univ. D'Oran2   | <b>Invité</b>    |

**2021-2022**

## Dédicaces

Je dédie le fruit de ce travail tout d'abord à mon père et mon supporteur « **AISSA** », grâce à lui je n'ai jamais rien manqué dans la vie, l'homme qui a veillé à mon éducation, j'espère que ce modeste travail soit l'exaucement de ses vœux.

A ma mère et ma meilleure amie « **BRAHIMI Fatiha** » pour les sacrifices qu'elle avait consenti pour mon instruction et mon bien-être.

A mon frère adoré « **Sidahmed Alaedin** » qui n'a jamais cessé de me soutenir.

A la prunelle à mes yeux, ma petite sœur que j'aime « **Nihed** ».

A ma grand-mère « **HABOUCHI Hlima** » qui m'a toujours aidé avec ces prières.

A mes tentes « **Hadjira** » et « **Hakima** » et mes petits cousins.

A mon cher ami avant d'être binôme « **KESSAR Ayoub** » pour son entente et sa patience.

A mon tuteur de stage « **MOUSSA Younes** » pour ces conseils constructifs et la documentation qui m'a fourni.

A mon âme sœur « **OUSALEM Imane** », qu'aucune dédicace ne saurait exprimer mes remerciements pour tout ce qu'elle a fait pour moi.

A la meilleure copine de chambre « **BOUCHIBA Manel** » avec qui j'ai partagé des moments inoubliables pour son aide et son empathie.

A mes chères amies « **Yasmine, Amira, Naima, Farah** » en souvenir de notre sincère et profonde amitié et les moments agréables que nous avons passés ensemble.

A tous mes amis qui sont nombreux plus particulièrement « **Imane, Hanae, Oussama, Billy, Sedik** » Avec qui j'ai partagé les moments de stress, de tristesse et de la joie.

A mes amies d'enfance que j'aime énormément « **Badra, Lamia, Fadoua, Marwa** ».

A mon très cher ami « **BOUKHOBZA Abdellah Wissam-Eddine** » qui m'a toujours soutenu, encouragé, conseillé et aidé durant mes années universitaires.

A tous les membres du club « **Basmat-Muhandis** » que je considère comme ma deuxième famille.

A tous les amis et collègues de l'**IMSI** et tous ceux qui m'estiment et pensent à moi.

**MOUAZ Rania**

## Dédicaces

*A ma mère et ma meilleure amie « **Dwat** » pour les sacrifices qu'elle avait consenti pour mon instruction et mon bien-être.*

*A ma chère amie avant d'être binôme « **MOUAZ Rania** » pour son entente et sa patience.*

*A mon tuteur de stage « **Douhadi Hassan** » pour ces conseils constructifs et la documentation qui m'a donné.*

*A mes chers « **Karim** » et « **Ahmed** » avec qui j'ai partagé des moments inoubliables.*

*A tous mes amis qui sont nombreux plus particulièrement « **Imane, Hanae, Oussama, Billy, Belkacem** » Avec qui j'ai partagé les moments de stress, de tristesse et de la joie.*

*A tous les membres du club « **MASTER-MINDS** » que je considère comme ma deuxième famille.*

*A tous les amis et collègues de **l'IMSI** et tous ceux qui m'estime et pense à moi.*

**KESSAR Ayoub**

## Remerciements

On remercie dieu le tout puissant de nous avoir donné la volonté, et la patience pour terminer nos études et pour élaborer ce modeste travail.

Au terme de ce travail, On tient à exprimer notre profonde gratitude à notre encadrant **MEKKI IbrahimEl Khalil** pour ces conseils constructifs, sa confiance et sa disponibilité.

Merci à nos parents d'avoir su nous écouter et nous motiver, à nos ami(e)s pour leur soutien moral et intellectuel tout au long de notre démarche.

Que les membres de jury trouvent, ici, l'expression de nos sincères remerciements pour l'honneur qu'ils nous font en prenant le temps de lire et d'évaluer ce travail.

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères au corps professoral et administratif de l'Institut de Maintenance et De Sécurité Industrielle d'Oran pour leurs efforts durant tous nos années d'études.

Pour finir, on souhaite remercier toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

## ملخص:

يعالج هذا العمل لنهاية الدراسة نظام يمكنه القيام بالحماية الكاثودية عن بعد ، ويجب أن يكون هذا النظام قادرا على قياس امكانات التيار والجهد وتنظيم مضخات الحقن في حالة حدوث مشكلة. النظام عبارة عن دائرة مطبوعة PCB تتضمن وحدة ESP8266 WIFI ، مستشعر على شكل مقسم جهد ، مرحل ، شاشة OLED ، يسمح IOT لنا باجراء الاتصال بين PCB وواجهة WEB من خلال العديد من لغات البرمجة ++C ، PHP ، JavaScript ، SQL ، HTML و CSS . يعرض ثنائي الفينيل متعدد الكلور نتائج القياس عبر واجهة WEB ، والتي يمكن أن تتيح لنا الوصول الى التحكم في مضخات الحقن وكذلك أرشفة البيانات على السارفر الخاص بنا .

الكلمات المفتاحية : PCB, ESP8266, IOT, C++, PHP, JavaScript, SQL, HTML, CSS.

## Résumé

Ce travail de fin d'étude traite un système qui peut faire la protection cathodique à distance, ce système doit pouvoir mesurer le potentiel du courant et voltage et faire la régulation des pompes à injection au cas du problème.

Le système est un circuit imprimé PCB qui comporte un module Wifi ESP8266, un capteur sous forme un diviseur de tension, un relais, un écran OLED.

L'IOT nous permet de faire la communication entre la PCB et l'interface web se fait par plusieurs langages de programmation C++, PHP, JavaScript, SQL, HTML, et CSS.

Cette PCB nous affiche les résultats de mesure via une interface web, cette dernière peut nous donner l'accès pour contrôler les pompes à injection. et aussi des archivages des données sur notre serveur.

Mots clés : PCB, ESP8266, IOT, C++, PHP, JavaScript, SQL, HTML, CSS.

## Abstract

This end-of-study work deals with a system that can do remote cathodic protection, this system must be able to measure the potential of the current and voltage and regulate the injection pumps in case of problem.

The system is a PCB printed circuit that includes an ESP8266 WIFI module, a sensor in the form of a voltage divider, a relay, an OLED screen.

The IOT allows us to make the communication between the PCB and the web interface is done by several programming languages C++, PHP, JavaScript, SQL, HTML, and CSS.

This PCB displays the measurement results via a web interface, which can give us access to control the injection pumps.

Keywords: PCB, ESP8266, IOT, C++, PHP, JavaScript, SQL, HTML, CSS

## Liste des matières

---

|  |           |
|--|-----------|
| Table de matières .....  | i         |
| Liste des figures.....   | ii        |
| Liste des tableaux.....  | iv        |
| Introduction générale .....  | 01        |
| <b>1 CHAPITRE 01 LA CORROSION ET LA PROTECTION CATHODIQUE--</b>                      | <b>15</b> |
| <b>1.1 Introduction-----</b>   | <b>16</b> |
| <b>1.2 La Corrosion-----</b>   | <b>16</b> |
| 1.2.1 Définition.....  | 16        |
| 1.2.2 Différents types de la corrosion.....  | 17        |
| 1.2.3 Formes de la corrosion.....  | 17        |
| Corrosion généralisée (uniforme).....  | 18        |
| La corrosion par piqûres.....  | 19        |
| Corrosion par crevasses.....   | 19        |
| Corrosion galvanique.....  | 20        |
| Corrosion inter-granular.....  | 20        |
| Corrosion sous contrainte.....   | 21        |
| Corrosion sélective.....   | 21        |
| Corrosion-érosion.....   | 21        |
| Corrosion bactérienne.....   | 22        |
| 1.2.4 Corrosion des pipelines.....   | 23        |
| Corrosion externe.....   | 23        |
| Corrosion interne.....   | 23        |
| 1.2.5 Facteurs affectant le taux de corrosion.....                                   | 24        |
| 1.2.6 Protection contre la corrosion.....  | 24        |
| <b>1.3 La protection cathodique-----</b>   | <b>24</b> |
| 1.3.1 Définition.....  | 24        |
| 1.3.2 Principe de fonctionnement de la protection cathodique-----                    | 25        |
| 1.3.3 Types de la protection cathodique.....   | 26        |
| 1.3.3.1 Protection Cathodique par Anode Sacrificielle ou galvanique (SACP) -----     | 26        |
| 1.3.3.2 Protection cathodique à courant imposé (ICCP) -----                          | 27        |
| 1.3.4 Contrôle de l'efficacité de la protection cathodique contre la corrosion ----- | 27        |
| 1.3.5 Points de mesure.....  | 27        |
| 1.3.6 Mesure de potentiel.....   | 27        |
| 1.3.7 Raccordement terrain pour mesure de potentiel-----                             | 28        |
| 1.3.8 L'électrode de référence.....  | 28        |
| 1.3.9 Calibration de l'électrode de référence.....                                   | 29        |
| 1.3.10 Principaux domaines d'application de la protection cathodique -----           | 30        |
| <b>1.4 Injection d'inhibiteur de corrosion -----</b>                                 | <b>30</b> |
| 1.4.1 Un système d'injection d'inhibiteur de corrosion -----                         | 30        |
| <b>1.5 Poste de soutirage -----</b>  | <b>31</b> |
| <b>1.6 Besoin de surveillance à distance-----</b>                                    | <b>32</b> |
| <b>1.7 Conclusion-----</b>   | <b>32</b> |

## Liste des matières

|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| <b>2</b>    | <b>CHAPITRE 02 LA MAINTENANCE ET L'INTERNET DES OBJETS</b>          | <b>33</b> |
| <b>2.1</b>  | <b>Introduction</b>   | <b>34</b> |
| <b>2.2</b>  | <b>Définition de la maintenance</b>                                 | <b>34</b> |
| <b>2.3</b>  | <b>Rôle de la maintenance</b>                                       | <b>34</b> |
| <b>2.4</b>  | <b>Les objectifs de la maintenance</b>                              | <b>34</b> |
| 2.4.1       | Objectifs financiers  | 35        |
| 2.4.2       | Objectifs opérationnels   | 35        |
| <b>2.5</b>  | <b>Les types de maintenance</b>                                     | <b>35</b> |
| 2.5.1       | Maintenance préventive  | 36        |
|             | Maintenance systématique  | 36        |
|             | Maintenance conditionnelle  | 36        |
|             | Maintenance prévisionnelle  | 36        |
| 2.5.2       | Maintenance corrective  | 36        |
|             | Maintenance palliative  | 36        |
|             | Maintenance curative  | 36        |
| <b>2.6</b>  | <b>Opérations de maintenance</b>                                    | <b>36</b> |
| 2.6.1       | Opérations de maintenance corrective                                | 36        |
| 2.6.2       | Opérations de maintenance préventive :                              | 37        |
| <b>2.7</b>  | <b>La fonction maintenance</b>                                      | <b>37</b> |
| 2.7.1       | Les activités techniques  | 37        |
| 2.7.2       | Les activités gestion   | 38        |
| <b>2.8</b>  | <b>Critères pour le choix d'une forme de maintenance</b>            | <b>38</b> |
| <b>2.9</b>  | <b>Niveaux de maintenance</b>                                       | <b>39</b> |
| <b>2.10</b> | <b>Autres aspects de la maintenance</b>                             | <b>39</b> |
| 2.10.1      | La fiabilité  | 39        |
| 2.10.2      | La maintenabilité   | 40        |
| 2.10.3      | La disponibilité  | 40        |
| <b>2.11</b> | <b>Organisation des opérations de maintenance</b>                   | <b>40</b> |
| 2.11.1      | Maintenance centralisée   | 40        |
| 2.11.2      | Maintenance décentralisée   | 40        |
| <b>2.12</b> | <b>Coûts de maintenance</b>   | <b>41</b> |
| <b>2.13</b> | <b>La Révolution Industrielle</b>                                   | <b>41</b> |
| <b>2.14</b> | <b>Industries 4.0</b>   | <b>42</b> |
| 2.14.1      | Technologies pour l'Industrie 4.0                                   | 42        |
| <b>2.15</b> | <b>Internet des objets (IOT)</b>                                    | <b>43</b> |
| 2.15.1      | Domaine D'application de l'IOT                                      | 43        |
| 2.15.2      | Cycle de vie d'un objet connecté dans l'IOT                         | 45        |
| 2.15.3      | Fonctionnement de l'IoT   | 46        |
| 2.15.4      | Composants de l'IoT   | 47        |
| <b>2.16</b> | <b>Conclusion</b>   | <b>47</b> |
| <b>3</b>    | <b>CHAPITRE03 TOPOLOGIES ET SYSTEMES DE SUPERVISION</b>             | <b>48</b> |
| <b>3.1</b>  | <b>Introduction</b>   | <b>49</b> |
| <b>3.2</b>  | <b>Supervision classique</b>  | <b>49</b> |
| <b>3.3</b>  | <b>Solution proposée pour la supervision de la PC en temps réel</b> | <b>50</b> |
| <b>3.4</b>  | <b>Les Topologies proposées</b>                                     | <b>51</b> |

## Liste des matières

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| 3.4.1      | Fibre optique.....   | 51        |
|            | Les avantages.....   | 51        |
|            | Les inconvénients -----  | 52        |
| 3.4.2      | MESH Networks par RF.....                                      | 52        |
|            | Les Avantages.....   | 52        |
|            | Les inconvénients -----  | 53        |
| 3.4.3      | Cloud.....   | 53        |
|            | Les Avantages.....   | 53        |
|            | Les inconvénients -----  | 54        |
| <b>3.5</b> | <b>Matrice de décision -----</b>                               | <b>54</b> |
| <b>3.6</b> | <b>Analyse de résultats-----</b>                               | <b>55</b> |
| <b>3.7</b> | <b>Conclusion-----</b>   | <b>56</b> |
| <b>4</b>   | <b>CHAPITRE04 ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL ET REALISATION-----</b> | <b>57</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Introduction-----</b>                                       | <b>58</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Partie Hardware -----</b>                                   | <b>58</b> |
|            | 4.2.1 ESP8266.....   | 58        |
|            | 4.2.2 Monochrome 0.96" OLED Display (SSD1306) -----            | 58        |
|            | 4.2.3 Le diviseur de tension-----                              | 59        |
|            | 4.2.3.1 Principe du diviseur de tension.....                   | 60        |
|            | 4.2.4 Mesure du potentiel négative.....                        | 60        |
|            | 4.2.5 Produit final.....                                       | 61        |
|            | 4.2.5.1 Schématique général.....                               | 61        |
|            | <b>4.2.5.2</b> Circuit imprimé / PCB.....                      | <b>64</b> |
|            | 4.2.5.3 3D model -----   | 65        |
| <b>4.3</b> | <b>Partie SOFTWARE -----</b>                                   | <b>66</b> |
|            | ➤ Partie supervision.....                                      | 66        |
|            | 4.3.1 Code C++.....  | 66        |
|            | 4.3.2 Serveur.....   | 67        |
|            | 4.3.3 Data base.....   | 68        |
|            | 4.3.4 Cree un tableau SQL.....                                 | 68        |
|            | 4.3.5 Communication.....                                       | 69        |
|            | 4.3.6 Afficher dans la base de données.....                    | 69        |
|            | 4.3.7 Interface WEB.....                                       | 70        |
|            | ➤ Partie contrôle.....   | 72        |
|            | 4.3.8 Préparation de base des données.....                     | 72        |
|            | 4.3.9 Insertion dans la base des données.....                  | 73        |
|            | 4.3.10Gérer les requêtes HTTP.....                             | 75        |
|            | 4.3.11Affichage de boutons de contrôle.....                    | 76        |
| <b>4.4</b> | <b>Essaie et résultat obtenue-----</b>                         | <b>76</b> |
| <b>4.5</b> | <b>Conclusion-----</b>   | <b>79</b> |
| <b>5</b>   | <b>CONCLUSION GENERALE -----</b>                               | <b>80</b> |
|            | <b>Bibliographie</b> .....                                     |           |
|            | <b>Annexe</b> .....  |           |



### Liste des figures

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 1-1</b> Métaux corrodés .....   | 17 |
| <b>Figure 1-2</b> Formes de corrosion identifiable par examen visuel.....                         | 17 |
| <b>Figure 1-3</b> Formes de corrosion identifiable par des moyens supplémentaires d'examens ..... | 18 |
| <b>Figure 1-4</b> Formes de corrosion identifiable par la microscopie .....                       | 18 |
| <b>Figure 1-5</b> Corrosion généralisée.....  | 18 |
| <b>Figure 1-6</b> Corrosion par piqûres .....   | 19 |
| <b>Figure 1-7</b> Corrosion Caverneuse .....  | 19 |
| <b>Figure 1-8</b> Corrosion galvanique .....  | 20 |
| <b>Figure 1-9</b> Corrosion inter granulaire.....   | 20 |
| <b>Figure 1-10</b> Corrosion sous contrainte mécanique.....                                       | 21 |
| <b>Figure 1-11</b> Corrosion sélective.....   | 21 |
| <b>Figure 1-12</b> Corrosion-érosion .....  | 22 |
| <b>Figure 1-13</b> Corrosion bactérienne .....  | 22 |
| <b>Figure 1-14</b> Corrosion Externe d'une pipe.....  | 23 |
| <b>Figure 1-15</b> Corrosion Interne d'une pipe .....   | 23 |
| <b>Figure 1-16</b> Protection cathodique .....  | 25 |
| <b>Figure 1-17</b> Diagramme Potentiel-pH du fer.....   | 25 |
| <b>Figure 1-18</b> Système de protection par anode galvanique.....                                | 26 |
| <b>Figure 1-19</b> Système de protection par courant imposé .....                                 | 27 |
| <b>Figure 1-20</b> Mesure des potentiels .....  | 28 |
| <b>Figure 1-21</b> Connexion sur terrain pour mesure de potentiel .....                           | 28 |
| <b>Figure 1-22</b> Electrode Cuivre/Sulfate .....   | 29 |
| <b>Figure 1-23</b> Technique de calibration de l'électrode de référence.....                      | 29 |
| <b>Figure 1-24</b> Système d'injection d'inhibiteur de corrosion .....                            | 30 |
| <b>Figure 1-25</b> Schéma du poste de soutirage.....  | 31 |
| <b>Figure 1-26</b> Poste de soutirage simple .....  | 31 |
| <b>Figure 2-1</b> : Les types de la maintenance .....   | 35 |
| <b>Figure 2-2</b> Le contenu de la fonction maintenance .....                                     | 38 |
| <b>Figure 2-3</b> Organisation de la maintenance .....  | 41 |
| <b>Figure 2-4</b> la Révolution industrielle .....  | 42 |
| <b>Figure 2-5</b> Domaine D'application de l'IOT .....  | 45 |
| <b>Figure 2-6</b> Cycle de vie d'un appareil dans l'IoT .....                                     | 46 |
| <b>Figure 3-1</b> Supervision classique .....   | 50 |
| <b>Figure 3-2</b> Solution proposée pour la supervision de la PC en temps réel.....               | 50 |
| <b>Figure 3-3</b> Topologie A à fibre optique.....  | 51 |

## Liste des figures

---

|   |    |
|---|----|
| <b>Figure 3-4</b> Topologie B par radio fréquence .....                   | 52 |
| <b>Figure 3-5</b> Topologie C par le Cloud .....                          | 53 |
| <b>Figure4-1</b> NodeMCU-ESP8266-Pinout .....                             | 58 |
| <b>Figure 4-2</b> SSD1306-OLED-Display .....                              | 59 |
| <b>Figure 4-3</b> Le diviseur de tension .....                            | 59 |
| <b>Figure 4-4</b> Schéma générale .....                                   | 61 |
| <b>Figure 4-5</b> Circuit de pré-régulation .....                         | 62 |
| <b>Figure4-6</b> Circuit AMS1117-3.3.....                                 | 62 |
| <b>Figure 4-7</b> Circuit de Relais G6S-2-12V.....                        | 63 |
| <b>Figure 4-8</b> ESP 12E.....  | 63 |
| <b>Figure 4-9</b> INPUT POUR LE AVR /UART.....                            | 64 |
| <b>Figure 4-10</b> OLED .....   | 64 |
| <b>Figure 4-11</b> Le circuit imprimé.....                                | 65 |
| <b>Figure 4-12</b> modèle 3D .....  | 65 |
| <b>Figure 4-13</b> Code C++ .....   | 67 |
| <b>Figure 4-14</b> Création d'un compte dans le serveur .....             | 67 |
| <b>Figure 4-15</b> création de base des données .....                     | 68 |
| <b>Figure 4-16</b> création d'un tableau dans la base des données .....   | 69 |
| <b>Figure 4-17</b> un script de connexion.....                            | 69 |
| <b>Figure 4-18</b> Afficher les données dans le tableau TBO.....          | 70 |
| <b>Figure 4-19</b> Code d'interface de graphes .....                      | 70 |
| <b>Figure 4-20</b> Code interface de tableaux.....                        | 71 |
| <b>Figure 4-21</b> Résultat de code d'interface de graphes .....          | 71 |
| <b>Figure 4-22</b> Le processus de contrôle.....                          | 72 |
| <b>Figure 4-23</b> Préparation de base des données .....                  | 72 |
| <b>Figure 4-24</b> Préparation des tableaux .....                         | 73 |
| <b>Figure 4-25</b> stocker et récupérer les états de sortie .....         | 74 |
| <b>Figure 4-26</b> Script PHP chargé de recevoir les requêtes .....       | 75 |
| <b>Figure 4-27</b> Affichage de boutons de contrôle .....                 | 76 |
| <b>Figure 4-28</b> Alimentation de la carte électronique.....             | 76 |
| <b>Figure 4-29</b> Supervision de la température dans l'état normal ..... | 77 |
| <b>Figure 4-30</b> Supervision de température après une provocation.....  | 77 |
| <b>Figure 4-31</b> Commande du relais.....                                | 78 |
| <b>Figure 4-32</b> Le fonctionnement du relais .....                      | 78 |
| <b>Figure 5-1</b> ESP8266-NodeMCU.....                                    | 85 |

## Liste des tableaux

---

### Liste des tableaux

|  |    |
|--|----|
| <b>Tableau 2-1</b> Niveaux De Maintenance.....   | 39 |
| <b>Tableau 2-2</b> Composants De L'iot [11] .....                                      | 47 |
| <b>Tableau 3-1</b> Priorite De Chaque Caracteristique .....                            | 54 |
| <b>Tableau 3-2</b> Le Bareme D'evaluation.....   | 55 |
| <b>Tableau 3-3</b> La Matrice De Decision.....   | 55 |
| <b>Tableau 4-1</b> Configuration du brochage de La Carte de developpement Nodemcu..... | 85 |

# **Introduction générale**

---

### Introduction générale

A part quelques éléments nobles tels que l'or ou le platine, par exemple, la plupart des autres métaux se trouvent dans la nature sous forme de minerais (sels ou oxydes) qui constituent des formes plus stables. Pour obtenir les métaux, il faut faire subir aux minerais des transformations (décomposition et réductions) qui détruisent en fait un équilibre naturel. Il en résulte inversement que toute pièce métallique enterrée subit des modifications, plus ou moins rapide selon la nature du métal et son environnement, qui tendent à le ramener à son état premier (état stable). Donc, on peut définir la corrosion comme étant la destruction d'un métal.

Les différents phénomènes englobés sous le vocable général de corrosion peuvent prendre formes telles que la corrosion chimique, corrosion électrochimique, etc.

Les frais de construction des structures métalliques sont toujours élevés, il est donc important d'assurer la bonne gestion du capital ainsi investi. A cet effet, il convient d'accroître au maximum la durée de vie des ouvrages et d'éviter les arrêts imprévus susceptibles d'entraîner des manques à gagner importants.

Il a été estimé que 15 à 20% de la production mondiale en acier est détruite chaque année par la corrosion ; ceci correspond à une perte équivalente de 4 à 5% du produit interne brut de chaque pays industrialisé.

Il est donc indispensable que tous les responsables des ouvrages métalliques connaissent les risques encourus par les canalisations enterrées en fonction de leur nature, de leur situation dans le sol et l'environnement pour prendre les mesures de protection adéquates.

Les systèmes de protection cathodique sont essentiels à la gestion de l'intégrité des pipelines et ils sont utilisés à grande échelle dans les pipelines de transport et de distribution (à haute ou moyenne pression) dans les secteurs du gaz, de la pétrochimie et de l'eau. Pour répondre aux normes de sécurité réglementaires, il est nécessaire de mesurer régulièrement les niveaux de protection cathodique. Les mesures manuelles, mises à part leur coût élevé, ne peuvent qu'indiquer des problèmes après leur apparition, ce qui peut entraîner la non-protection de la canalisation jusqu'à la découverte de la faille.

En général, les techniques couramment utilisées pour surveiller la protection cathodique ne permettent pas de recueillir des données exactes et cohérentes. De plus, la plupart des données actuellement recueillies sur les documents ne sont pas répétables et n'entraînent pas la bonne traçabilité. La télésurveillance de la protection cathodique est un nouveau développement qui automatise le processus de collecte de données et offre aux opérateurs un système de surveillance proactive.

Le travail présenté dans ce mémoire a pour objectif la présentation de quelques notions sur la corrosion et les moyens de lutte contre ce phénomène en se basant sur la technique de la protection cathodique. Pour résoudre ce problème, un système de régulation pour la protection cathodique a été développé. Ce système a pour fonction de surveiller et contrôler la protection cathodique par l'internet des objets (IdO) ou IOT (Internet of things).

Le travail réalisé se compose de quatre chapitres :

- Dans le premier chapitre on présente des définitions générales sur la corrosion et sa protection et plus précisément les bases de la protection cathodique.
- Le deuxième chapitre traite le fonctionnement de la maintenance en générale peut l'industrie 4.0 et le rôle de l'internet des objets pour le développement de cette dernière.
- Dans le troisième chapitre se portera sur les Topologies qu'on a proposées pour le système de supervision.
- Le quatrième chapitre comporte la partie conception de la PCB et les résultats obtenus.
- Enfin, nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale et des perspectives.

# **Chapitre 01**

---

La corrosion et la protection cathodique

## 1.1 Introduction

Dans la nature, la plupart des métaux existent sous forme stable de composants. Pour atteindre une forme stable avec moins d'énergie, un atome de métal perd un ou plusieurs électrons de sa structure. Ces électrons se combineront à d'autres éléments, comme l'oxygène, le soufre ou les chlorures de l'environnement. Pendant ce processus électrochimique, le métal s'oxyde. La corrosion se produit à la suite d'une réaction électrochimique entraînée par une différence de potentiel entre deux électrodes, une anode et une cathode.

Dans le premier chapitre, nous présentons une vue globale sur les principales notions du phénomène de corrosion et sur les différents moyens de lutte contre la corrosion. Parmi ces moyens, la protection cathodique qui est une technique de prévention de la corrosion. Au début, elle était principalement utilisée pour protéger les structures d'acier ordinaires dans le sol et dans l'eau de mer, mais maintenant cette technique est utilisée pour la protection des pipelines enterrés, des ponts, des navires, des plates-formes Offshores, etc.

La protection cathodique est généralement appliquée avec des revêtements pour protéger la structure des effets de pertes de revêtement ou des dommages pouvant commencer à former des piqûres sur la surface du métal. L'application de cette protection a pour but de diminuer le potentiel de polarisation du métal à un niveau pour lequel la vitesse de corrosion du métal est réduite de façon significative.

## 1.2 La Corrosion

### 1.2.1 Définition

La corrosion est un phénomène naturel communément défini comme la détérioration d'une substance, on peut dire qu'il est un processus électrochimique qui détériore le métal en réagissant avec l'environnement. Le processus de corrosion détériore le fer à l'intérieur de l'acier, entraînant la perte de ses principales caractéristiques telles que la dureté ou la résistance.

Ce phénomène est indésirable dans nos applications modernes pourtant, c'est un processus naturel qui dépend de plusieurs facteurs, à savoir : la structure du grain du métal, de sa composition lors de l'alliage et de la température, etc. La corrosion est le processus chimique, électrochimique et physique de conversion d'un métal en un non-métal. Lentement, le métal deviendra chimiquement stable [1]





**Figure 1-1** Métaux corrodés

### 1.2.2 Différents types de la corrosion

D'un point de vue général et macroscopique, il existe deux types de corrosion :

Corrosion uniforme ou générale.

Corrosion locale.

Ainsi, le premier type qui affecte toute la structure d'un métal n'est qu'esthétiquement défavorable, mais ne modifie que légèrement les propriétés mécaniques du matériau.

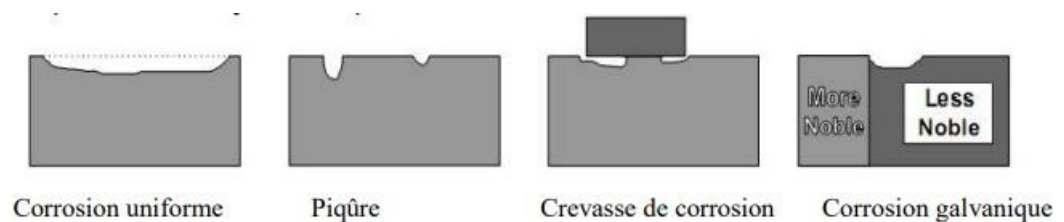
En revanche, la corrosion locale est plus dangereuse car les dégâts qu'elle provoque en profondeur réduisent considérablement la résistance du métal. En général, ce type de corrosion se manifeste dans les matériaux présentant une non-uniformité de surface.

Il existe de nombreuses formes de corrosion locale, mais il est possible de distinguer celles que l'on rencontre couramment.

### 1.2.3 Formes de la corrosion

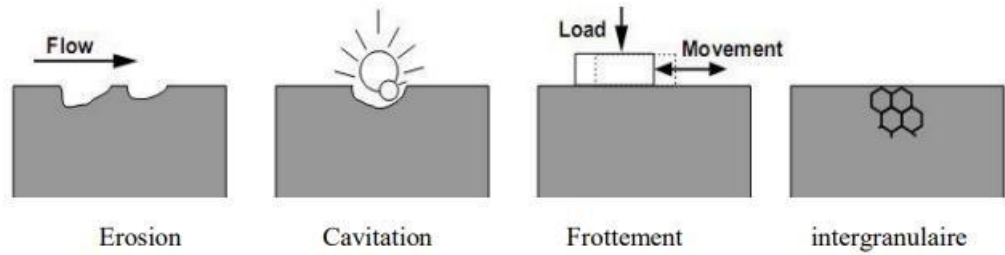
Les formes de corrosion ont été classées selon leurs modes d'identification en trois groupes :  
[2]

**Groupe I** : aisément identifiable par un examen visuel.



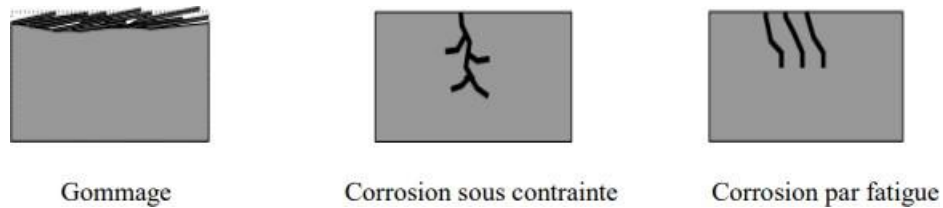
**Figure 1-2** Formes de corrosion identifiable par examen visuel

**Groupe II:** identifiable par des moyens supplémentaires d'examens.



**Figure 1-3** Formes de corrosion identifiable par des moyens supplémentaires d'examens

**Groupe III:** une vérification est exigée par la microscopie (optique, électronique) (c)

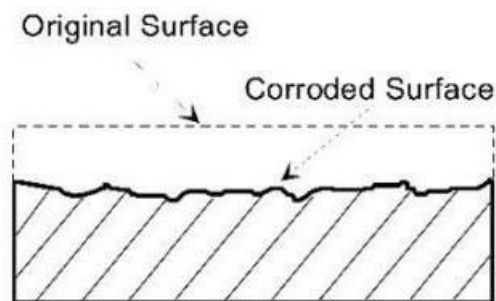


**Figure 1-4** Formes de corrosion identifiable par la microscopie

### Corrosion généralisée (uniforme)

Le type de corrosion le plus connu est aussi le plus facile à détecter et à prévoir. Une corrosion uniforme conduit rarement à une défaillance catastrophique, mais ce n'est pas impossible.

Pour cette raison, la corrosion généralisée est souvent considérée comme gênante plutôt que comme un problème sérieux. Elle attaque les surfaces métalliques de manière relativement uniforme.



**Figure 1-5** Corrosion généralisée

### La corrosion par piqûres

Il est produit à partir de certains anions, notamment des chlorures, sur des métaux protégés par une fine pellicule d'oxyde. Cela induit généralement des vides d'un diamètre de plusieurs dizaines de microns.



**Figure 1-6** Corrosion par piqûres

### Corrosion par crevasses

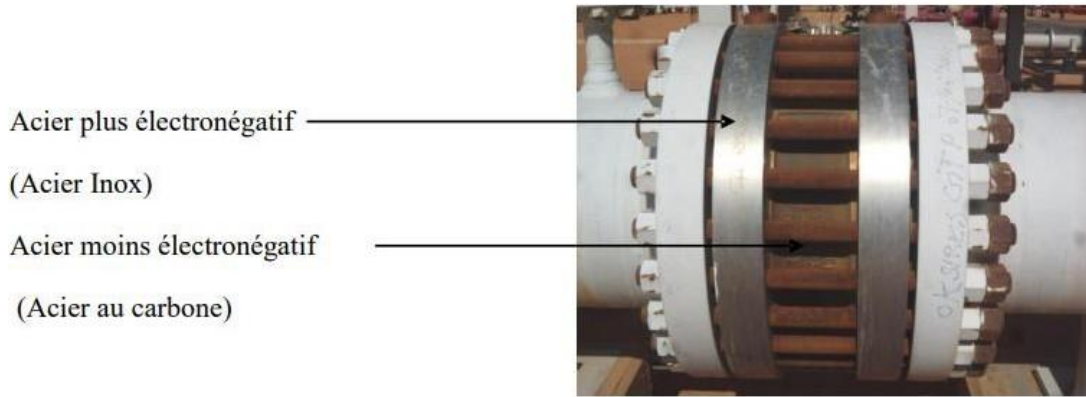
Dans les systèmes de fluides, il existe généralement des espaces entre le tuyau et les supports ou colliers qui le supportent, entre deux sections adjacentes du tuyau, ou sous la boue ou les débris qui peuvent s'être accumulés à la surface. Il est pratiquement impossible d'éviter cela, mais si ces écarts sont faibles, le risque de corrosion est très élevé.



**Figure 1-7** Corrosion Caverneuse

### Corrosion galvanique

Aussi appelée corrosion bimétallique, c'est parce que des cellules électrochimiques se forment entre les deux métaux. La détérioration des métaux à faible résistance sera sévère.



**Figure 1-8** Corrosion galvanique

### Corrosion inter-granular

Cette forme de corrosion se manifeste par une attaque locale des joints de grains du matériau. Cette dernière forme en fait des zones chaotiques par rapport à un réseau cristallographique plus régulier de particules. [3]



**Figure 1-9** Corrosion inter granulaire



### Corrosion sous contrainte

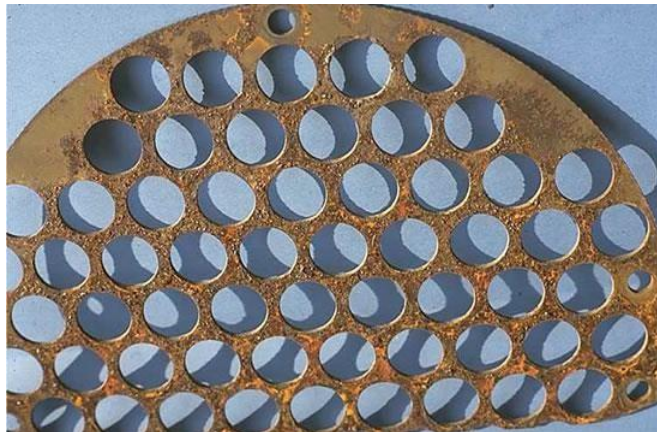
Ce type de corrosion se définit comme le processus de fissuration pouvant conduire à la rupture complète de la pièce sous l'action conjuguée d'une contrainte mécanique et d'un environnement corrosif. En général, les contraintes mécaniques seules ne peuvent pas détruire un matériau, et le milieu est souvent peu ou non agressif. L'exposition simultanée à des contraintes et à des environnements corrosifs provoque la fissuration du métal. Les fissures se trouvent aux joints de grains ou à l'intérieur des grains et existent souvent sous une forme ramifiée.



**Figure 1-10** Corrosion sous contrainte mécanique

### Corrosion sélective

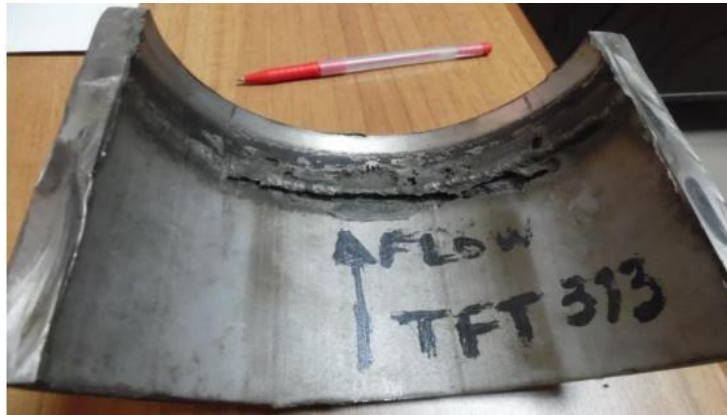
L'un des composants d'un alliage se corrode préférentiellement.



**Figure 1-11** Corrosion sélective

### Corrosion-érosion

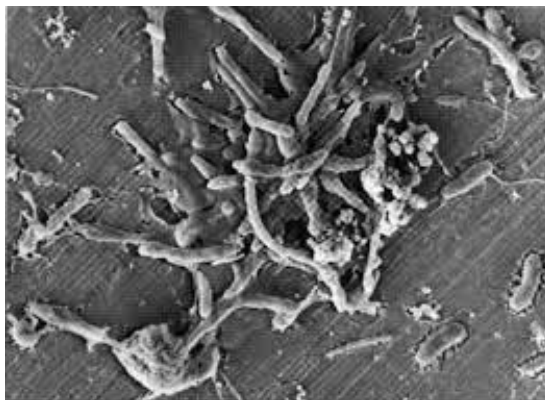
Liée à l'action conjointe d'une corrosion électrochimique et d'une abrasion mécanique du fait de la vitesse d'écoulement d'un fluide.



**Figure 1-12** Corrosion-érosion

### Corrosion bactérienne

La corrosion bactérienne rassemble « tous les phénomènes de corrosion où des bactéries, agissant directement ou par l'intermédiaire des substances provenant de leur métabolisme, jouent un rôle primordial, soit en accélérant un processus déjà établi, soit en créant les conditions favorables à son établissement » (Chantereau, 1980). C'est un cas particulier de corrosion électrochimique qui concerne un métal en contact avec une phase aqueuse. Schématiquement, il est possible d'assimiler la phase métallique à un réseau cristallin d'atomes dans lequel se déplacent des électrons de conduction. La phase aqueuse autorise aussi la conduction électrique, non par déplacement d'électrons mais par mobilité ionique. Remarquons que la terminologie utilisée dans le domaine de la corrosion est homologue à celle utilisée dans le domaine de l'électrolyse. Anode et cathode sont lieux de demi-réactions homologues en corrosion et en électrolyse. La différence essentielle dans ces deux domaines réside dans la mise en œuvre de la réaction. Alors qu'en corrosion les demi-réactions sont spontanées, en électrolyse, elles nécessitent l'implication d'un courant électrique. [4]



**Figure 1-13** Corrosion bactérienne

### 1.2.4 Corrosion des pipelines

A cet égard, on distingue en général la corrosion externe et la corrosion interne.

#### Corrosion externe

En l'absence de corrosion, la conception des installations pétrolières est basée uniquement sur la mécanique et le coût. Cela signifie que l'acier est un matériau de construction presque universel et doit être protégé de la corrosion de l'environnement naturel. Ensuite, la corrosion de l'air, de la mer et du sol est résumée en termes de corrosion externe. Dans ce domaine, la technologie préventive a beaucoup évolué avec les avancées technologiques.



**Figure 1-14** Corrosion Externe d'une pipe

#### Corrosion interne

Dans ce cas, d'une part, on distingue le problème de la dissolution et ses effets en termes de perte d'épaisseur et de surépaisseur de corrosion, et d'autre part, on distingue le problème des fissures et son impact direct sur la sécurité. Cela peut empêcher la lyse en inhibant le traitement, même si seuls les humains sont susceptibles de connaître des défaillances temporaires répétées (interruptions d'approvisionnement, injections incorrectes). En revanche, pour éviter les fissures, il faut choisir un métal résistant. En effet, la mise en place et le contrôle du métal garantissent la fiabilité requise.



**Figure 1-15** Corrosion Interne d'une pipe

### 1.2.5 Facteurs affectant le taux de corrosion

Il est possible de distinguer cinq facteurs qui jouent un rôle prépondérant et qui ont une incidence sur la vitesse à laquelle la corrosion se produit dans les matériaux, tels que : l'oxygène, la température, les sels chimiques, l'humidité, les polluants et les gaz.

### 1.2.6 Protection contre la corrosion

La lutte contre la corrosion est une préoccupation constante dans beaucoup de domaines industriels, elle doit être prise en considération depuis le début d'un projet et jusqu'à sa réalisation, il s'agit de garantir une certaine durée de vie à un objet pour un minimum de charges.

Il existe différentes méthodes éprouvées pour prévenir et contrôler la corrosion. Il n'existe pas de solution universelle vu la complexité du problème, il n'existe pas de métal inaltérable.

Pour chaque milieu, il existe un alliage moins exposé.

Quatre types de solutions peuvent être retenus, avec différents principes de mise en œuvre :

- Utilisation de revêtements protecteurs, non métalliques ou métalliques.
- Métaux et alliages résistants à la corrosion.
- Autoprotection par passivité du métal.
- Protection cathodique ou électrochimique.

La méthode de la protection cathodique (CP) est la plus utilisée. [5]

## 1.3 La protection cathodique

### 1.3.1 Définition

La protection cathodique est une technique permettant de réduire la vitesse de corrosion d'un matériau métallique, en présence d'un milieu aqueux, en diminuant le potentiel de corrosion du métal (polarisation cathodique d'où le terme protection cathodique). L'ouvrage métallique à protéger est alors placé à un potentiel tel que la vitesse de corrosion devient acceptable sur toute la surface du métal en contact avec le milieu aqueux. La protection cathodique a pour fonction de réduire la différence de potentiel entre les anodes et les cathodes à une valeur suffisamment faible, voire négligeable. De cette façon, le courant de corrosion est réduit en conformité avec la loi d'Ohm. Quel que soit le système, l'efficacité de la protection dépend de la densité de courant cathodique (c'est-à-dire du potentiel d'électrode atteint) à la surface du métal à protéger. La valeur du potentiel ainsi obtenu sert de base pour estimer l'efficacité de la protection. [6]



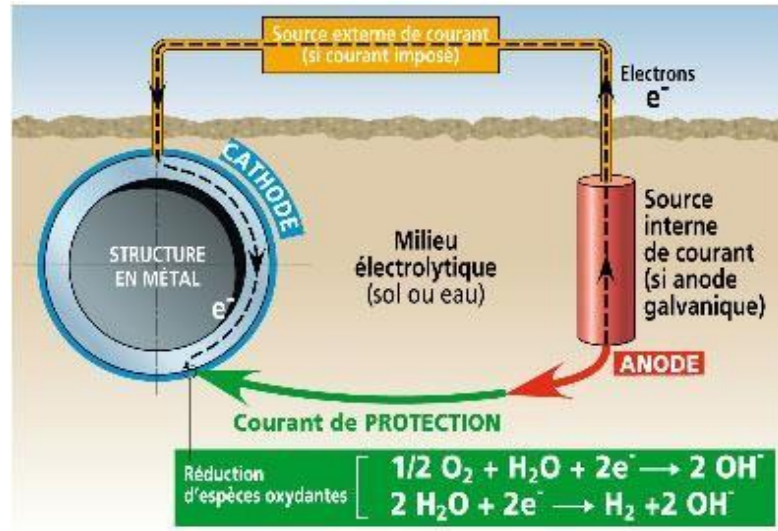


Figure 1-16 Protection cathodique

1.3.2 Principe de fonctionnement de la protection cathodique

Le principe de la protection cathodique fait par la circulation d'un courant électrique entre une anode auxiliaire et le matériel à protéger qui constitue la cathode. La protection cathodique envoie un courant électrique continu dans l'ouvrage susceptible de se corroder, qu'il soit enterré ou immergé.

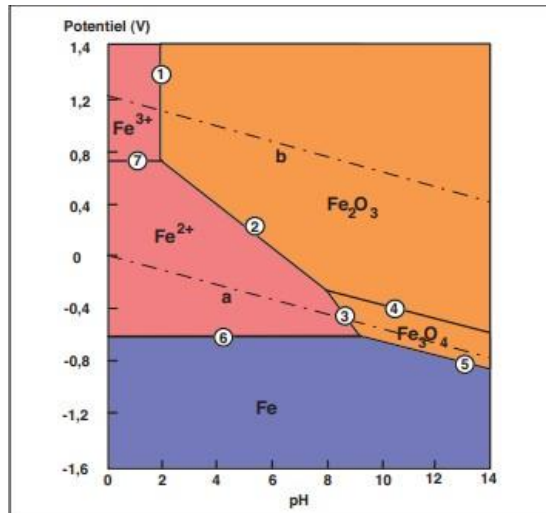


Figure 1-17 Diagramme Potentiel-pH du fer

Pour favoriser une cheminée corrosive, quatre éléments clés sont nécessaires : cathode, anode, électrolyte et chemin physique. En supprimant l'un de ses éléments, la cheminée corrosive est supprimée.

- **La cathode :** Composée de pièces protégées de la corrosion. La cathode est connectée à la borne d'alimentation négative et attire les particules chargées positivement.

- **Anode** : Où la corrosion se produit. L'anode utilisée pour la protection cathodique des structures enterrées n'est pas en contact direct avec le sol enterré. La raison en est que le sol contient de nombreux minéraux et autres produits chimiques qui peuvent affecter l'anode et réduire son efficacité. L'un des effets nocifs que les minéraux peuvent causer est l'accumulation d'un film à haute résistance à la surface de l'anode, ce qui affecte sa conductivité.
- **Sol électrolytique ou eau ou environnement conducteur** : Les électrolytes jouent un rôle important dans le processus de corrosion car leur présence provoque une réaction entre deux métaux différents.
- **Chemin physique** : Connectez physiquement l'anode à la cathode [7].

### 1.3.3 Types de la protection cathodique

Deux types de protection cathodique sont utilisés pour fournir le courant nécessaire pour contrer les phénomènes de corrosion.

#### Protection Cathodique par Anode Sacrificielle ou galvanique (SACP):

Certains métaux ou alliages disposés dans le même milieu électrolytique que la structure à protéger présentent une potentielle électrode (mesurée par rapport à une électrode de référence) inférieure à celui du métal constitutif de l'ouvrage. Dans tous les cas les anodes pour protection cathodique doivent être impérativement constituées d'alliages spécifiques qui ont été préalablement qualifiés par des mesures permettant de connaître leurs caractéristiques électrochimiques, notamment leur réactivité et leur polarisabilité, sur le long terme.

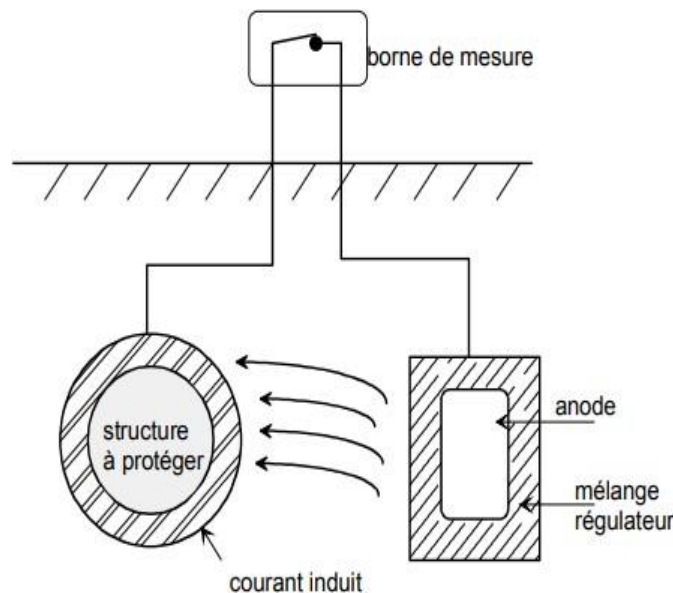


Figure 1-18 Système de protection par anode galvanique

### Protection cathodique à courant imposé (ICCP) :

Cette méthode utilise un générateur extérieur et une anode auxiliaire. Elle offre l'avantage de pouvoir régler la f.e.m ou le courant en fonction des besoins, ceci permet d'optimiser le système et de protéger de grandes surfaces.

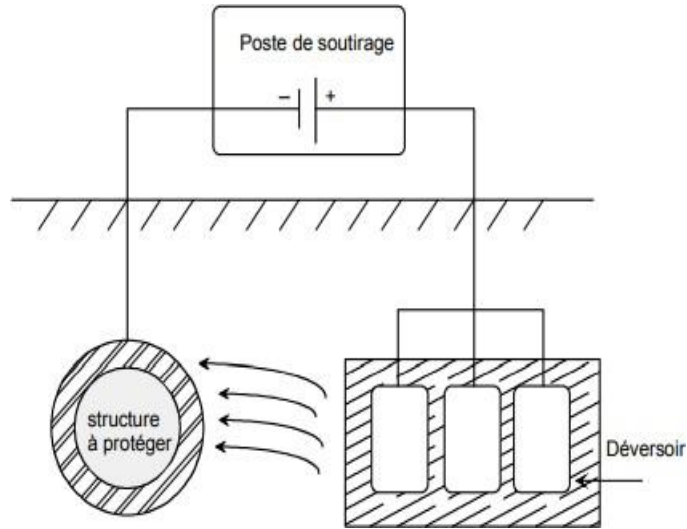


Figure 1-19 Système de protection par courant imposé

#### 1.3.4 Contrôle de l'efficacité de la protection cathodique contre la corrosion

Le contrôle de l'efficacité de la protection contre la corrosion d'une construction souterraine consiste à vérifier, par des mesures adéquates de potentiel et de courant, que les critères de protection cathodique sont bien atteints en tous points de l'ouvrage. Mais ce contrôle doit également mettre l'accent sur la vérification de cette protection passive. C'est pourquoi il faudra évaluer la valeur d'isolation du revêtement, comme il sera nécessaire de vérifier l'isolement par rapport à d'autres structures enterrées (conduites, fourreaux, tubages...), et l'efficacité des raccords isolants. [8]

#### 1.3.5 Points de mesure

Ils sont destinés à contrôler le potentiel d'une canalisation par rapport au sol. Le nombre de points de mesure dépend de la configuration de l'ouvrage.

#### 1.3.6 Mesure de potentiel

La mesure du potentiel des canalisations dans le sol est indispensable pour contrôler l'efficacité de la protection cathodique. On mesure le potentiel par l'intermédiaire d'électrodes de référence.

L'électrode de référence la plus utilisée c'est l'électrode au sulfate de cuivre  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ .

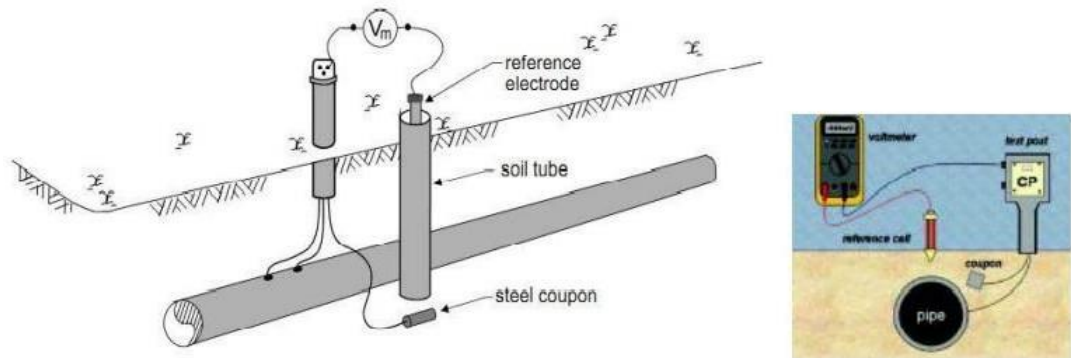


Figure 1-20 Mesure des potentiels

### 1.3.7 Raccordement terrain pour mesure de potentiel

Il s'agit du potentiel du tuyau encastré mesuré par rapport à l'électrode de référence stable. L'électrode de référence doit être placée directement au-dessus de l'axe du tuyau pour des mesures précises. Le tube doit être connecté à la borne négative du voltmètre et l'électrode de référence doit être connectée à la borne positive. Grâce à cette connexion, le courant circule de l'électrode positive du voltmètre à l'électrode négative.

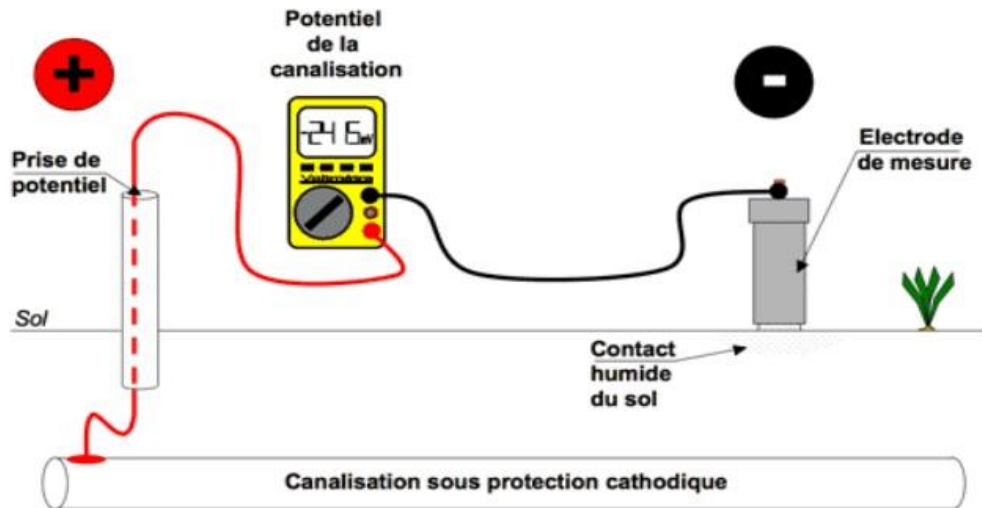


Figure 1-21 Connexion sur terrain pour mesure de potentiel

### 1.3.8 L'électrode de référence

Cette électrode de référence est une demi-pile utilisée pour mesurer le potentiel d'une autre électrode. Il existe plusieurs types d'électrodes de référence, mais les types les plus courants

sont l'électrode saturée en Cuivre/ Sulfate de Cuivre (CSE), l'électrode en Argent/ Chlorure d'Argent (SSC) et l'électrode en Calomel Saturé (SCE).

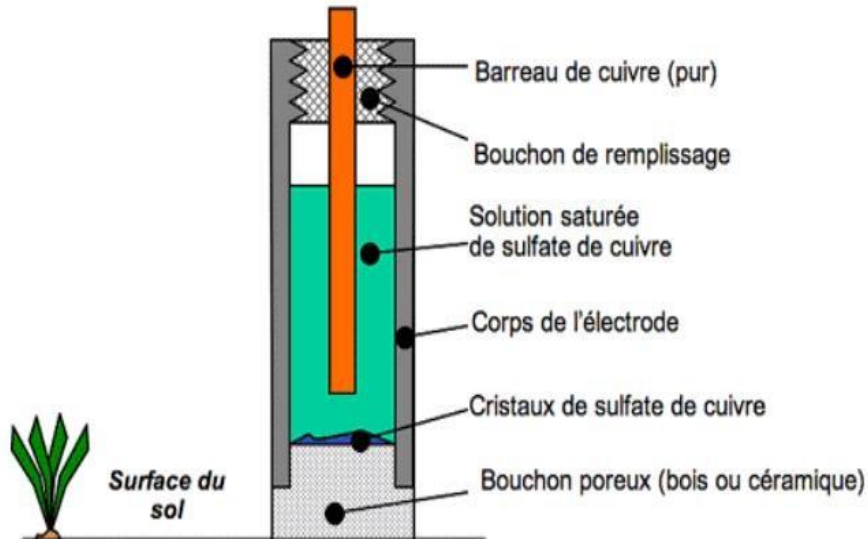


Figure 1-22 Electrode Cuivre/Sulfate

### 1.3.9 Calibration de l'électrode de référence

Cela peut être fait en mesurant la différence de tension entre la référence utilisée et une autre référence standard (inutilisée). Si la différence de tension entre les deux électrodes de référence dépasse 5 mV, la maintenance de l'électrode de référence dédiée pour la mesure est nécessaire. [9]

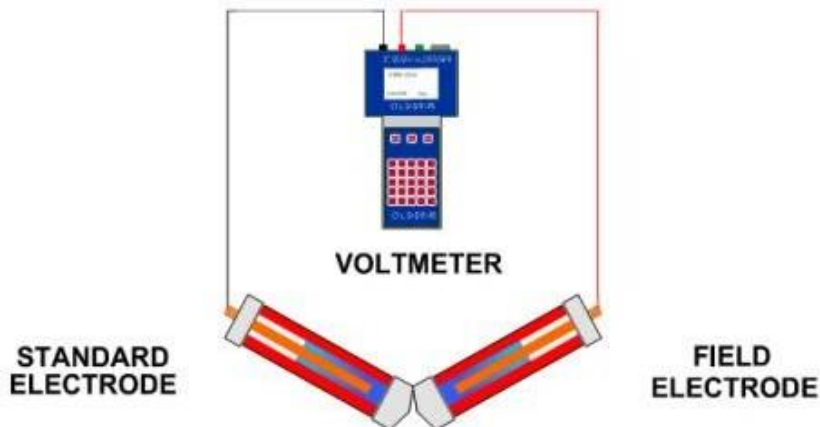


Figure 1-23 Technique de calibration de l'électrode de référence

### 1.3.10 Principaux domaines d'application de la protection cathodique

La protection cathodique est généralement utilisée en association avec un autre mode de protection conventionnel par revêtement ou par peinture, ceci afin de limiter la densité de courant fournie par les anodes ou le générateur. Parmi les principaux domaines d'application on peut citer :

- **Les structures enterrées** : Il s'agit des canalisations, des réservoirs de stockage, etc. La disposition des anodes est fonction de la taille des installations.
- **Les structures immergées** : Carènes ou installations fixes (jetées, appontements, plates- formes de forage offshore) en eau de mer ou en eau douce.
- **Les structures contenant l'agent corrosif** : Réservoirs, citernes, cales de navires, conduites, condenseurs...

### 1.4 Injection d'inhibiteur de corrosion

Selon la définition donnée par la Nationale Association of Corrosion Engineers (NACE), un inhibiteur de corrosion est une substance chimique qui, ajoutée à faible concentration au milieu corrosif, ralentit ou stoppe le processus de corrosion d'un métal placé au contact de ce milieu, sans modifier la nature de ce dernier.

#### 1.4.1 Un système d'injection d'inhibiteur de corrosion

Un système d'injection est mis en place pour protéger les équipements de surface et maintenir leur intégrité. Cet appareil comprend :

- Réservoir rigide rempli de "suppresseur" chimique.
- Pompe à injection.
- Débitmètre pour mesurer le débit.

L'injection d'inhibiteur de corrosion se fait en tête de puits.



**Figure 1-24** Système d'injection d'inhibiteur de corrosion



1.5 Poste de soutirage

Le fonctionnement d'un poste de soutirage (redresseur) consiste à :

- Imposer un courant de protection à partir d'une masse anodique (déversoir anodique) au profit d'un objet métallique, la cathode.
- Abaisser le potentiel du métal vers son domaine d'immunité contre la corrosion

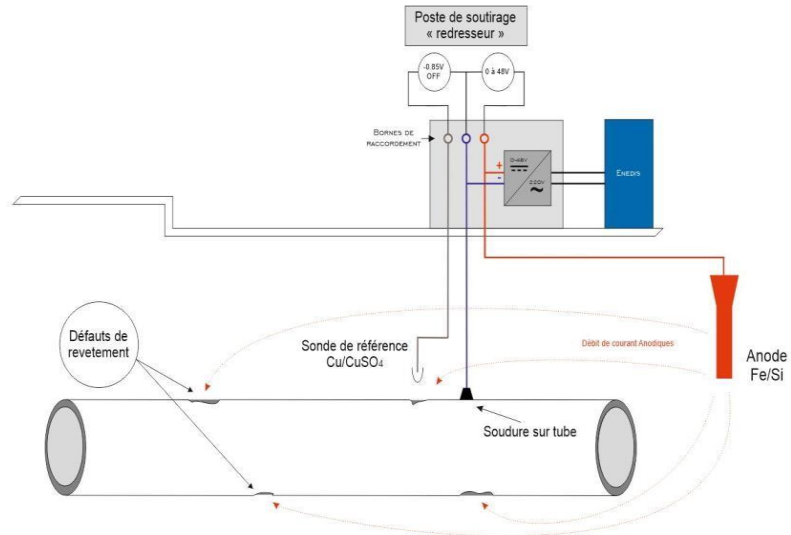


Figure 1-25 Schéma du poste de soutirage

Un poste de soutirage comprend au minimum :

- Une source d'énergie.
- Un déversoir.
- Des câbles de liaison.
- Un appareillage électrique auxiliaire.

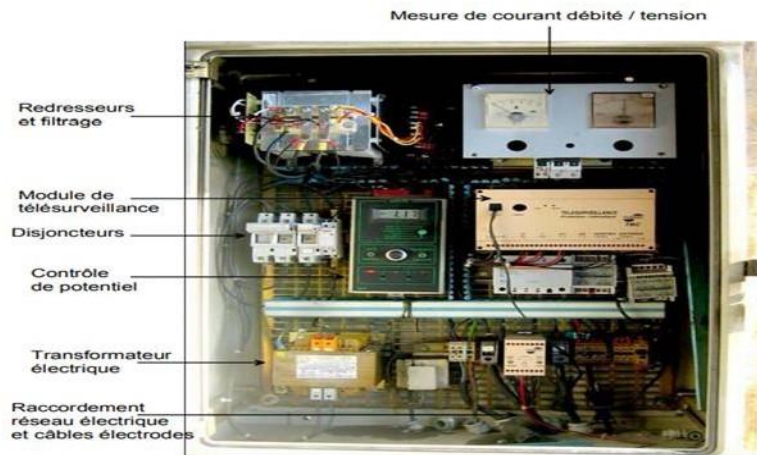


Figure 1-26 Poste de soutirage simple

**1.6 Besoin de surveillance à distance**

L'un des problèmes critiques auxquels sont confrontés les opérateurs des systèmes de protection cathodique est celui de la surveillance et de la maintenance.

- Les installations peuvent être situées dans des zones éloignées ou difficiles d'accès.
- La surveillance peut prendre beaucoup de temps et épuiser les ressources humaines.
- Les environnements de travail sont souvent dangereux. [6]

**1.7 Conclusion**

La corrosion est le principal facteur de détérioration des pipelines dans l'industrie pétrolière et gazière. Des coûts énormes sont dépensés chaque année pour atténuer la corrosion.

La protection cathodique est la méthode la plus utilisée dans la lutte contre la corrosion mais cette méthode manque de la surveillance.

Dans le prochain chapitre nous présentons les différents types de maintenance puis on va entamer l'industrie 4.0 et l'internet des objets.



## **Chapitre02**

---

### La maintenance et l'internet des objets

## 2.1 Introduction

La maintenance fait partie des métiers de l'entreprise, mais ce n'est pas une fin en soi. En tant que tel, il est difficile à lire et parfois mal interprété par les décideurs qui sous-estiment son impact, La maintenance devient un élément de plus en plus sensible de la performance des entreprises.

Grâce aux percées dans les domaines des technologies de l'information, des communications mobiles et de la robotique, les technologies numériques sont de plus en plus utilisées dans les entreprises du monde entier.

La télémaintenance est née dans ce contexte pour donner au personnel de maintenance un accès à distance aux différentes installations tout en minimisant les coûts et le temps d'intervention, cet accès peut être réalisé qu'avec l'internet des objets (IOT). L'IoT constitue la prochaine génération de la révolution numérique. Les objets connectés sont des personnes avec des implants cardiaques qui transmettent des données, des objets intelligents économes en eau qui permettent un contrôle automatique et intelligent de leur environnement, des animaux avec des puces intelligentes, des voitures avec des capteurs qui affichent la pression des pneus, etc., ou tout autre objet ayant une adresse IP associée et pouvant envoyer des informations. [10]

## 2.2 Définition de la maintenance

L'AFNOR en 1994 (norme NFX 60-010), La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifique ou en mesure d'assurer un service déterminé. Dans une entreprise, maintenir, c'est donc effectué des opérations (dépannage, réparation, graissage, contrôle, etc.) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la production avec efficacité et qualité.

## 2.3 Rôle de la maintenance

Le service maintenance doit mettre en œuvre la politique de maintenance définie par la direction de l'entreprise tout en permettant d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production. La fonction maintenance sera alors amenée à établir des prévisions ciblées :

**Prévisions à long terme :** Elles concernent les investissements lourds ou les travaux durables.

**Prévisions à moyen terme :** La maintenance doit se faire la plus discrète possible dans le planning de charge de la production.

**Prévisions à courts termes :** Elles peuvent être de l'ordre de la semaine, de la journée, voire de quelques heures.

## 2.4 Les objectifs de la maintenance

"Le zéro panne c'est l'objectif principal de la maintenance."

L'objectif principal est d'assurer une productivité globale maximale tout en optimisant les coûts.

On peut les classer en deux catégories :

**2.4.1 Objectifs financiers**

- Minimiser les coûts d'opérations.
- Augmenter au maximum les profits.
- Réduire les dépenses de la maintenance.

**2.4.2 Objectifs opérationnels**

- Optimiser les actions de maintenance (la limitation du nombre d'interruptions de service et la réduction des durées de pannes accidentelles).
- Assurer la qualité et la quantité des produits fabriqués, tout en respectant les délais.
- Maintenir un haut niveau de qualité dans le travail effectué par les services de maintenance, notamment en améliorant la qualité des produits et en prolongeant la durée de vie des équipements.
- Assurer une performance (rendement) de haute qualité.
- Assurer la disponibilité d'équipements

**2.5 Les types de maintenance**

Les prestations de maintenance sont essentielles pour anticiper et réparer les pannes de machines comme d'un système informatique ; réduire les risques des entreprises industrielles. Cependant, il existe différents types de maintenance, déclinés en deux familles la maintenance préventive et la maintenance corrective.

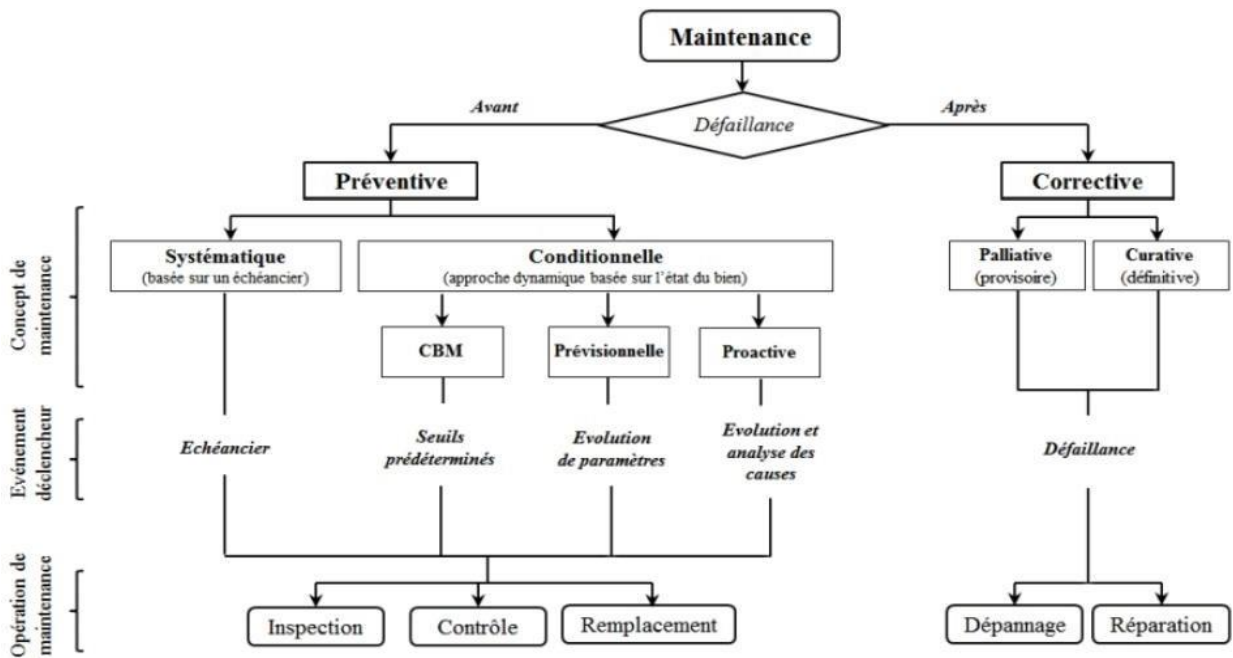


Figure 2-1 : Les types de la maintenance.

### 2.5.1 Maintenance préventive

Maintenance effectuée selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu.

#### Maintenance systématique

Maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi à partir d'un nombre déterminé d'unités d'usage.

#### Maintenance conditionnelle

On l'appelle aussi maintenance prédictive. C'est la maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé. Elle se caractérise par la mise en évidence des points faibles.

#### Maintenance prévisionnelle

Maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et de planifier les interventions.

### 2.5.2 Maintenance corrective

Ensembles des activités réalisées après la défaillance d'un bien, ou la dégradation de sa fonction, pour lui permettre d'accomplir une fonction requise.

#### Maintenance palliative

Activités de maintenance corrective destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise, appelée couramment « Dépannage ».

#### Maintenance curative

Activités de maintenance corrective ayant pour objet de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise.

## 2.6 Opérations de maintenance

### 2.6.1 Opérations de maintenance corrective

- **Localisation** : Action conduisant à rechercher précisément les pièces par les quels la défaillance se manifeste.
- **Diagnostic** : Action consistant à identifier les causes probables des défaillances ou de l'évolution d'un ou de plusieurs paramètres significatifs de dégradation, à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations.
- **Dépannage** : Action consécutive à la défaillance du bien, en vue de le rendre apte à accomplir une fonction requise, au moins provisoirement.
- **Réparation** : Action définitive de maintenance à la suite d'une défaillance.

- **Révision** : Ensemble des opérations de maintenance effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné.

### 2.6.2 Opérations de maintenance préventive :

- **Inspection** : Action de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie
- **Contrôle** : Consiste à mesurer, examiner, passer au calibre et faire la vérification de la conformité de caractéristiques du bien.
- **Vérification** : Action permettant de constater que les écarts entre les valeurs indiquées par un appareil de mesure et les valeurs de référence connues sont inférieures aux erreurs maximales tolérées.
- **Visite** : Action de maintenance préventive consistant en un examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différentes pièces du bien.
- **Rénovation** : Inspection complète de tous les organes, reprise dimensionnelle complète ou remplacement des pièces déformées, vérification des caractéristiques et éventuellement réparation des pièces et des sous-ensembles défaillants, conservation des pièces bonnes. La rénovation apparaît donc comme l'une des suites possibles d'une révision générale au sens strict de sa définition.
- **Reconstruction** : Elle sert à faire la remise en l'état par le cahier des charges initial, qui impose le remplacement des pièces vitales par des pièces d'origine ou des pièces neuves équivalentes et la reconstruction peut être assortie d'une modernisation ou de modifications.
- **Modernisation** : Remplacement d'équipements, accessoires et appareils, ou éventuellement de logiciels apportant une amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien.
- **Échange standard** : Reprise d'une pièce, d'un organe ou d'un sous ensemble usagé, et vente au même client d'une pièce, d'un organe ou d'un sous ensemble identique, neuf ou remis en état conformément aux spécifications du constructeur.

## 2.7 La fonction maintenance

La fonction maintenance peut être présentée comme un ensemble d'activités regroupées en deux sous-ensembles les activités à dominante technique et les activités à dominante gestion.

### 2.7.1 Les activités techniques

Représentent les tâches industrielles de maintenance et de surveillance pour assurer le bon fonctionnement des machines de production.

2.7.2 Les activités gestion

Représentent les tâches de gestion des parcs d'équipements, des ressources diverses, des documents, de la gestion des achats, de la gestion des investissements.

La maintenance a été évoluée au fil du temps pour devenir un domaine complexe qui requiert des compétences variées, y compris des méthodes d'investigation opérationnelle pour optimiser différents aspects :

- Optimisation des coûts.
- Gestion du magasin de pièces de rechange.
- Planifier et programmer les interventions en tenant compte de la capacité d'action de l'entreprise.
- Compétences diagnostiques et prédictives pour effectuer la maintenance préventive.

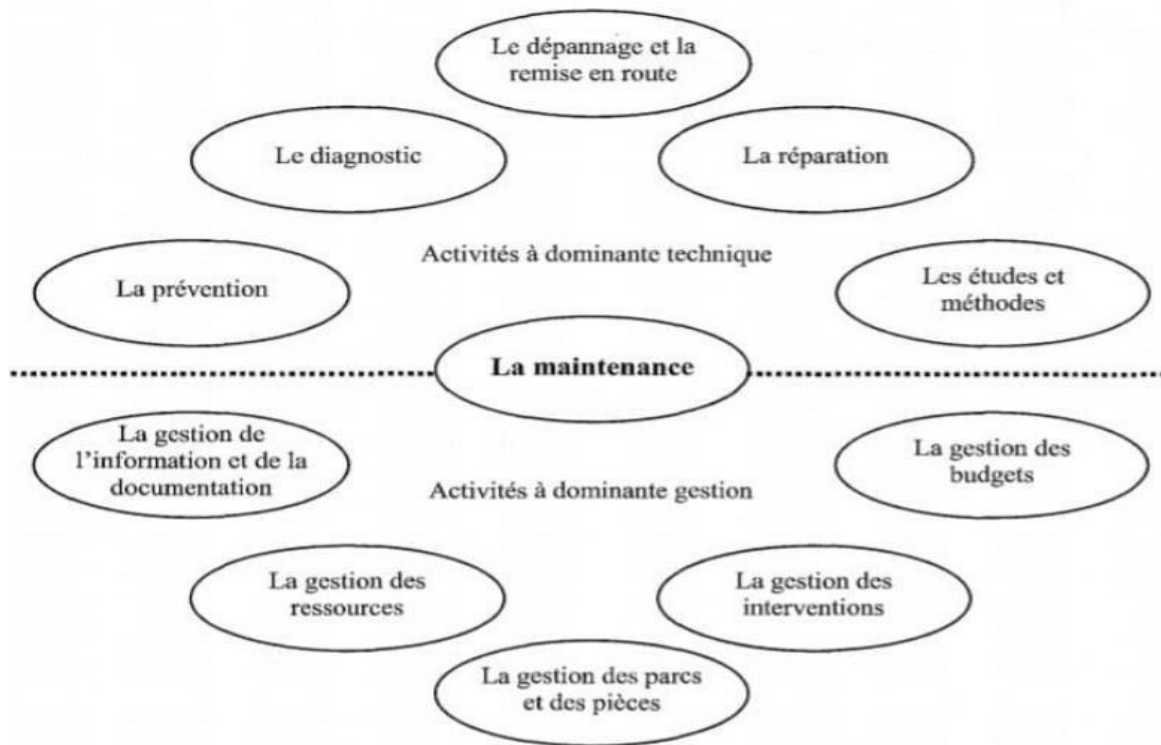


Figure 2-2 Le contenu de la fonction maintenance

2.8 Critères pour le choix d'une forme de maintenance

Le choix de la forme de maintenance se fera en fonction de divers critères résumés en :

- Connaissance sur le comportement du matériel.
- Historique.
- Banques de données et retour d'expérience.
- Jugement d'expert
- Coûts importants entraînés par les défaillances.
- Coûts inconnus.
- Pannes totalement aléatoires

**2.9 Niveaux de maintenance**

Ils sont au nombre de cinq (05), nous les résumons dans le tableau suivant :

**Tableau 2-1** Niveaux de maintenance

| Niveaux                 | Types de travaux  | Personnel d'interventi                       | Moyens  |
|-------------------------|---|--|---|
| 1 <sup>er</sup> niveau  | Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage d'équipement, ou échange d'éléments accessibles en toutesécurité. | Pilote ouconducteur du système               | Outillage le défini dans les instructions d'utilisation.  |
| 2 <sup>ème</sup> niveau | Dépannage par échange standardd'éléments prévus à cet effet, ou d'opérations mineures de maintenance préventive (rondes)  | Technicien habilité                          | Outillage léger défini dans les instructions d'utilisation et pièces de rechanges disponibles sans délai. |
| 3 <sup>ème</sup> niveau | Identification et diagnostic de pannes, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures.                                       | Technicien spécialisé                        | Outillage prévu et appareilsde mesure, banc d'essai, contrôle...  |
| 4 <sup>ème</sup> niveau | Travaux importants de maintenance corrective ou préventive  | Equipe encadrée par un technicien spécialisé | Outillage général et spécialisé, matériels d'essais, de contrôle...                                       |
| 5 <sup>ème</sup> niveau | Travaux de rénovation, de reconstruction ou réparation importantes confiées à un atelier central  | Equipe complète et polyvalente               | Moyens proches de la fabrication  |

**2.10 Autres aspects de la maintenance**

La notion de fiabilité maintenabilité disponibilité constitue les indices majeurs d'une stratégie d'optimisation des activités de maintenance au sein d'une entreprise.

**2.10.1 La fiabilité**

C'est la capacité d'un élément à remplir une fonction souhaitée dans des conditions spécifiées pendant un temps spécifié. Son indice est le MTBF

La notion de temps peut prendre la forme de :

- a) Nombre de cycles effectués.
- b) Distance de déplacement.
- c) Tonnage de production

- **Signification de la MTBF**

Le MTBF signifie moyenne des temps de bon fonctionnement. Cet indicateur indique la durée moyenne d'un équipement en bon fonctionnement (en production). Il se calcule ainsi :

$$\text{MTBF} = \frac{\text{somme de temps de fonctionnement entre les (n) défaillances}}{\text{nombre d'intervention de maintenance avec immobilisation}}$$

### 2.10.2 La maintenabilité

Aptitude d'un élément à rester ou à être restauré dans son état fonctionnel lorsque l'entretien est effectué dans les conditions d'utilisation pour lesquelles il a été conçu. Son indice est le MTTR

- **Signification de la MTTR**

MTTR signifie moyenne des temps techniques de réparation. Cet indicateur indique le temps moyen des différentes actions de maintenance prises pour un équipement. Il s'exprime de la façon suivante :

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Temps total d'arrêts}}{\text{nombre d'arrêts}}$$

### 2.10.3 La disponibilité

Aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps déterminées. C'est un indice qui inclut les précédents. Habituellement, c'est cet indice qui est mesuré car il est plus complet. Il détermine la disponibilité d'un équipement à effectuer son travail dans le temps. On le calcule ainsi :

$$D = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

## 2.11 Organisation des opérations de maintenance

Deux types d'organisation peuvent être mises en place selon la spécificité et la taille de l'entreprise :

### 2.11.1 Maintenance centralisée

Ce type d'organisation permet de centraliser toutes les activités de maintenance sous la forme d'une entité unique. Cette unité gère la maintenance globale de l'ensemble de l'entreprise (ateliers et secteurs).

Les avantages de ce type d'organisation sont :

- La facilité de planning
- La facilité de surveillance
- Des magasins bien équipés
- Le contrôle effectif de la main-d'œuvre

### 2.11.2 Maintenance décentralisée

Chaque domaine d'activité dispose d'ateliers de maintenance départementaux. Les caractéristiques de ce type d'organisation sont les suivantes :



- Un service rapide
- Des Connaissances spécialisées
- Une prise en charge de chaque installation
- Moins de paperasse
- Des frais réels de maintenance par poste de travail.

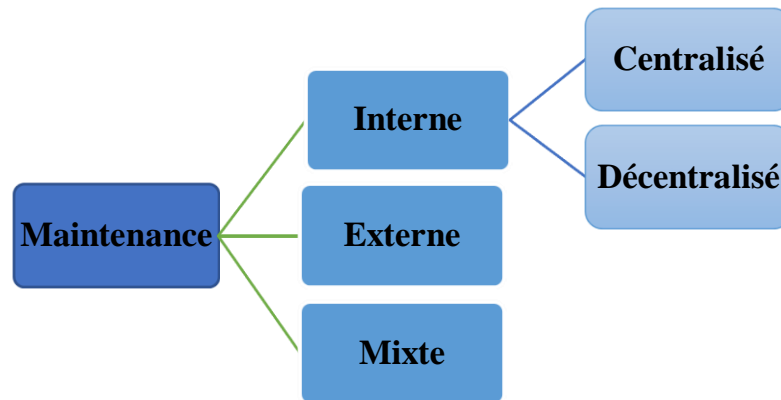


Figure 2-3 Organisation de la maintenance

### 2.12 Coûts de maintenance

Les coûts de maintenance correspondent aux coûts directement liés à la maintenance. Au sens comptable du terme, les coûts de maintenance peuvent être analysés par type et par destination. Elles peuvent résulter soit de l'exploitation, soit de l'investissement. Certains articles peuvent inclure des coûts financiers tels que la maintenance des stocks ou les frais de stockage. Le maintien de la production en quantité et en qualité passe obligatoirement par l'efficacité de la maintenance de l'outil de production.

L'analyse des coûts permet de :

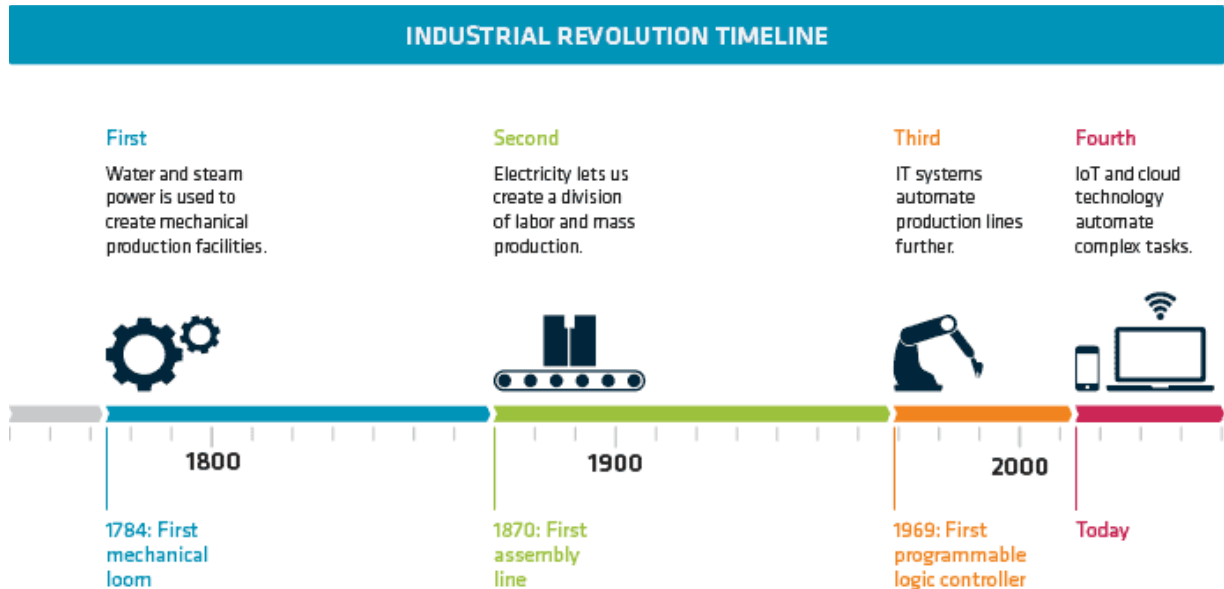
Suivre les dépenses et de respecter le budget,

Vérifier l'efficacité de la maintenance (suivi de ratios),

Renouveler le matériel [11]

### 2.13 La Révolution Industrielle

Les avancées technologiques changent aussi la manière dont les humains produisent les choses. Le passage à la technologie de production, qui était complètement différente du passé, est également appelé Révolution Industrielle. [12]



**Figure 2-4** la Révolution industrielle

## 2.14 Industries 4.0

L'industrie 4.0 ou quatrième révolution industrielle fait référence à la transformation de l'industrie et des systèmes de production grâce à l'introduction des nouvelles technologies. Elle prend en charge un nouveau mode d'organisation des outils de production, notamment basé sur des outils de numérisation et des moyens d'améliorer la productivité. [13]

### 2.14.1 Technologies pour l'Industrie 4.0

Avec la révolution de l'industrie, la maintenance se développe de plus en plus, la maintenance 4.0 « Smart Maintenance » regroupe un ensemble de solutions technologiques visant à optimiser les opérations de maintenance grâce au digital, principalement en exploitant des données collectées en temps réel au niveau des machines. Parmi ces technologies :

- Réalité augmentée
- Big Data et Data Analytics
- Robots et cobots
- Cyber sécurité
- Cloud
- Internet des objets

#### a) Réalité augmentée

Cette technologie est une technique qui permet de visualiser en direct des objets ou environnements physiques de manière améliorée grâce à l'utilisation d'un support numérique.

**b) Big Data et Data Analytics**

Le Big Data est la collecte des données des sources traditionnelles et digitales qui se produisent de façon continue.

**c) Robots et cobots**

Les robots existent depuis un certain temps, mais ils n'ont jamais été aussi bons qu'aujourd'hui. Dans les applications industrielles, il offre un avantage décisif pour résoudre des tâches qui dépassent les capacités humaines.

**d) Cyber sécurité**

Le cyber sécurité protège les données et détecte également les menaces pour empêcher éviter les interventions non-autorisées avant qu'elles ne se produisent [14]

**e) Cloud**

Le Cloud transmet et stocke les données et les rend disponibles pour un usage ultérieur. Il constitue une solution idéale, notamment quand de grandes quantités de données sont partagées entre plusieurs sites et entreprises.

**2.15 Internet des objets (IOT)**

Internet des objets est un terme utilisé pour parler de connecter des appareils à Internet en plus de pouvoir communiquer entre eux. L'IOT est central dans l'interconnexion des machines, des divers systèmes et du système d'information.

**2.15.1 Domaine D'application de l'IOT**

Les entreprises les mieux adaptées à l'IOT sont celles dont les processus métier peuvent bénéficier de l'utilisation de capteurs. L'internet des objets a plusieurs applications on peut les résumer dans le schéma ci-dessous :

**f) La domotique**

La domotique est un ensemble de technologies utilisées dans les maisons pour contrôler de manière centralisée divers systèmes de la maison. Le principe de la domotique est de faire en sorte que la maison devienne intelligente, autonome et intelligente. Tous ces principes sont rendus possibles grâce à l'Internet des objets (IoT), qui permet de connecter les appareils électroménagers aux réseaux et de les contrôler à distance. La domotique vise à améliorer le confort au quotidien en automatisant ou en gérant à distance les tâches répétitives.

**g) L'agriculture**

L'utilisation des objets en réseau se démocratise dans l'agriculture. Cela conduira à des améliorations dans la gestion des machines agricoles, le contrôle de l'irrigation, la gestion de l'optimisation des

ressources, la surveillance de la croissance des plantes, la prévention des risques météorologiques et bien plus encore. Grâce à un contrôle de plus en plus fin de l'analyse et de la manipulation des données recueillies, il suffit d'actualiser en profondeur la pratique de cette activité ancestrale.

#### **h) Smart city**

Le terme « ville intelligente » fait référence à l'écosystème cyber-physique qui émerge en déployant une infrastructure de communication avancée et de nouveaux services dans un scénario à l'échelle de la ville. En effet, les services avancés peuvent optimiser l'utilisation des infrastructures physiques de la ville (réseau routier, réseau électrique, etc.) et la qualité de vie de ses citoyens.

#### **i) La santé**

Les patients portent des capteurs médicaux qui surveillent des paramètres tels que la température, la pression artérielle et l'activité respiratoire. D'autres capteurs portables (accéléromètre, gyroscope) ou fixes (proximité) sont utilisés pour collecter des données permettant de suivre l'activité du patient dans son environnement de vie. Les informations sont collectées localement et envoyées à des centres médicaux distants. Les centres médicaux peuvent effectuer une surveillance à distance avancée et prendre des mesures immédiates si nécessaire.

#### **j) La nanotechnologie**

La nanotechnologie a le potentiel de résoudre de nombreux problèmes qui sont actuellement insolubles par des objets en réseau « normaux ». Des vêtements connectés, des pare-brise intelligents qui permettent un système « tête haute » qui affiche des informations à la hauteur du conducteur, et plus encore.

#### **k) L'environnement**

Dans ce domaine, un rôle clé est joué par la capacité de détecter de manière répartie et autogérée les phénomènes naturels et les processus (température, vent, précipitations, hauteur des rivières, etc.), ainsi que l'intégration transparente de ces données hétérogènes.

#### **l) Sécurité et surveillance**

La surveillance de sécurité est devenue nécessaire dans les bâtiments d'entreprise, les centres commerciaux, les usines, les parkings et de nombreux autres lieux publics. Des capteurs environnementaux peuvent être utilisés pour surveiller la présence de produits chimiques dangereux tout en préservant la confidentialité des utilisateurs. Des capteurs qui surveillent le comportement humain peuvent être utilisés pour évaluer la présence de personnes au comportement suspect. [15]

La figure suivante représente différents domaines d'application de l'IoT :



**Figure 2-5** Domaine D'application de l'IOT

### 2.15.2 Cycle de vie d'un objet connecté dans l'IOT

La vie d'un objet commence depuis sa fabrication. En raison des différentes zones d'applications (HVAC, éclairage, sécurité, etc.), les nœuds sont adaptés à des tâches spécifiques. Il est donc probable qu'un concepteur crée tous les nœuds avec la même structure. Par conséquent, l'interopérabilité et l'amorçage fiable entre les nœuds de différents fournisseurs sont importants.

Dans l'IoT, les Objets intelligents passent par trois étapes : la phase préparatoire, la phase opérationnelle et la phase de maintenance

- **Phase de préparation (bootstrap)** : mise à disposition des objets (capteurs, tags), configuration de ceux-ci avec les informations requises, par exemple les identifiants, les clés de sécurité, etc.
- **La phase opérationnelle** : l'Objet connecté se met à réaliser sa mission qui diffère d'une application à une autre.
- **Phase de maintenance** : résoudre les problèmes en effectuant des mises à jour et en autorisant la réparation des objets en cas de panne. Par exemple. Il est même possible de remplacer des Objets et redémarrer à nouveau à partir de la phase préparatoire. [16]

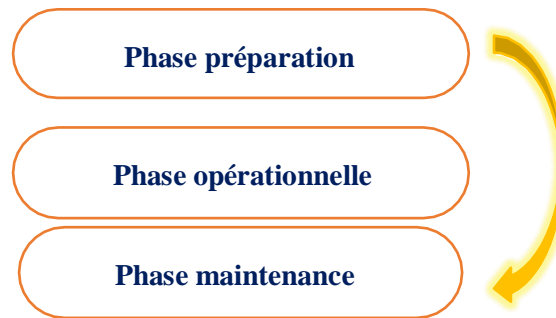


Figure 2-6 Cycle de vie d'un appareil dans l'IoT

### 2.15.3 Fonctionnement de l'IoT

L'IoT permet à divers objets intelligents d'être mis en réseau sur Internet. Par conséquent, plusieurs systèmes techniques sont nécessaires à son fonctionnement. « L'IoT englobe un ensemble de solutions technologiques (RFID, TCP/IP, technologie mobile, etc.) ». En effet, bien qu'il existe plusieurs technologies utilisées dans le fonctionnement de l'IoT, nous mettons l'accent seulement sur quelques-unes qui sont, selon Han et Zhanghang, les technologies clés de l'IoT. Ces technologies sont les suivantes : RFID, WSN et M2M, et elles sont définies ci-dessous : [17]

- **RFID** : Une technologie radio utilisée pour identifier des objets. Cela inclut les technologies qui utilisent les ondes radio pour identifier automatiquement les objets et les personnes. Il s'agit d'une technologie qui permet de stocker et de récupérer des informations à distance à l'aide de balises émettant des ondes radio. C'est la méthode utilisée pour transférer les données des balises vers les objets et pour identifier à distance ces objets. Les étiquettes contiennent des informations stockées électroniquement qui peuvent être lues à distance.
- **WSN** : Un groupe de nœuds qui communiquent sans fil et sont organisés en un réseau coopératif. Chaque nœud a une puissance de traitement et peut contenir divers types de mémoire, d'émetteurs-récepteurs RF et d'alimentations. Nous pouvons également prendre en compte divers capteurs et actionneurs. Comme son nom l'indique, WSN représente un réseau de capteurs sans fil et pourrait être une technologie nécessaire pour les opérations IoT.
- **M2M** : Connexion des technologies de l'information et de la communication et des objets intelligents pour leur permettre d'interagir avec les systèmes d'information d'une organisation ou d'une entreprise sans intervention humaine. [18]

2.15.4 Composants de l'IoT

L'IoT n'est pas une technologie, mais un système ou l'intégration de tous les composants induit une complexité que l'interopérabilité diminue mais n'évite pas. La gestion des interfaces y est déterminante. Voici les principaux systèmes technologiques nécessaires au fonctionnement de l'IoT [19]

Tableau 2-2 Composants de l'IoT [20]

| Type de systèmes                         | Identification (y compris lecteurs)   | Capteurs  | Connexion  | Intégration  | Traitement de données  | Réseaux   |
|--|---|---|--|--|--|---|
| <b>Enjeux</b>                            | Reconnaître chaque objet de façon unique et recueillir les données stockées au niveau de l'objet. | Recueillir des informations présentes dans l'environnement pour enrichir les fonctionnalités du dispositif. | Connecter les systèmes entre eux.                  | Intégrer les systèmes pour que les données soient transmises d'une couche à l'autre. | Stocker et analyser les données pour lancer des actions ou pour aider à la prise de décisions. | Transférer les données dans les mondes physiques et virtuels. |
| <b>Technologies Anciennes (exemples)</b> | Codes barre, solutions RFID simples   | Thermomètre, hydromètre...  | Câble, Bluetooth, Infrarouge, WiFi, Satellites...  | Middlewares ...  | Excel, ERP, CRM...   | Internet, Ethernet...   |
| <b>Technologies Récentes (exemples)</b>  | Solutions RFID complexes, Surface Acoustic Waves, puces optiques, ADN                             | Capteurs miniaturisés nanotechnologies  | Bluetooth, Near Field Communication (NFC), WiFi... | Middlewares évolués  | Datawarehouse 3D (compatible avec les puces RFID), Web sémantique...                           | Réseau EPCglobal...   |

2.16 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini la maintenance et toutes ses caractéristiques, puis on a présenté l'industrie 4.0 qui dépend à son tour de l'internet des objets et nous avons compris que l'IOT a pénétré le secteur industriel et constitue même l'une des principales caractéristiques de l'industrie 4.0. L'IOT est la technologie qui permet de connecter différents systèmes pour en exploiter les données au maximum.

Dans le chapitre suivant, nous exposerons les approches dont les outils et concepts sont liés à notre projet et les Topologies proposées.

## **Chapitre 03**

---

### Topologies et systèmes de supervision



### 3.1 Introduction

Ce chapitre introduit la problématique de la supervision de la corrosion, en raison de l'importance des pipelines et plus particulièrement dans l'industrie pétrolière, il est nécessaire de mieux comprendre les phénomènes qui causent leurs dégradations. En général, les canalisations sont vieillies et endommagées en raison de la corrosion. Alors pour éviter les dommages, il faut renforcer l'outil de protection (passive par des revêtements adéquats et cathodiquement par courant imposé) et sa maîtrise prolonge davantage leurs durées de vie.

### 3.2 Supervision classique

Généralement deux types de protections sont appliqués à la canalisation :

- A. Une protection passive :** repose sur l'idée qui vise à isoler le tube (métal) du milieu ambiant par un revêtement (généralement fait de bitume). Le revêtement crée un effet de barrière entre le métal de la canalisation et le milieu environnant.
- B. Une protection active :** par la protection cathodique qui est le complément indispensable de la protection passive.

Le revêtement ne constitue cependant pas une protection absolue et définitive en raison des imperfections ou blessures susceptibles de se produire lors de la pose ou au cours de la vie de l'ouvrage.

La protection cathodique est contrôlée d'une façon classique, elle est caractérisée par la nécessité de faire déplacer périodiquement (mensuellement et trimestriellement) des techniciens, pour faire des relevés à l'aide d'un multimètre sur les points de mesure des potentiels le long de la canalisation. Les mesures sont reportées sur des Checklists et sont envoyées à l'ingénieur pour l'analyse, le traitement et l'interprétation.

La routine actuelle ne peut plus être efficace, vue que les actions faites et le retour d'informations ne sont pas exécutés en temps réel. Cette méthode traditionnelle ne permet pas d'avoir une surveillance permanente et efficace.

Nous allons voir par la suite une solution, basée sur la supervision à distance de la protection cathodique. Différentes Topologies accompagnées à cette solution sont définies avec les avantages et les inconvénients de chacune d'elles, pour enfin choisir la bonne Topologie à l'aide d'une matrice de décision.

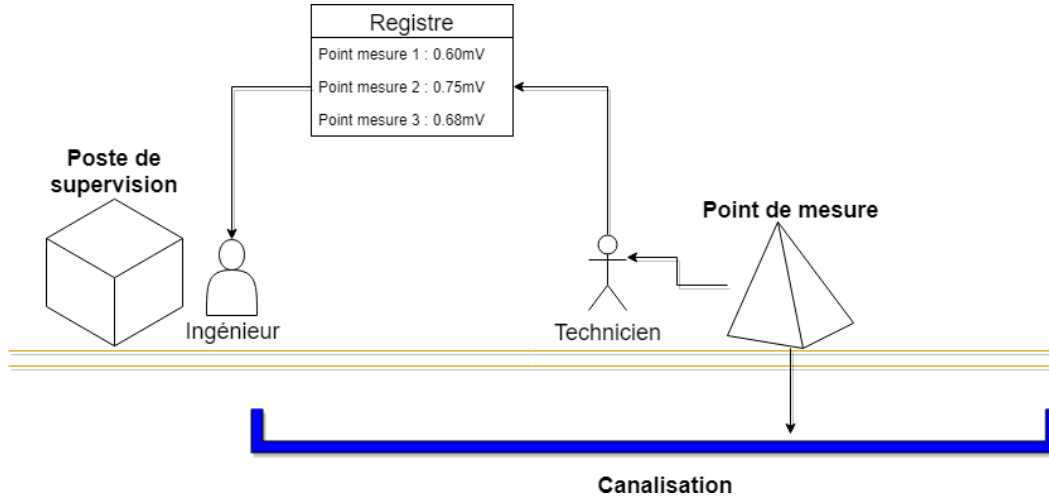


Figure 3-1 Supervision classique

### 3.3 Solution proposée pour la supervision de la PC en temps réel

Comme solution, on propose un système de surveillance automatique qui élimine l'acteur technicien et le registre comme suit :

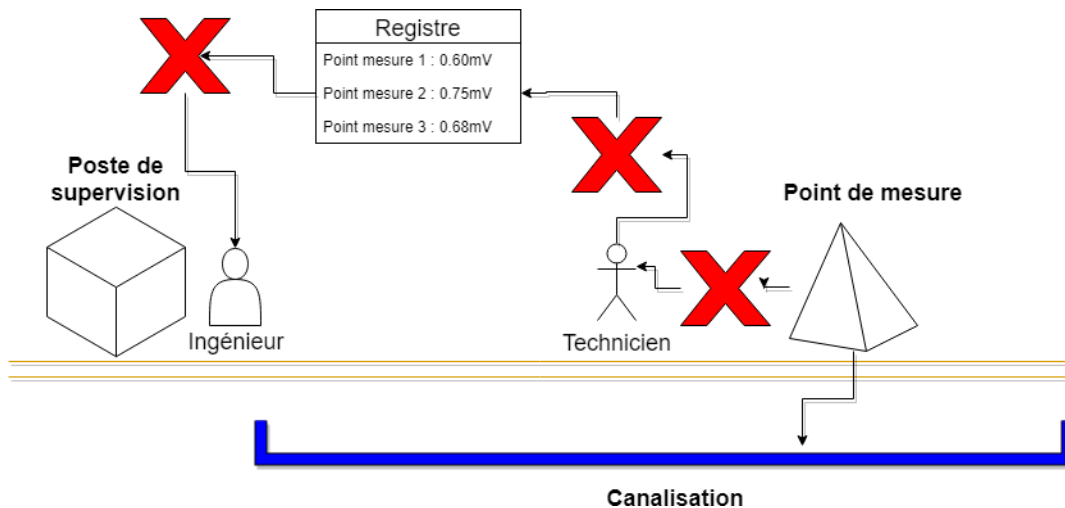


Figure 3-2 Solution proposée pour la supervision de la PC en temps réel

Cette solution dépend de deux parties nécessaires :

**Partie A :** Un émetteur installé dans chaque point de mesure qui joue le rôle d'un voltmètre et envoie instantanément la valeur mesurée vers le poste de supervision.

**Partie B :** Un récepteur installé dans le poste de supervision sous format d'un logiciel ou d'une application Web qui reçoit les données envoyées par chaque émetteur et faire les opérations suivantes :

- Afficher la valeur de potentiel actuelle.
- Tracer des courbes en fonction de temps.
- Stocker tous les valeurs reçues dans une base de données.
- Une notification automatique dans le cas de danger.

### 3.4 Les Topologies proposées

Cette partie montre les différentes Topologies proposées qui sont :

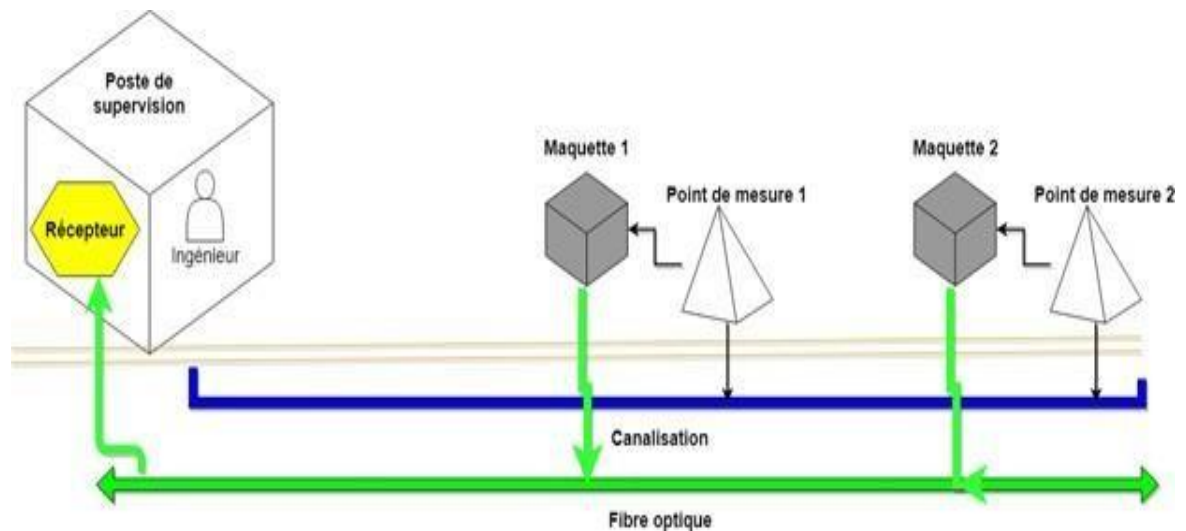
- Fibre optique
- MESH networks
- Cloud

Chaque Topologie est associée avec ces avantages et ces inconvénients.

Afin de réaliser la solution sous terrain, il faut réaliser une maquette électronique ou bien un système embarqué comme un émetteur et programmer un récepteur installé dans le poste de supervision.

#### 3.4.1 Fibre optique

Pour cette Topologie qui a été proposée par **F.J. Hoppe, S.P. Basu, G.E. Rogers**, l'idée est d'installer une fibre optique le long du pipeline et de relier chaque maquette avec ce fibre pour envoyer chaque information en haute vitesse vers le poste de supervision. [21]



**Figure 3-3** Topologie A à fibre optique

#### Les avantages

Parmi les avantages de cette solution, on trouve que la fibre optique :

- Une plus grande bande passante et une vitesse plus élevée jusqu'à 10 Gb/s. [22]
- La plupart des modèles d'automates ont un port de communication intégré et utilisent

les protocoles RS-232, RS-422, RS-485 ou Ethernet. [23]

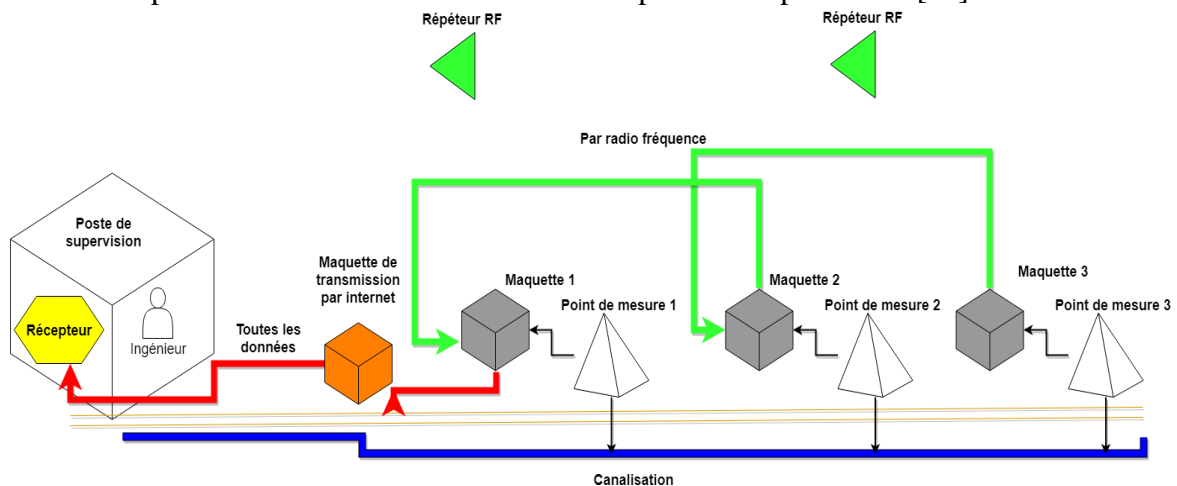
- Les fibres optiques sont aussi plus minces et plus légères.
- Une solution métrique
- Permanente et fiable.
- La durée de vie plus de 40 ans

### Les inconvénients

- Très coûteux 455 DZ / mètre alors pour 1KM 455000 DZ. [24]
- Besoin de fabriquer des modules externes suit un protocole de communication spécifié et agit comme intermédiaire entre la maquette et la fibre [22]
- La fibre optique est plutôt fragile et plus vulnérable aux dommages par rapport les autres Topologies
- En cas de coupure alors tout le système va s'arrêter.
- Gestion des données très difficile.

### 3.4.2 MESH Networks par RF

Cette Topologie est proposée par **Mohammed Zaki Al-Faiz, Liqaa Saadi Mezher**, l'idée est d'associer à chaque maquette un module radio fréquence pour que cette dernière envoie ses propres données vers sa voisine (système passe à l'autre) et la dernière collectera et transmettra par internet toutes les données vers le poste de supervision. [25]



**Figure 3-4** Topologie B par radio fréquence

### Les Avantages

- Moins coûteux par rapport à la fibre optique. 1500 DZ /10 KM [26]
- Nécessite seulement un module RF.
- Simple à réaliser.

### Les inconvénients

- Le débit de transmission est court. Il est nécessaire d'ajouter plusieurs répéteurs (distance entre deux points est au maximum de 10 km).
- Le système demande une grande consommation d'énergie au niveau de chaque nœud.
- Installation en série, si une des maquettes est défectueuse alors tout le système va arrêter.
- Difficile à réagir avec les systèmes radio fréquence et son protocole de communication.
- Difficile à localiser la panne.

### 3.4.3 Cloud

Cette Topologie est d'associer à chaque maquette un modem internet pour que chaque maquette envoie sa propre donnée vers le Cloud et affiche dans une interface.

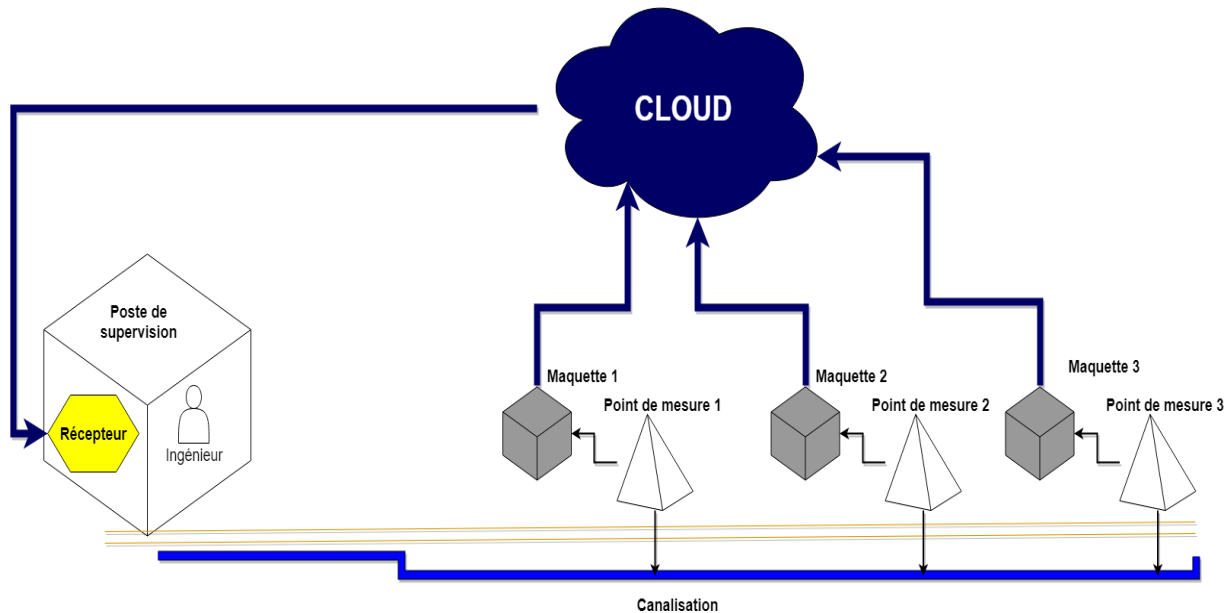


Figure 3-5 Topologie C par le Cloud

### Les Avantages

- Coût raisonnable.
- Une bonne transmission qui réduit la complexité des métadonnées.
- L'indépendance des maquettes entre elles, c'est-à-dire en cas de défaillance d'une maquette, le système continue à fonctionner et ça augmente la fiabilité.
- Facilité à détecter les pannes.
- Facilité à commander chaque maquette à distance pour les diagnostics.

### Les inconvénients

- Chaque maquette nécessite un modem d'internet.
- La qualité du signal n'est pas stable car l'internet dépend de la qualité des réseaux.
- La dépendance aux réseaux GSM de nos opérateurs : Mobilis /Ooredoo /Djezzy
- Des tarifs supplémentaires de l'abonnement internet.

### 3.5 Matrice de décision

Afin de choisir quelle est la meilleure Topologie, nous avons élaboré une matrice de décision basée sur les facteurs suivants :

- 1) Coût diminué.
- 2) La fiabilité.
- 3) La maintenabilité.
- 4) Accessible pour le contrôle à distance.
- 5) Vitesse de transmission de donnée.
- 6) Sécurité de transmission de donnée.
- 7) La difficulté d'installation.
- 8) Consommation d'énergie faible.

On pose des coefficients pour chaque facteur tout dépend l'importance leurs priorité de chaque un sou forme de tableau en trouve :

**Tableau 3-1** Priorité de chaque caractéristique

| Facteur                                | Priorité sur 5 |
|--|----------------|
| Cout minimal                           | 5              |
| La fiabilité                           | 5              |
| La maintenabilité                      | 4              |
| Accessible pour le contrôle à distance | 3              |
| Vitesse de transmission de donnée      | 2              |
| Sécurité de transmission de donnée     | 1              |
| Court et la facilité d'installation    | 3              |
| Consommation d'énergie raisonnable     | 4              |

Après avoir défini la priorité de chaque facteur, on va associer à chaque priorité un A ou B ou C ou D, qui signifie l'évaluation de chaque Topologie en respectant ces avantages et ces inconvénients, on considère que le : **A = 3, B = 2, C = 1, D = 0.**

Tableau 3-2 Le barème d'évaluation

| Respect de la caractéristique | Signification           |
|-------------------------------|-------------------------|
| A                             | Fort à respecter        |
| B                             | Moyen à respecter       |
| C                             | Faible à respecter      |
| D                             | Très faible à respecter |

En tenant en compte les avantages et les inconvénients mentionnés de chaque Topologie et les cahiers de charge fournie, on a noté les Topologies dans le tableau suivant :

Tableau 3-3 La matrice de décision

|  | Topologie A | Topologie B | Topologie C |
|--|-------------|-------------|-------------|
| Coût diminué                           | 0           | 1           | 2           |
| La fiabilité                           | 3           | 1           | 3           |
| La maintenabilité                      | 1           | 2           | 3           |
| Accessible pour le contrôle à distance | 3           | 0           | 2           |
| Vitesse de transmission de donnée      | 3           | 2           | 2           |
| Sécurité de transmission de donnée     | 3           | 1           | 2           |
| Court et la facilité d'installation    | 1           | 2           | 3           |
| Consommation d'énergie raisonnable     | 3           | 2           | 2           |

### 3.6 Analyse de résultats

D'après le barème que nous avons mis en place et la matrice que nous avons trouvée.

On peut calculer chaque Topologie en utilisant la formule suivante :

$$\text{Topologie} = \sum \text{Barème d'évaluation} * \text{Priorité}$$

On trouve les résultats comme se suit :

$$\text{Topologie A : } 1 * 5 + 3 * 5 + 1 * 4 + 3 * 3 + 3 * 2 + 3 * 1 + 1 * 3 + 3 * 4 = 57$$

$$\text{Topologie B : } 1 * 5 + 1 * 5 + 2 * 4 + 0 * 3 + 2 * 2 + 1 * 1 + 2 * 3 + 2 * 4 = 37$$

$$\text{Topologie C : } 2 * 5 + 3 * 5 + 3 * 4 + 2 * 3 + 2 * 2 + 2 * 1 + 3 * 3 + 2 * 4 = 66$$

Les résultats que nous avons trouvés peuvent justifier une décision de **Topologie C** en tenant compte de la meilleure classification.

**Topologie C > Topologie B > Topologie A**

### 3.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différentes Topologies avec lesquelles nous pouvons effectuer la surveillance en temps réel de la protection cathodique selon les résultats de la matrice de décision, la Topologie "C" est la meilleure Topologie optimale.

Tout ça se verra concrétiser dans le chapitre 4 qui suit intitulé : Environnement de travail et réalisation



## **Chapitre 04**

---

Environnement de travail et réalisation

## 4.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons créer une page Web qui affiche les relevés de capteurs dans un graphe facilement accessible de n'importe où dans le monde. En résumé, nous allons créer un client ESP8266 qui fait une demande à un script PHP pour publier les relevés du capteur de voltage dans une base de données MySQL et récupérer ces dernières sous forme de graphe lisible en temps réel.

Pour créer ce projet, on doit se basé sur deux parties : la première pour le Hardware et la deuxième pour le software.

## 4.2 Partie Hardware

Pour cette partie nous utilisons :

### 4.2.1 ESP8266

Le NodeMCU est une carte open source avec module WIFI ESP-12E intégré. Ce n'est pas une faiblesse comme l'Arduino, avec 512 Ko de mémoire et un processeur à 40Mhz il n'y a pas de pénurie de sources. Ce panneau est extrêmement approprié pour démarrer des applications IoT (Internet des objets) [27]. Pour plus de détails voir l'annexe.

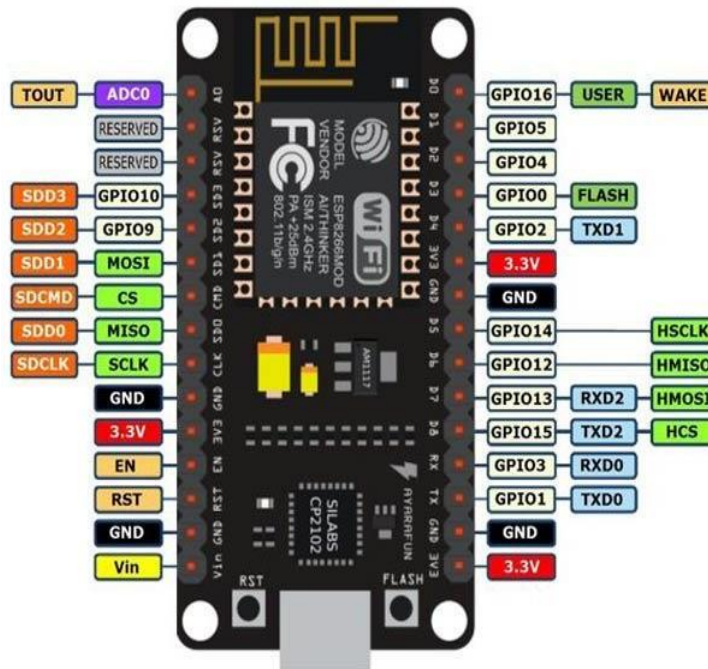


Figure4-1 NodeMCU-ESP8266-Pinout

### 4.2.2 Monochrome 0.96" OLED Display (SSD1306)

SSD1306 est un pilote CMOS OLED/PLED mono-puce avec contrôleur pour l'émission de lumière organique / polymère

Système d'affichage graphique à matrice de diodes. Il se compose de 128 segments et 64 communs. Ce CI est conçu pour le panneau OLED de type cathode commune [28]. Pour plus de détails voir annexe.



Figure 4-2 SSD1306-OLED-Display

#### 4.2.3 Le diviseur de tension

Le diviseur de tension est un montage électronique simple qui permet de diviser une tension d'entrée. Un circuit constitué de deux résistances en série est par exemple un montage élémentaire qui peut réaliser cette opération. Il est couramment utilisé pour créer une tension de référence ou comme un atténuateur de signal à basse fréquence [29].

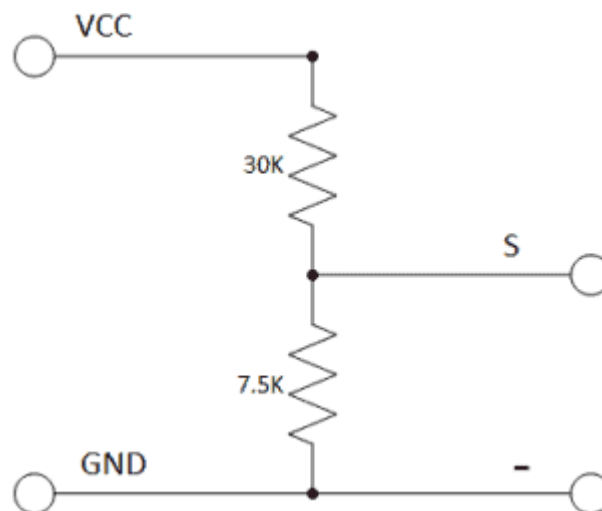


Figure 4-3 Le diviseur de tension

### Principe du diviseur de tension

Les tensions du diviseur sont reliées à la masse et les deux résistances R1 et R2 sont connectées en série. Une tension  $V_{in}$  est appliquée en entrée sur ces deux résistances et la tension de sortie est mesurée aux bornes de R2.

En utilisant la loi des mailles puis la loi d'Ohm  $V = R \cdot I$  avec les tensions  $V_{in}$  et  $V_{out}$  il est possible de déduire la relation entre la tension de sortie

$$v_{out} = \frac{R2}{R1+R2} * v_{in} \dots\dots\dots (1)$$

D'après le (1) on trouve :

$$v_{in} = \frac{R1+R2}{R2} * v_{out} \dots\dots\dots (2)$$

Avec notre réalisation on a utilisé le module de tension avec une plage de 16.5 V considèrent que  $R2 = 7.5 K\Omega$  ET  $R1 = 30 K\Omega$  alors avec une application numérique

$$\text{Facteur} = \frac{R2}{R1+R2} = 0.2$$

Veut dire que  $v_{in} = 5 * v_{out}$

➤  $v_{out}$  Est le potentiel mesuré par ESP 8266 par le pin A0 alors on peut dire que  $v_{out}=A0$

➤  $v_{in} = 3.3 V$  Est le potentiel peut être fourni pour alimenter la carte ESP

$$v_{in} = 5 * A0 \dots\dots\dots (3)$$

Dans ce cas  $v_{in}$  va être en bits mais on a besoin l'équivalent en volts combien

D'après notre expérience, L'ESP reçoit des valeurs de potentiel en bits de 0 jusqu'à 1024 bits donc :

$$5 \text{ volts} \rightarrow 1024 \text{ bits}$$

$$X \rightarrow A0 \text{ bits}$$

$$X = A0 * [(5 \text{ volts}) / 1024 \text{ bits}] = A0 * 0.0048828 \text{ volts/bit}$$

On trouve par application numérique que X est la valeur équivalente de A0 EN VOLTS :

$$X = 0.0048828 * A0 \text{ en volts}$$

Et finalement le potentiel  $v_{in}$  est calculé de cette façon :

$$v_{in} = 5 * X$$

#### 4.2.4 Mesure du potentiel négative

Selon le montage électronique actuel il peut prendre la mesure d'un potentiel seulement positif le, mais d'après dans la protection cathodique on a un potentiel négatif.

Pour tenir compte la mesure d'un potentiel négatif (Réel) il est impossible et la valeur va être toujours nul selon la datasheet Pour cela et pour que la maquette peut prendre en charge les potentiels négatifs, il suffit d'un petit changement sur la masse et inversée les bornes et le problème vas régler.

La masse (GND) a été éliminée et la source d'énergie maintenant donne un potentiel  $< 0$ . La borne (+) est reliée avec VCC qui donne +5V permanente réagit comme une source d'énergie stable et pour calculer le potentiel il suffit juste de faire une soustraction comme suit :

$$v_{in} = 5 * X$$

$$v_{in\ NEW} = 5 - v_{in}$$

#### 4.2.5 Produit final

Pour un produit final, on a utilisé la plateforme Easy-Eda avec plusieurs étapes. On peut trouver dans :

- 1) Schématique ou bien l'architecteur de produit et après
- 2) PCB [ printed circuit board]
- 3) 3D MODEL

#### Schématique général

Dans ce projet, on trouve 5 blocs important :

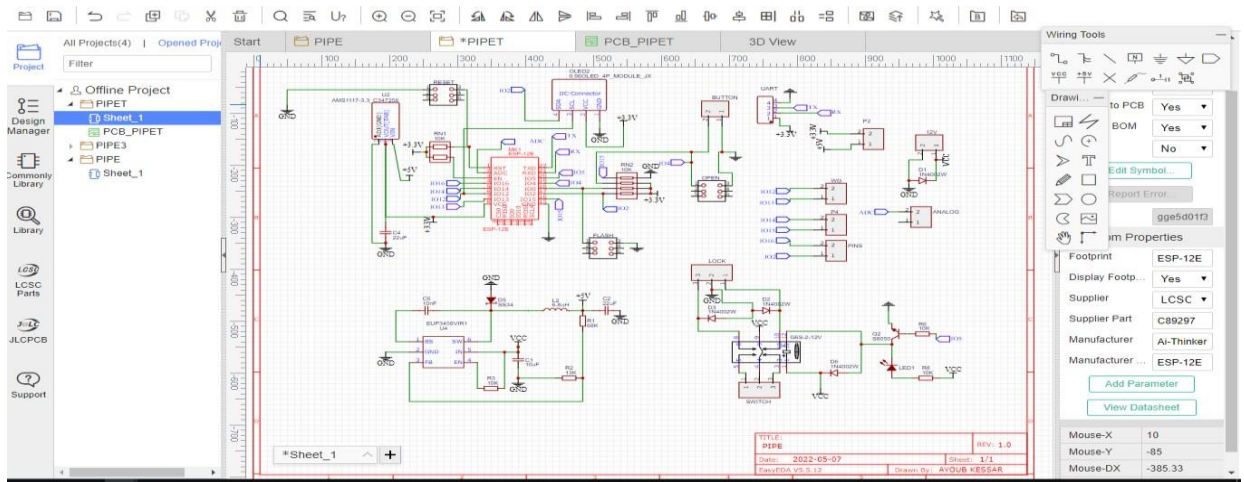


Figure 4-4 Schéma générale

#### a) La régulation de tension

Dans cette partie nous avons deux autres blocks

#### b) La pré-régulation DC /DC (12/5 V)

Si on a besoin une batterie ou bien power banc ou on a une source d'alimentation 12/24V. Ce circuit va régler la tension de sortie à 5V.

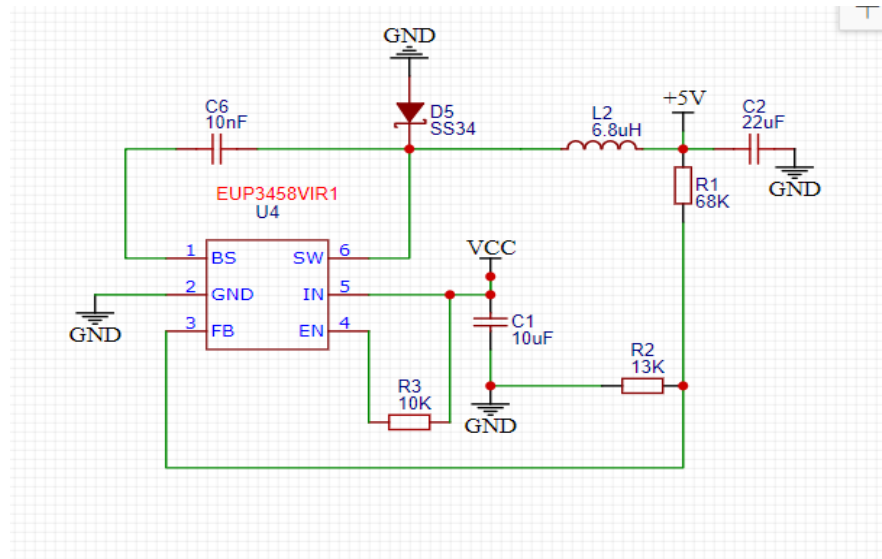


Figure 4-5 Circuit de pré-régulation

**c) La régulation**

Après la PR régulation qui donne un courant continue perturbée on ajoute ce circuit AMS1117-3.3 Pour diminuer encore le voltage qu'on besoin « 3.3V » avec un Incertitude de 2 %. Au max.

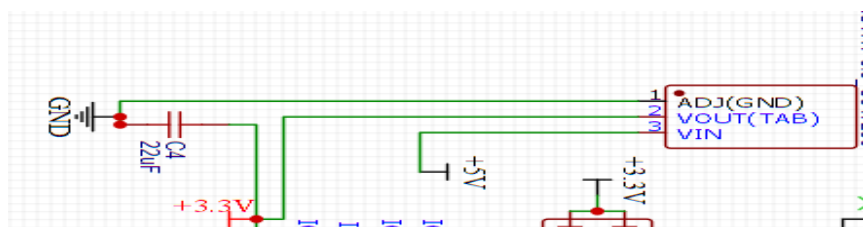


Figure4-6 Circuit AMS1117-3.3

**d) Le bloc des Relais**

Circuit De Relai G6S-2-12V pour commander la pompe injection de biocide [30]

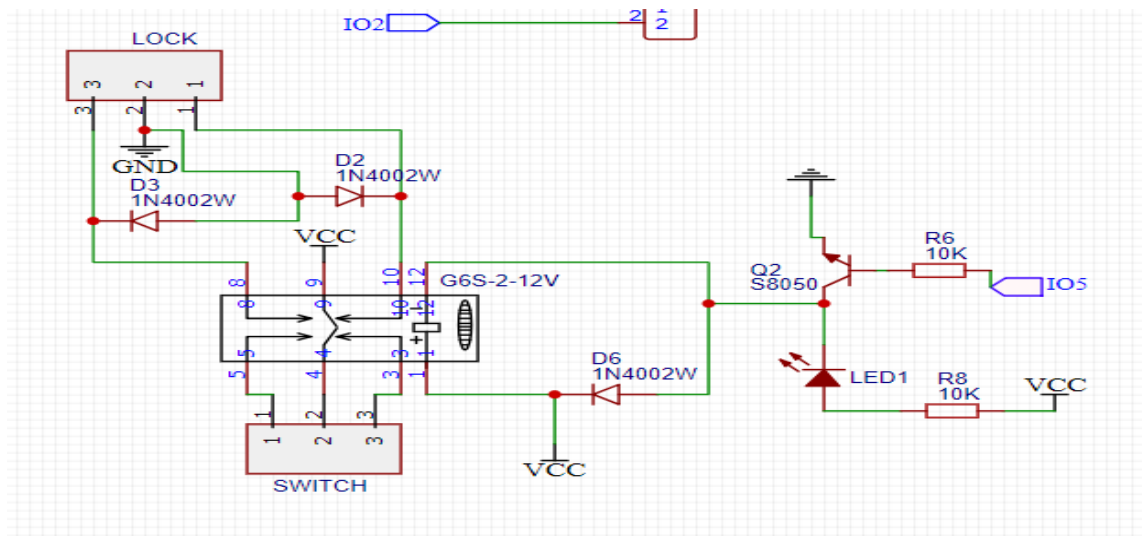


Figure 4-7 Circuit de Relais G6S-2-12V

e) ESP\_12E

Le cerveau de notre projet :

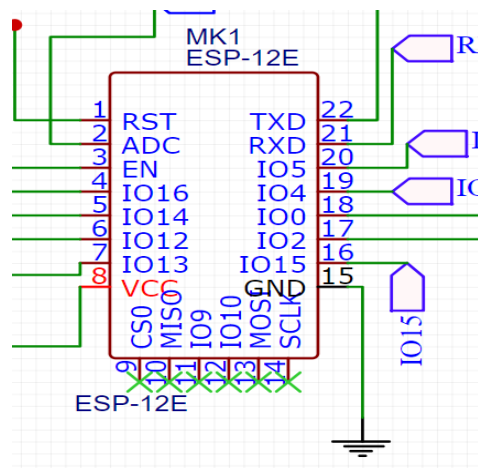


Figure 4-8 ESP 12E

f) UART / AVR

On ajoute ce bloc pour le transfert des données et le programme de PC vers le circuit.

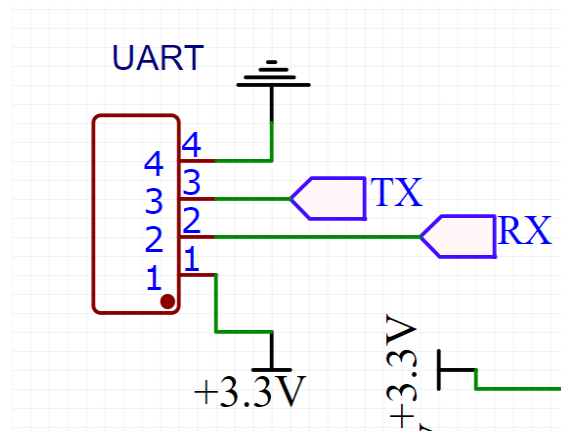


Figure 4-9 INPUT POUR LE AVR /UART

## i) Afficheur OLED 0.96

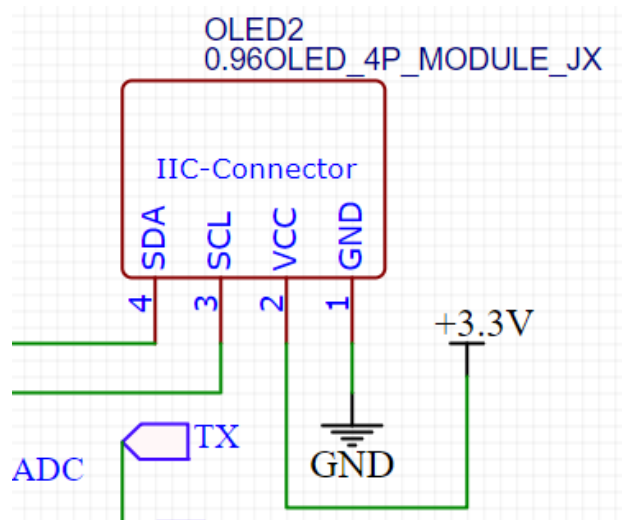


Figure 4-10 OLED

**Circuit imprimé / PCB**

Après l'architecture de circuit on passe à la deuxième étape pour un bon emplacement des composants et aussi un bon câblage qui assure 0% de court-circuit voici le résultat dans figure 4.12.



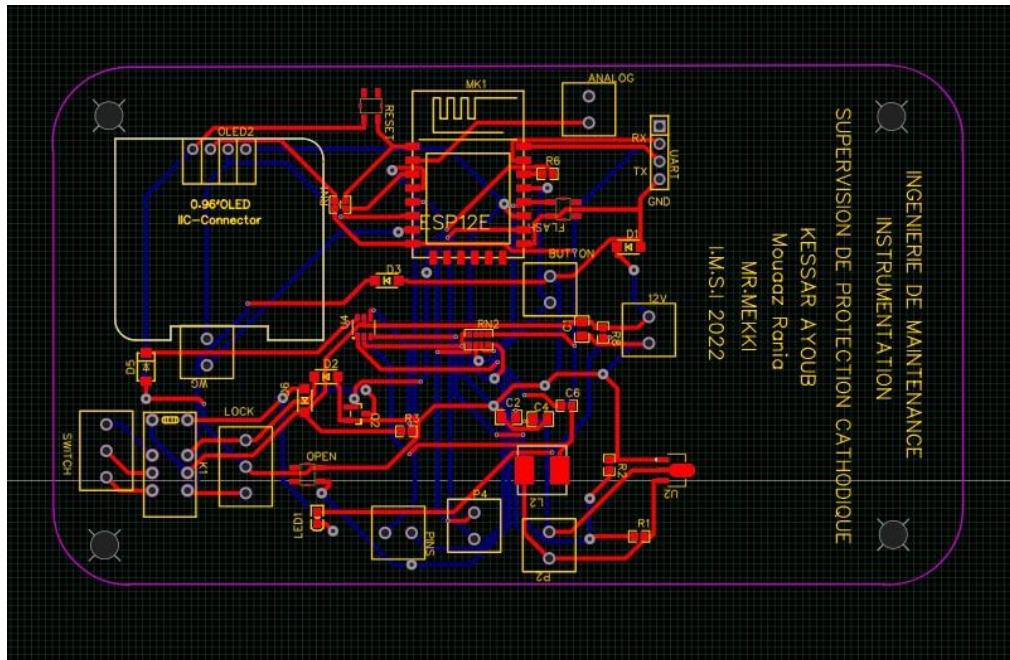


Figure 4-11 Le circuit imprimé.

**Modèle 3D**

Dans la même plateforme **Easy-Eda**, on choisit de voir notre carte électronique en 3D.

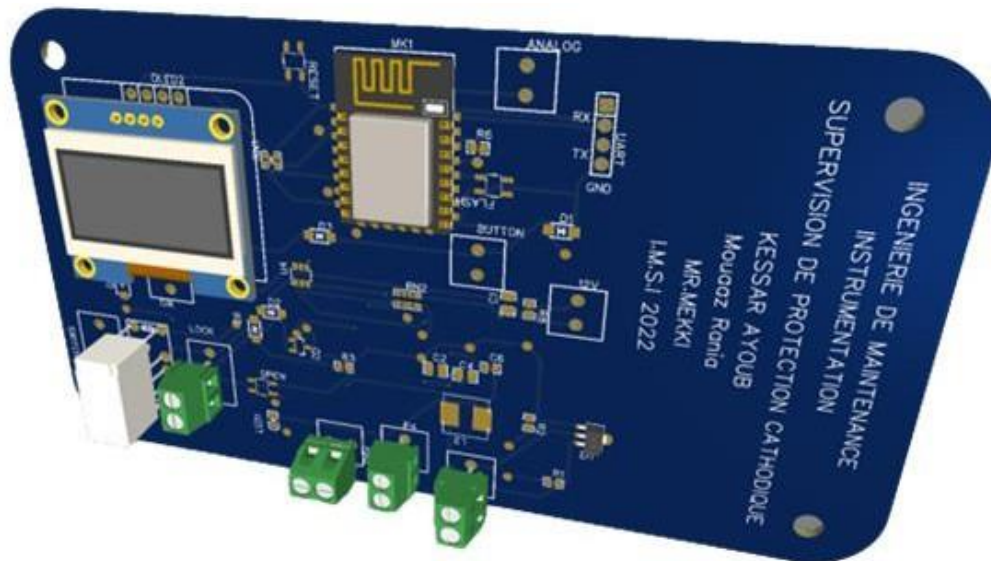


Figure 4-12 modèle 3D

### 4.3 Partie SOFTWARE

#### ➤ Partie supervision

Après avoir terminé l'architecture de notre PCB, on a commencé à écrire les scripts avec plusieurs langages de programmation pour mettre notre système en fonctionnement.

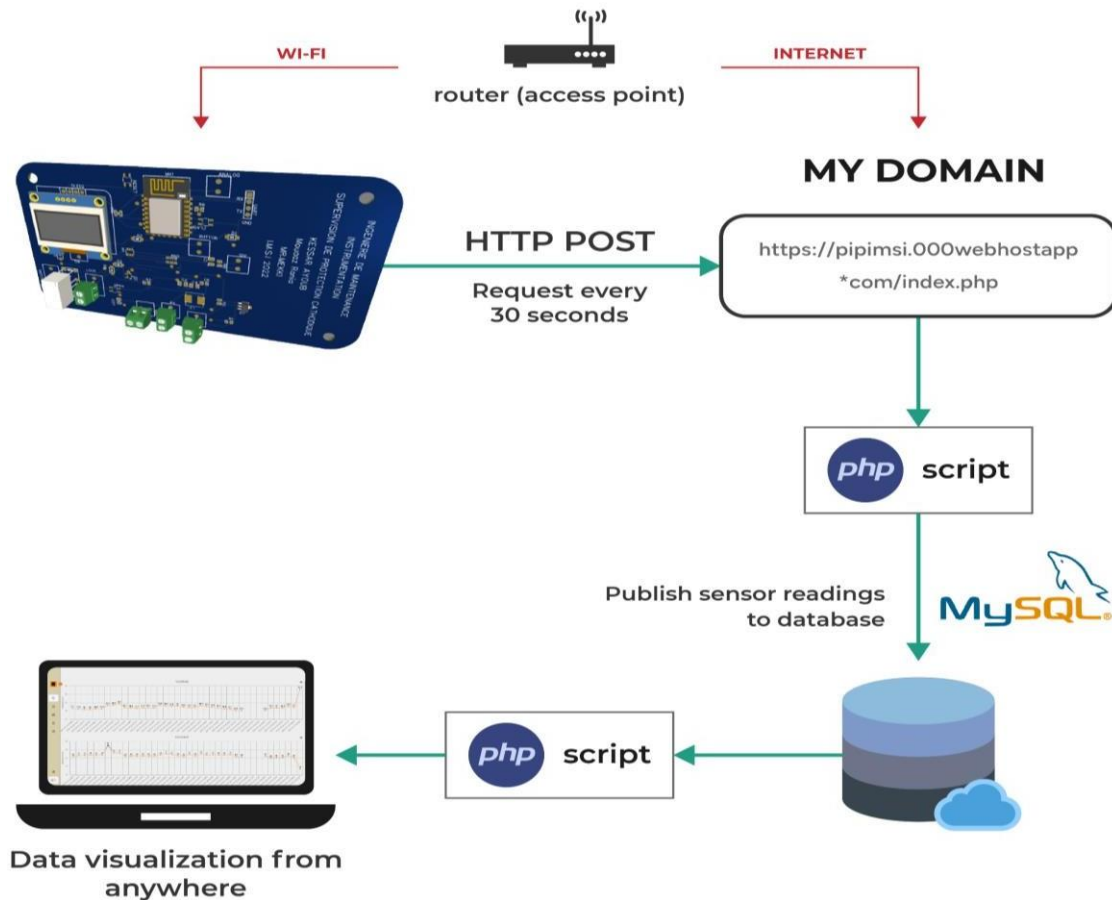


Figure 4-13 Le processus de contrôle

#### 4.3.1 Code C++

On a utilisé le langage de programmation C++ afin de mesurer le potentiel et l'envoyer à la base des données avec un protocole de communication http

Pour la 1<sup>er</sup> étape prend les mesures

```
#define ANALOG_IN_PIN A0
// Floats for ADC voltage & Input voltage
float adc_voltage = 0.0;
float in_voltage = 0.0;

// Floats for resistor values in divider (in ohms)
```

```
float R1 = 30000.0;
float R2 = 7500.0;

// Float for Reference Voltage
float ref_voltage = 5.0;

// Integer for ADC value
int adc_value = 0;

// Read the Analog Input
adc_value = analogRead(ANALOG_IN_PIN);
// Determine voltage at ADC input
adc_voltage = (adc_value * ref_voltage) / 1024.0;
// Calculate voltage at divider input
in_voltage = adc_voltage / (R2/(R1+R2)) ;
// Print results to Serial Monitor to 2 decimal places
Serial.print("Input Voltage = ");
Serial.println(in_voltage, 2);
// Short delay
delay(500);
```

Figure 4-14 Code C++

### 4.3.2 Serveur

On a créé un compte au niveau d'un serveur gratuit « 000webhost.com » qui nous permet de charger plusieurs scripts et médias de différents langages de programmation : PHP, JavaScript, HTML, CSS ainsi qu'il a la possibilité de nous fournir une base de données local

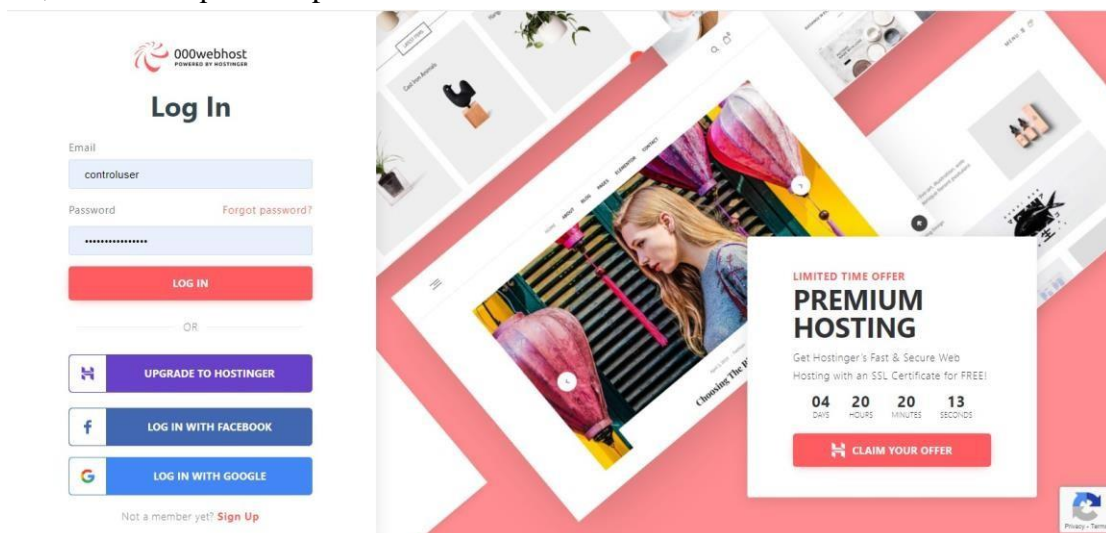


Figure 4-15 Création d'un compte dans le serveur

### 4.3.3 Data base

Au niveau du serveur, nous avons créé deux bases de données dotées d'une capacité de stockage de 1Go chacune. . L'une est faite pour le stockage des données de potentiel de mesure (INPUT) classé dans un tableau nommé TBO figure 4-17 et l'autre pour le contrôle des données de sortie (Output)

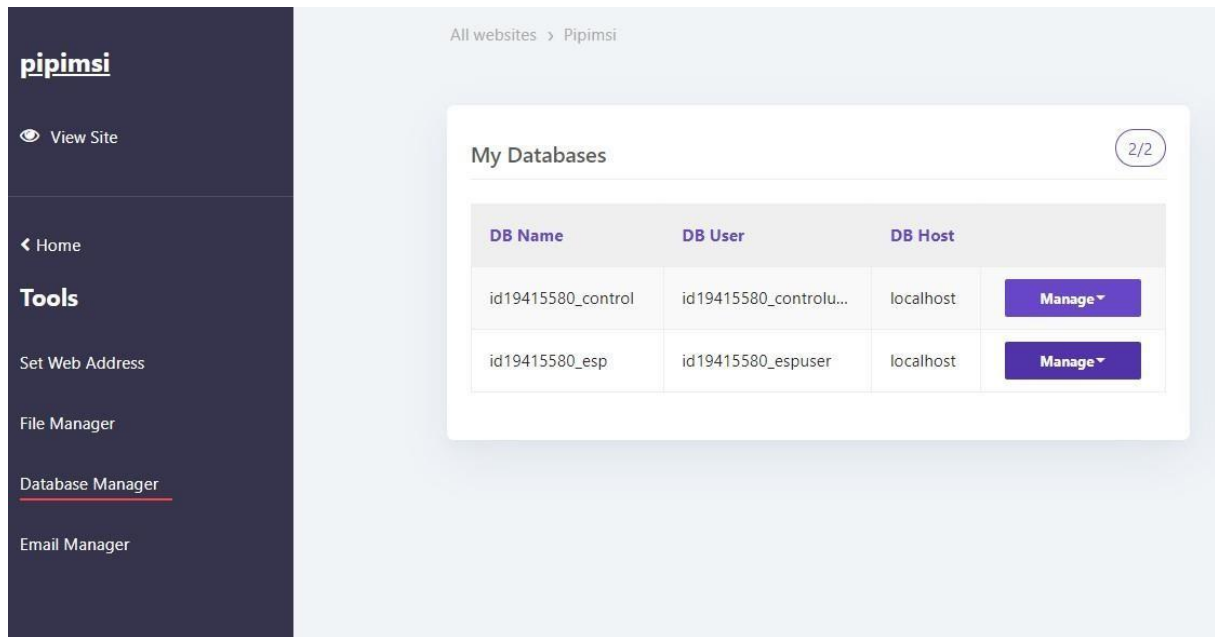


Figure 4-16 Création de base des données

### 4.3.4 Création d'un tableau SQL

Avec ce code SQL on peut créer un tableau dans la base des données

```
CREATE TABLE TBO (
  id INT(6) UNSIGNED AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,
  value1 VARCHAR(10),
  value2 VARCHAR(10),
  reading_time TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP ON
UPDATE CURRENT_TIMESTAMP
)
```



Figure 4-17 Création d'un tableau dans la base des données

#### 4.3.5 Communication

Après avoir créé les deux bases de données, on a eu besoin d'établir une liaison entre un script PHP vers la base des données.

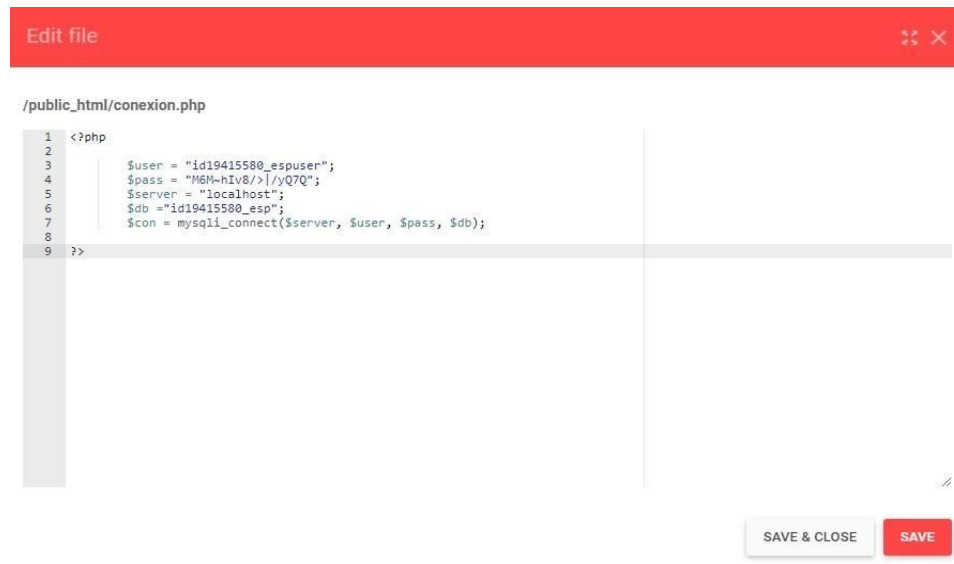


Figure 4-18 Un script de connexion

#### 4.3.6 Affichage sur la base de données

On a créé un script PHP pour recevoir les données à partir l'ESP et l'envoyer vers la base des données et afficher dans le tableau TBO.





```

Edit file
/public_html/EspPost.php
1 <?php
2
3 include'conexion.php';
4
5 if ($con) {
6     echo "Conexion con base de datos exitosa! ";
7
8     if(isset($_POST['value1'])) {
9         $value1 = $_POST['value1'];
10        echo "station de mesure ";
11        echo " Temperatura : ".$value1;
12    }
13
14    if(isset($_POST['value2'])) {
15        $value2 = $_POST['value2'];
16        echo " value2 : ".$value2;
17        date_default_timezone_set('america/bogota');
18        $reading_time = date("Y-m-d H:i:s");
19
20        $consulta = "INSERT INTO TBO(value1,value2, reading_time) VALUES ('$value1','$value2', '$reading_time')";
21        // $consulta = "UPDATE DHT11 SET value1='$value1',value2='$value2' WHERE Id = 1";
22        $resultado = mysqli_query($con, $consulta);
23        if ($resultado){
24            echo " registration des donnee OK! ";
25        } else {

```

SAVE & CLOSE SAVE

Figure 4-19 Afficher les données dans le tableau TBO.

#### 4.3.7 Interface WEB

Après l’acquisition des données par le PHP, on a eu besoin d’un script pour convertir ses données en graphes et tableaux, pour cela on a utilisé HTML et CSS et un Api gratuit « Highchart » en utilisant le langage « JavaScript ».



```

/public_html/chart.php
1
2 <?php
3
4 $servername = "localhost";
5
6 // REPLACE with your Database name
7 $dbname = "id19415580_esp";
8 // REPLACE with Database user
9 $username = "id19415580_espuser";
10 // REPLACE with Database user password
11 $password = "123456789";
12
13 // Create connection
14 $conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);
15 // Check connection
16 if ($conn->connect_error) {
17     die("Connection failed: " . $conn->connect_error);
18 }
19
20 $sql = "SELECT id, value1, value2,reading_time FROM TBO order by reading_time desc limit 40";
21
22 $result = $conn->query($sql);
23
24 while ($data = $result->fetch_assoc()){
25     $TBO_data[] = $data;

```

SAVE & CLOSE SAVE

Figure 4-20 Code d’interface de graphes

```

/public_html/table.php
95
96 <tr>
97 <th>ID</th>
98 <th>potentiel </th>
99 <th>reading time</th>
100 <th>corrosion</th>
101 <th>courant injecter</th>
102
103 |
104 </tr>
105 <?php
106 $servername = "localhost";
107 $dbname = "id19415580_esp";
108 $username = "id19415580_espuser";
109 $password = "*****";
110
111 $conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);
112
113 $sql = "SELECT id, value1, value2, reading_time FROM TBO order by reading_time desc limit 40";
114
115 $result = $conn->query($sql);
116 if ( $result-> num_rows > 0 ) {
117 while ($row=$result-> fetch_assoc () ) {
118 echo " <tr><td> " . $row["id"] . " </td><td>" . $row["value1"] . " </td><td>" . $row["reading_time"] . " </td><td>";
119 }
120

```

Figure 4-21 Code interface de tableaux

Voilà le résultat des étapes :

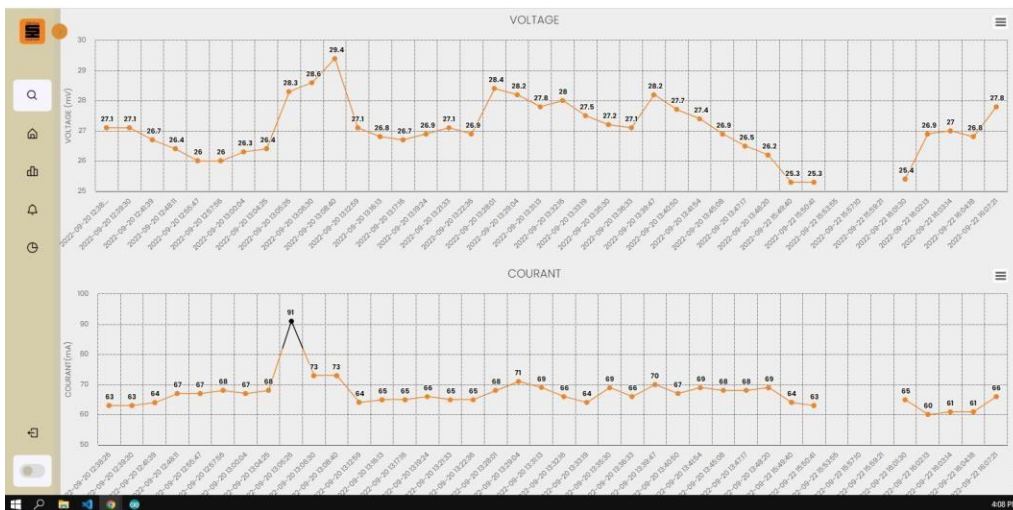


Figure 4-22 Résultat de code d’interface de graphes

### Partie contrôle

Après d'avoir mesuré les potentiels de courant et celle de voltage on a besoin de contrôler les pompes d'injection de courant imposé ou bien l'injection des biocides manuellement au cas de problème, pour cela on a créé une autre interface web pour pouvoir contrôler les points de mesure voir figure 4-22

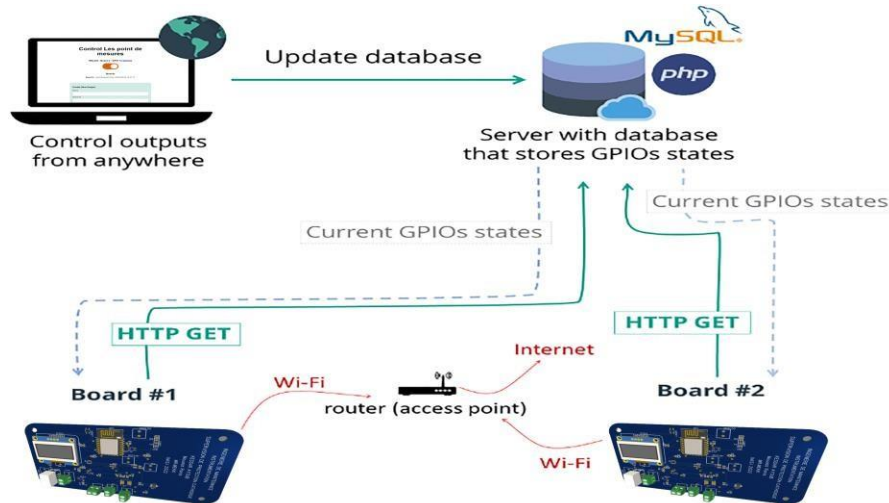


Figure 4-23 Le processus de contrôle

#### 4.3.8 Préparation de base des données

Dans le même d'hébergement « 000webhost.com » On a créé notre base de données, nom d'utilisateur, mot de passe et tableaux SQL.

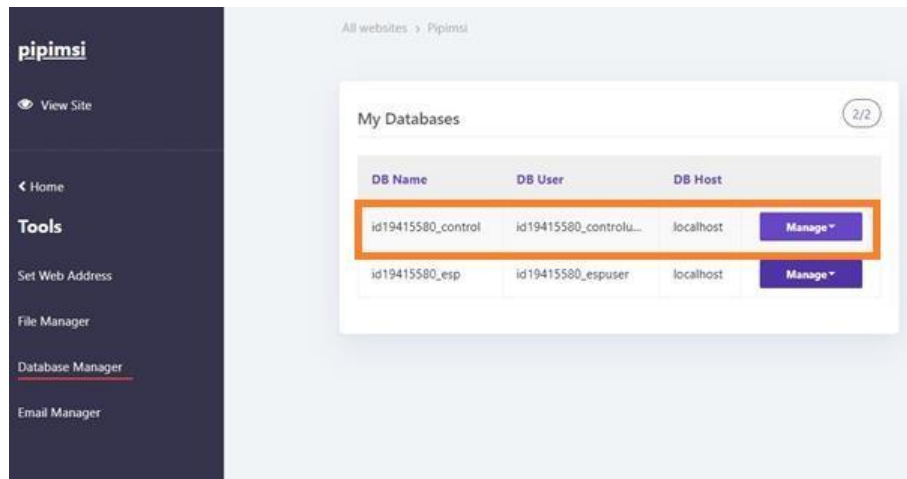


Figure 4-24 Préparation de base des données





**Figure 4-25** Préparation des tableaux

Après la préparation de base de données, nous allons créer des fichiers responsables de la création d'interface de contrôle. Voici les fichiers :

- Insérer et accéder à la base de données
- Gérer les requêtes HTTP
- Affichage des boutons de contrôle
- Fichier CSS pour styliser la page web

#### 4.3.9 Insertion dans la base des données

Scripts PHP pour stocker et récupérer les états de sortie stockés dans une base de données MySQL

```
$sql = "INSERT INTO Outputs (name, board, gpio, state)
VALUES ('" . $name . "', '" . $board . "', '" . $gpio . "', '" . $st

if ($conn->query($sql) === TRUE) {
    return "New output created successfully";
}
else {
    return "Error: " . $sql . "<br>" . $conn->error;
}
$conn->close();
}

function deleteOutput($id) {
    global $servername, $username, $password, $dbname;

    // Create connection
    $conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);
    // Check connection
    if ($conn->connect_error) {
        die("Connection failed: " . $conn->connect_error);
    }

    $sql = "DELETE FROM Outputs WHERE id='" . $id . "'";

    if ($conn->query($sql) === TRUE) {
```

Figure 4-26 stocker et récupérer les états de sortie

#### 4.3.10 Gérer les requêtes HTTP

Nous allons créer un script PHP chargé de recevoir les requêtes entrantes et d'interagir avec la base de données MySQL.

```
<?php
    include_once('esp-database.php');

    $action = $id = $name = $gpio = $state = "";

    if ($_SERVER["REQUEST_METHOD"] == "POST") {
        $action = test_input($_POST["action"]);
        if ($action == "output_create") {
            $name = test_input($_POST["name"]);
            $board = test_input($_POST["board"]);
            $gpio = test_input($_POST["gpio"]);
            $state = test_input($_POST["state"]);
            $result = createOutput($name, $board, $gpio, $state);

            $result2 = getBoard($board);
            if (!$result2->fetch_assoc()) {
                createBoard($board);
            }
            echo $result;
        }
        else {
            echo "No data posted with HTTP POST.";
        }
    }

    if ($_SERVER["REQUEST_METHOD"] == "GET") {
```

**Figure 4-27** script PHP chargé de recevoir les requêtes

### 4.3.11 Affichage de boutons de contrôle

Voici la page qui donne accès au contrôle des points de mesures



Figure 4-28 Affichage de boutons de contrôle

## 4.4 Essaie et résultat obtenue

Pour tester le fonctionnement de notre carte électronique, On a utilisé le capteur de l'humidité et la température « DHT11 »

- Alimentation circuit :

On commence tout d'abord par l'alimentation de notre circuit par 3.3V

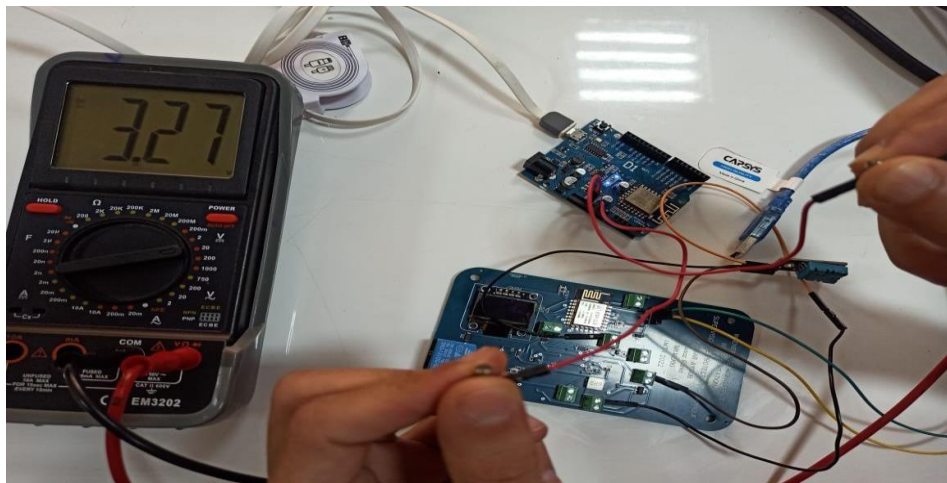


Figure 4-29 Alimentation de la carte électronique

➤ **Partie Supervision**

On a branché le DHT11 pour mesurer la température et l'humidité de l'environnement, Notre graphe est afficher comme ceci :

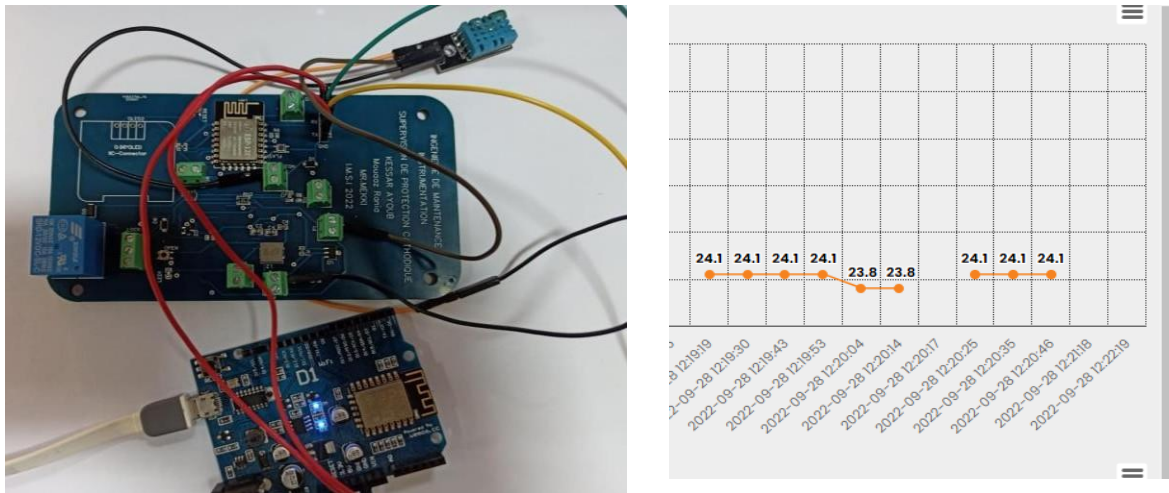


Figure 4-30 Supervision de la température dans l'état normal

Ensuite on a élevé la température pour tester, On remarque que la valeur de la température s'est augmentée

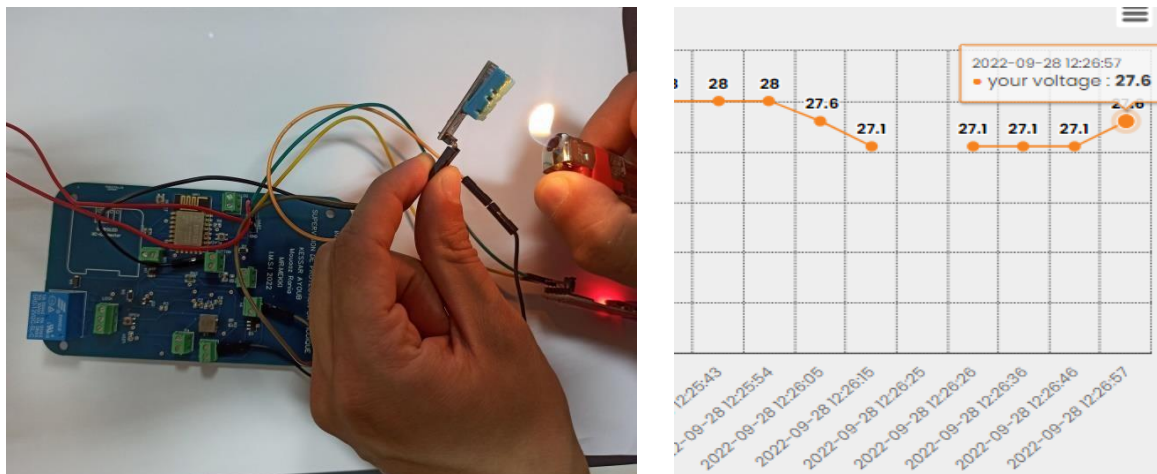


Figure 4-31 Supervision de température après une provocation

➤ **Partie contrôle**

On a créé un bouton pour commander le relais qui est un interrupteur pour la commande des pompes à injection



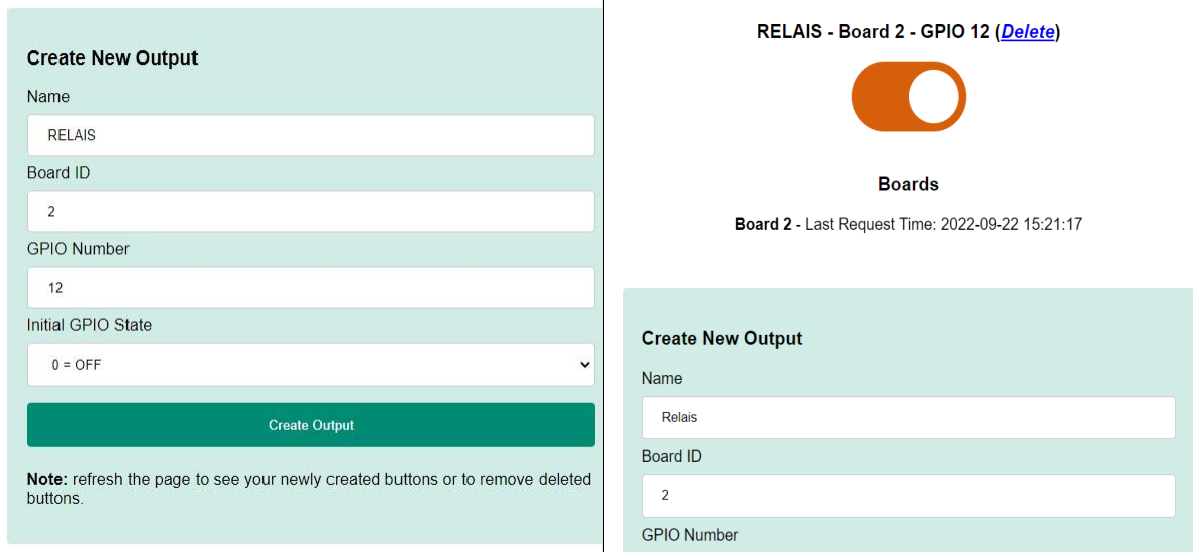


Figure 4-32 Commande du relais

Le led témoin du relais s’est allumé cela veut dire que le relais fonctionne, on constate que la température s’est diminuée.

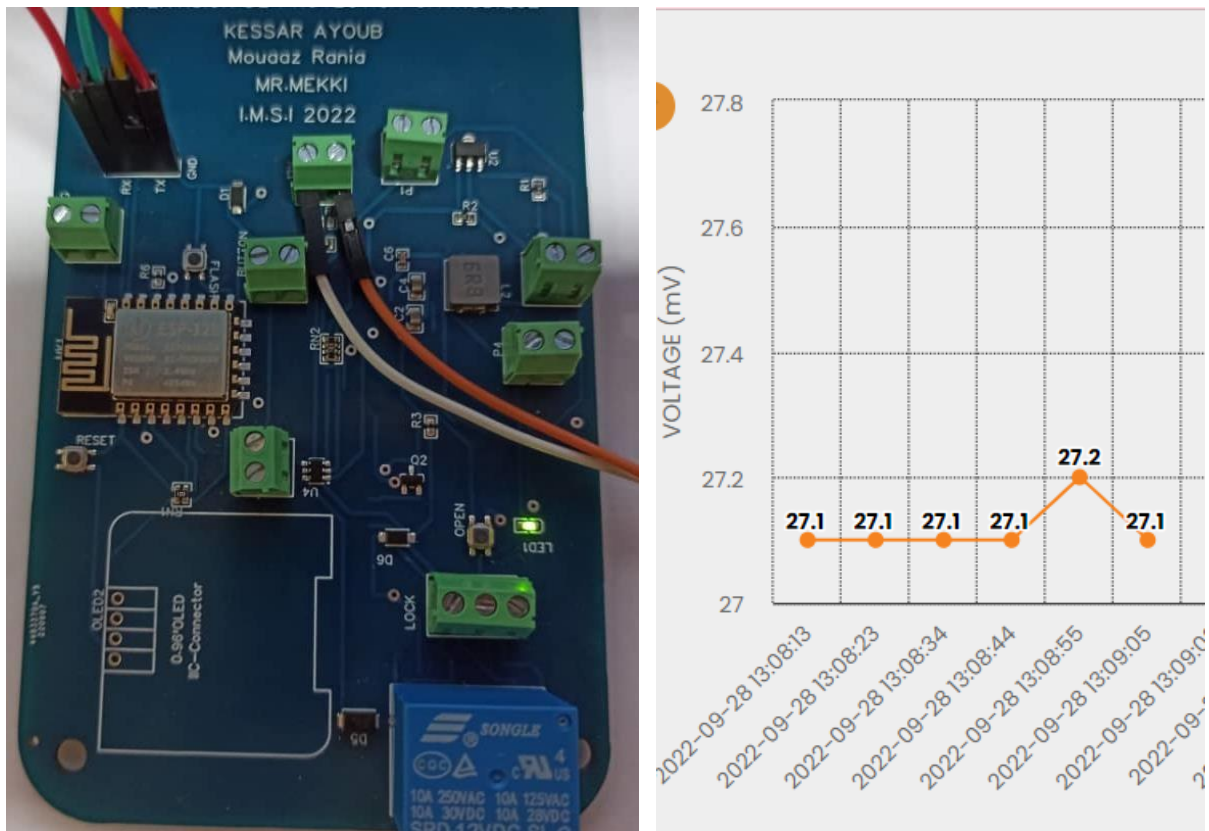


Figure 4-33 Le fonctionnement du relais

**4.5 Conclusion**

En conclusion nous avons pu créer deux environnements l'un pour la collection des mesures dans une base de données qu'on a créée nous-même et les affichées dans une interface web qui permet de visualiser les relevés de mesure du potentiel sous forme de graphes et un deuxième environnement responsable du contrôle des pompes d'injection du biocide à l'intérieur de la canalisation ainsi qu'un protocole de communication entre l'interface, la base de données et le PCB.

# Conclusion générale

---



### Conclusion générale

Dans le cadre de ce projet tutoré, nous nous sommes intéressées à la conception et au développement d'un système pour la protection cathodique autonome. Au cours de la période d'élaboration de notre projet, nous avons essayé d'atteindre l'objectif attendu : Visé à intégrer un système de surveillance et contrôle du potentiel de la tension et le courant qui sont les facteurs principaux qu'on doit prendre en compte pour protéger les pipelines de la corrosion.

Nettement ce projet, nous a permis d'approfondir nos connaissances théoriques et d'acquérir une certaine expérience au niveau de la réalisation pratique. Nous avons eu l'occasion d'étudier, de concevoir et d'utiliser une diversité de matériels et logiciels et d'appliquer notre savoir et savoir-faire acquis lors de notre formation.

Notre système a été conçu pour faire la liaison entre l'interface web qui transfère les données mesurées par le capteur qui est sous forme un diviseur de tension, ce dernier récupère le potentiel mesuré dans le pipeline, et le transmette vers la base de données dans notre serveur ainsi le code QR sera affiché par l'OLED qui représente le lien de notre interface web.

Ce système comporte un circuit imprimé doté d'un module Wifi ESP8266 pour faire la liaison entre l'interface web qui transfère les données mesurés

Cette dernière, permet d'afficher les données sous forme de graphes, de tableaux et aussi de contrôler le système. Le contrôle se fait en utilisant des relais qui commandent les pompes d'injections des biocides, et un moteur pas à pas pour la régulation des résistances du courant injecté.

L'intérêt accordé à notre système réside dans le fait qu'il peut être amélioré. L'électronique est un domaine très vaste, pour cela notre système de surveillance pourrait en effet gagner plus d'intelligence et d'interopérabilité. Dans notre cas, Nous avons utilisé le protocole de communication « http » vu la simplicité d'utilisation mais le protocole de communication « websocket » est plus fiable, il peut transmettre l'information plus vite. On peut également insérer une carte mémoire afin de stocker les données en cas de perte de connexion.

### Références bibliographiques

- [1] [En ligne]. Available: coversystem ». Consulté le: 29 juin 2022. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.coversystems.net/fr/definicion-de-corrosion/>.
- [2] [En ligne]. Available: [https://www.academia.edu/14723922/Corrosion\\_Failures](https://www.academia.edu/14723922/Corrosion_Failures).
- [3] [En ligne]. Available: <https://www.swagelok.com/en/toolbox/material-selection-guide/corrosion-types>.
- [4] [En ligne]. Available: [https://ogst.ifpenergiesnouvelles.fr/articles/ogst/pdf/1999/05/marchal\\_v54n5.pdf](https://ogst.ifpenergiesnouvelles.fr/articles/ogst/pdf/1999/05/marchal_v54n5.pdf).
- [5] [En ligne]. Available: <https://fixation.emile-maurin.fr/custom/images/rtf/methode-lutte-contre-corrosion-infra-ldoc13.pdf>.
- [6] [En ligne]. Available: <https://protectioncathodique.net/>.
- [7] [En ligne]. Available: <http://dspace.univ-tlemcen.dz/handle/112/12955>.
- [8] [En ligne]. Available: <https://docplayer.fr/21045893-Badoris-document-de-synthese-relatif-a-une-barriere-technique-de-securite-bts.html>.
- [9] [En ligne]. Available: <https://di.univ-blida.dz/xmlui/handle/123456789/3596>.
- [10] [En ligne]. Available: <https://www.bdc.ca/fr/articles-outils/technologie/investir-technologie/quest-ce-que-industrie-4>.
- [11] [En ligne]. Available: <https://yard.onl/fichiers/BTS-Aspects-economiques-de-la-maintenance.pdf>. [Accès le 15 09 2022].
- [12] [En ligne]. Available: <https://www.bdc.ca/fr/articles-outils/technologie/investir-technologie/quest-ce-que-industrie-4>.
- [13] [En ligne]. Available: <https://fr.yeePLY.com/blog/industrie-4-0-definition/>.
- [14] [En ligne]. Available: <https://blog.integral-system.fr/nouvelles-technologies-industrie-4/>.
- [15] [En ligne]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7123563>.
- [16] [En ligne]. Available: <http://eprints.univ-batna2.dz/308/1/These%20Somia%20SAHRAOUI.pdf>.
- [17] [En ligne]. Available: [https://constellation.uqac.ca/3983/1/Saad\\_uqac\\_0862N\\_10207.pdf](https://constellation.uqac.ca/3983/1/Saad_uqac_0862N_10207.pdf).
- [18] [En ligne]. Available: [https://constellation.uqac.ca/3983/1/Saad\\_uqac\\_0862N\\_10207.pdf](https://constellation.uqac.ca/3983/1/Saad_uqac_0862N_10207.pdf).
- [19] [En ligne]. Available: PFe Thème Authentification dans l'IoT.
- [20] [En ligne]. Available: PFe Thème Authentification dans l'IoT.
- [21] [En ligne]. Available: <https://ieeexplore-ieee-org.snd11.arn.dz/document/547581>.
- [22] [En ligne]. Available: <https://www.fibre-pro.fr/2018/07/10/avantages-et-inconvenients-de-la-fibre-optique/>.

- [23] [En ligne]. Available: <https://www.eltime.com/fr/article/remote-plc-access-software.html#:~:text=Les%20automates%20sont%20souvent%20connect%C3%A9s,IHM%20ex%C3%A9cut%C3%A9s%20sur%20les%20serveurs..>
- [24] [En ligne]. Available: [http://www.algerie.prix-construction.info/renovation/calculaprecio.asp?Valor=1|0|0|TTI020|jao\\_020:\\_0\\_1\\_0\\_0.](http://www.algerie.prix-construction.info/renovation/calculaprecio.asp?Valor=1|0|0|TTI020|jao_020:_0_1_0_0.)
- [25] L. S. M. Mohammed Zeki Al-Faiz, 23 June ,2012. [En ligne]. Available: [https://www.scirp.org/html/3-9501252\\_22513.htm](https://www.scirp.org/html/3-9501252_22513.htm).
- [26] [En ligne]. Available: <https://www.ouedkniss.com/composants-materiel-electronique-module-relais-emetteur-recepteur-rf-blida-algerie-d15721227.>
- [27] [En ligne]. Available: <https://opencircuit.shop/product/nodemcu-v3-lua-esp-12e-wifi-development-board.>
- [28] 2008. [En ligne]. Available: <https://www.solomon-systech.com/>.
- [29] A. Kuechler, Hochspannungstechnik, Berlin: Springer, 2005.
- [30] [En ligne]. Available: <https://components101.com/switches/5v-single-channel-relay-module-pinout-features-applications-working-datasheet.>
- [31] [En ligne]. Available: [https://www.youtube.com/results?search\\_query=+Single-Channel+Relay+Module+WITH+EASYEDA.](https://www.youtube.com/results?search_query=+Single-Channel+Relay+Module+WITH+EASYEDA.)
- [32] «components101.com,» 22 April 2020. [En ligne]. Available: <https://components101.com/development-boards/nodemcu-esp8266-pinout-features-and-datasheet.>
- [33] «Components101.com,» 10 January 2018. [En ligne]. Available: <https://components101.com/displays/oled-display-ssd1306.>
- [34] [En ligne]. Available: [https://www.youtube.com/results?search\\_query=+Single-Channel+Relay+Module+WITH+EASYEDA.](https://www.youtube.com/results?search_query=+Single-Channel+Relay+Module+WITH+EASYEDA.)
- [35] [En ligne]. Available: <https://yard.onl/fichiers/BTS-Aspects-economiques-de-la-maintenance.pdf.>
- [36] [En ligne]. Available: <https://yard.onl/fichiers/BTS-Aspects-economiques-de-la->
- [37] [En ligne]. Available: <https://di.univ-blida.dz/jspui/bitstream/123456789/3596/1/pfe.pdf.>

## Annexe

### NODEMCU

#### ➤ NodeMCU ESP8266 Spécifications et caractéristiques

- Tension de fonctionnement : 3,3 V
- Tension d'entrée : 7-12V
- Broches d'E/S numériques (DIO) : 16
- Broches d'entrée analogiques (ADC) : 1
- ACRU : 1
- IPS: 1
- CI: 1
- Memoir flash: 4 Mo
- SRAM: 64 KB
- Vitesse de horloge: 80 MHz
- Antenna PCB
- Module de petite taille pour s'intégrer intelligemment à vos projets IoT



Figure 5-1 ESP8266-NodeMCU

#### ➤ Configuration du brochage de la carte de développement

Tableau 9-1 Configuration du brochage de la carte de développement NodeMCU [32]

| Pin Catégories | Name                      | Description  |
|----------------|---------------------------|--|
| Power          | Micro-USB, 3.3V, GND, Vin | Micro-USB : NodeMCU peut être alimenté par le port USB<br>3.3V : Régulé 3.3V peut être fourni à cette broche pour alimenter la carte<br>GND : Goupilles de terre<br>Vin : Alimentation externe |
| Control Pins   | EN, RST                   | La broche et le bouton réinitialisent le microcontrôleur   |
| Analogie Pin   | A0                        | Utilisé pour mesurer la tension analogique dans la plage de 0 à 3,3 V  |

## Annexe

|           |                        |   |
|-----------|------------------------|---|
| GPIO Pins | GPIO1 to GPIO16        | NodeMCU a 16 broches d'entrée-sortie à usage général sur sa carte   |
| SPI Pins  | SD1, CMD, SD0, CLK     | NodeMCU dispose de quatre broches pour la communication SPI.  |
| UART Pins | TXD0, RXD0, TXD2, RXD2 | NodeMCU a deux interfaces UART, UART0 (RXD0 et TXD0) et UART1 (RXD1 et TXD1). UART1 Est utilisé pour télécharger le firmware/programme.           |
| I2C Pins  |                        | NodeMCU a le soutien de fonctionnalité I2C mais en raison de la fonctionnalité interne de ces broches, vous devez trouver quelle broche est I2C.. |

### ➤ Caractéristiques de l'écran OLED

- Écran OLED monochrome à 7 broches SSD1306 0.96"
- Résolution de 128 64 pixels avec angle de visualisation de 160°.
- Tension d'alimentation 3 V – 5 V (prend en charge les dispositifs logiques 5 V et 3,31 V).
- Utilise SSD1306 pour l'interfaçage et peut donc communiquer via SPI ou IIC.
- Plusieurs périphériques SPI ou IIC sont pris en charge
- Peut être facilement interfacé avec Arduino (bibliothèque disponible).
- Prend en charge les graphiques décents des images bitmap [33].