

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de RELIZANE

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département : Génie des procédés



MEMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en :

Génie chimique

Intitulé

**Corrosion des équipements dans les centrales  
thermiques de SONELGAZ et stratégies de protection**

Présenté par :

Mr : GHEBRINI Seif Eddine

Devant les membres de jury :

Président : Mr BABA AHMED Abderrazzak

Professeur A (U. Relizane)

Encadreur : Mr ADEL Mokhtar

Maître de conférences (A) A (U. Relizane)

Examineur : Mr ZAHRAOUI Mehdi

Maître de conférences (A) A (U. Relizane)

Année universitaire : 2024/2025

# *Remerciement*

Louange à Dieu, Seigneur de l'univers, qui a enseigné par la plume, qui a instruit l'homme de ce qu'il ignorait. Par Sa grâce, les difficultés deviennent surmontables et les objectifs atteignables.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à **Monsieur Adel Mokhtar**, mon encadreur, pour son accompagnement constant, ses conseils avisés, sa disponibilité, ainsi que pour la rigueur scientifique dont il a fait preuve tout au long de ce travail. Son encadrement a été d'une grande importance dans la réalisation de ce mémoire. Je lui adresse mes remerciements les plus sincères et ma reconnaissance la plus profonde.

J'exprime également toute ma gratitude aux membres du jury :

- **Monsieur Baba Ahmed Abderrazzak**, président du jury,
- **Monsieur Zahraoui Mehdi**, examinateur,

pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'évaluer ce travail, et pour leurs remarques pertinentes qui ont enrichi considérablement cette recherche.

Mes remerciements s'adressent aussi à **l'ensemble de mes enseignants** tout au long de mon parcours universitaire, pour la qualité de leur enseignement, ainsi qu'à **mes collègues, amis et membres du laboratoire** pour leur soutien, leur collaboration et leur esprit d'équipe.

Enfin, je remercie du fond du cœur **toutes les personnes**, connues ou restées dans l'ombre, **qui m'ont soutenu moralement ou matériellement**, de près ou de loin.

À toutes celles et ceux qui ont contribué, d'une manière ou d'une autre, à ce parcours : **merci infiniment. Que Dieu vous récompense pour votre bienveillance et votre générosité.**

# *Dédicace*

À ceux qui ont toujours été mon plus grand soutien et ma source constante d'inspiration, je dédie ce travail avec tout mon amour, ma reconnaissance et ma gratitude infinie.

À **ma chère mère**, qui a toujours été le refuge de mon âme et la boussole qui m'a guidé dans les chemins de la vie,  
Merci pour ton amour inconditionnel, ton dévouement sans limites et ton soutien indéfectible. Tu as été la lumière qui a illuminé mes ténèbres, et tu as cru en moi même lorsque moi-même je doutais de mes capacités.  
Que Dieu te bénisse et te protège.

À **mon père bien-aimé**, qui m'a enseigné la valeur du travail, de la persévérance et de l'intégrité,  
Je te remercie pour ta sagesse, tes conseils précieux et ton soutien constant. Tu as toujours été une source d'inspiration pour moi, et je te suis profondément reconnaissant pour ta confiance et ton amour.

À **mes chères sœurs**,  
Merci pour votre présence rassurante, vos sourires réconfortants, et votre soutien dans toutes les étapes de ma vie.  
Vous êtes une fierté pour moi et une joie immense dans mon cœur.

À **mes chers amis**,  
Vous avez été mes piliers dans les moments difficiles, et mes compagnons dans les moments de joie.  
Merci pour votre amitié sincère, votre loyauté, et votre soutien constant. Votre présence m'a été précieuse.

À **mes professeurs respectés**,  
Je vous adresse toute ma gratitude pour votre encadrement, vos conseils et votre engagement tout au long de mon parcours universitaire.  
Votre présence et vos enseignements ont profondément marqué mon chemin académique et personnel.  
Merci de tout cœur.

*Seif Eddine*

## Résumé

Ce mémoire traite du phénomène de la corrosion dans les équipements des centrales thermiques de la société Sonelgaz. Il analyse les mécanismes responsables de la dégradation des structures métalliques dans des conditions extrêmes de température, de pression et de nature chimique des fluides. L'étude aborde également les différents types de corrosion (généralisée, galvanique, sous contrainte, etc.), les facteurs qui les influencent, ainsi que les techniques de prévention, notamment la protection cathodique. Une étude de cas sur la direction de distribution de Relizane et une partie expérimentale sur l'adsorption de colorants industriels à l'aide de nanocomposites viennent appuyer les conclusions du travail.

**Mots-clés :** corrosion, centrales thermiques, protection cathodique, Sonelgaz, matériaux, adsorption, nanocomposites.

## الملخص

يتناول هذا البحث ظاهرة التآكل في تجهيزات محطات الطاقة الحرارية التابعة لشركة سونلغاز، حيث تم تحليل آليات تدهور البنى المعدنية تحت ظروف تشغيلية قاسية تشمل درجات حرارة وضغط مرتفعين وبيئات كيميائية نشطة. يستعرض البحث أنواع التآكل المختلفة مثل التآكل العام، التآكل الجلفاني، التآكل تحت الإجهاد وغيرها، بالإضافة إلى العوامل المؤثرة في حدوثه. كما تم التركيز على أهم استراتيجيات الحماية، وخاصة الحماية الكاثودية. وُثِّقت هذه الدراسة من خلال دراسة حالة على مستوى مديرية توزيع غليزان، بالإضافة إلى جزء تجريبي حول امتصاص الأصباغ الصناعية باستخدام مركبات نانوية.

**الكلمات المفتاحية:** التآكل، محطات حرارية، الحماية الكاثودية، سونلغاز، المواد، الامتصاص، المركبات النانوية.

## Abstract

This dissertation focuses on the phenomenon of corrosion in the equipment of thermal power plants operated by Sonelgaz. It explores the mechanisms of metal degradation under extreme operating conditions such as high temperature, pressure, and chemically aggressive environments. The study covers different types of corrosion (general, galvanic, stress corrosion, etc.), influencing factors, and prevention techniques, especially cathodic protection. A case study of the Relizane distribution center and an experimental section on dye adsorption using nanocomposites support the findings.

**Keywords:** corrosion, thermal power plants, cathodic protection, Sonelgaz, materials, adsorption, nanocomposites.

# Table des Matières

Remerciement .....	I
<b>Dédicace</b> .....	I
Résumé .....	II
<b>Table des Matières</b> .....	III
Introduction Générale.....	1
CHAPITRE I : .....	4
Rappel Bibliographique .....	4
<b>Présentation du groupe Sonelgaz:</b> .....	5
<b>Présentation de la SADEG – Direction de Distribution de Relizane</b> .....	8
<b>Mission et rôle stratégique</b> .....	8
<b>Organisation territoriale</b> .....	9
<b>Structure de gestion et d’exploitation</b> .....	9
<b>Performances et adaptabilité</b> .....	10
Division Technique Gaz (DTG).....	12
<b>Service de contrôle d’exploitation</b> .....	12
<b>Service de maintenance</b> .....	12
<b>Chapitre II : Localisation du problème de corrosion</b> .....	14
<b>Définition du gaz naturel</b> .....	15
<b>Origine du gaz naturel</b> .....	15
<b>Types de gaz naturel</b> .....	15
<b>Gaz conventionnel et non conventionnel</b> .....	15
<b>Types de réseaux de distribution de gaz</b> .....	16
<b>Réseau en acier fonte</b> .....	16
<b>Types de réseaux de distribution de gaz</b> .....	17
<b>Réseau en polyéthylène (PE)</b> .....	18
<b>Canalisation en polyéthylène (PE) – précautions de pose</b> .....	18

<b>Définition de la corrosion :</b> .....	19
<b>Les différents facteurs de corrosion</b> .....	19
<b>Influence de la structure cristalline sur la dissolution :</b> .....	20
<b>Différents formes de corrosions :</b> .....	20
<b>Corrosion généralisée :</b> .....	20
<b>Corrosion localisée</b> .....	22
<b>Corrosion galvanique</b> .....	24
<b>Corrosion par piqûres :</b> .....	25
<b>Corrosion sous contrainte :</b> .....	28
<b>Corrosion érosion :</b> .....	30
<b><i>CORROSION PAR COURANTS VAGABONDS</i></b> .....	33
<b>3.2 Mécanismes de corrosion</b> .....	34
<b>3.2.1 Corrosion électrochimique</b> .....	34
<b>3.2.2 Corrosion galvanique</b> .....	35
<b>3.2.3 Corrosion par concentration différentielle</b> .....	35
<b>3.2.4 Corrosion sous contrainte (SCC – Stress Corrosion Cracking)</b> .....	36
<b>3.2.5 Corrosion érosion (Erosion-Corrosion)</b> .....	36
<b>3.2.6 Corrosion par piqûres (Pitting corrosion)</b> .....	36
<b>3.2.8 Corrosion microbiologique (MIC – Microbiologically Influenced Corrosion)</b> .....	37
<b>3.3 Facteurs influençant la corrosion dans les centrales thermiques</b> .....	37
<b>3.3.1 La composition chimique de l'eau (qualité du fluide)</b> .....	37
<b>3.3.2 Le pH du milieu</b> .....	38
<b>3.3.3 La température</b> .....	38
<b>3.3.4 La vitesse d'écoulement du fluide</b> .....	39
<b>3.3.5 La présence d'oxygène dissous (O<sub>2</sub>)</b> .....	39
<b>3.3.6 La pression</b> .....	40

<b>3.3.7 Les propriétés des matériaux utilisés .....</b>	<b>40</b>
<b>3.3.8 Le design et la géométrie des équipements .....</b>	<b>40</b>
<b>3.3.9 Les opérations de maintenance et les arrêts de production .....</b>	<b>41</b>
<b>Chapitre III : Partie Expérimentale – La Protection contre la Corrosion .....</b>	<b>42</b>
<b>Une Barrière Active Contre la Corrosion des Structures Métalliques .....</b>	<b>43</b>
<b>1. Introduction générale à la protection cathodique .....</b>	<b>43</b>
<b>2. Principe fondamental de la protection cathodique .....</b>	<b>43</b>
<b>3. Domaine d’application : les canalisations en acier .....</b>	<b>44</b>
<b>4. Intérêt technico-économique .....</b>	<b>44</b>
<b>1. Phénomène électrochimique à l’origine de la corrosion .....</b>	<b>45</b>
<b>2. Stratégies de lutte contre la corrosion .....</b>	<b>46</b>
<b>Un système actif et économique : .....</b>	<b>50</b>
<b>Dispositions particulières : .....</b>	<b>51</b>
<b>Mesure et contrôle : .....</b>	<b>51</b>
<b>Détection de Défauts de Revêtement de Canalisation .....</b>	<b>53</b>
<b>Conclusion Générale .....</b>	<b>57</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>59</b>

## **Liste des figures :**

FIGURE 01: Les Filiales de Sonelgaz

FIGURE 02 : Organigramme de la direction de distribution de Relizane

FIGURE 03 : ORGANIGRAMME DE DIVISION TECHNIQUE GAZ

FIGURE 04 : Raccordement d'homogène acier

FIGURE 05 : Canalisation en acier

FIGURE 06 : Corrosion généralisée affectant la surface d'une pièce métallique

FIGURE 07 : Schéma d'une pile de corrosion

FIGURE 08 : Pièces métallique présentant une corrosion par piqures

FIGURE 09 : Schéma présentant propagation des fissures en corrosion sous contraintes

FIGURE 10 : Schéma du montage pour la mesure du potentiel d'une électrode

FIGURE 11 : la Corrosion dans les canalisations acier

FIGURE 12 : La protection passive par le revêtement extérieur

FIGURE 13 : Principe de la protection active

FIGURE 14 : Electrode cuivre/ sulfate

FIGURE 16 : Détection de Défauts de Revêtement de Canalisation

FIGURE 17 : Poste Redresseur

FIGURE 18 : Mini Poste Redresseur

# **Introduction Générale**

## **Introduction générale**

---

La corrosion des matériaux métalliques constitue l'un des défis majeurs auxquels sont confrontées les installations industrielles modernes, en particulier dans le domaine de la production énergétique. En effet, les équipements utilisés dans les centrales thermiques fonctionnent dans des conditions extrêmes, marquées par des températures et des pressions élevées, des fluides souvent agressifs, ainsi que des contraintes mécaniques et chimiques variées. Ces conditions accélèrent les phénomènes de corrosion, compromettant la durabilité, l'efficacité et la sécurité des installations.

Dans le contexte algérien, la société **Sonelgaz**, en tant qu'opérateur national de référence dans la production, le transport et la distribution de l'électricité et du gaz, est confrontée à cette problématique de manière récurrente. Les infrastructures de ce groupe, qu'il s'agisse de canalisations métalliques, de chaudières, d'échangeurs thermiques ou de réseaux enterrés, sont exposées à des environnements sévères, susceptibles de provoquer divers types de corrosion : **corrosion généralisée, corrosion localisée, corrosion galvanique, corrosion sous contrainte, corrosion microbiologique, etc.**

Les conséquences de la corrosion, lorsqu'elles ne sont pas maîtrisées, sont multiples :

- **Techniques**, à travers la détérioration prématurée des équipements ;
- **Économiques**, par l'augmentation des coûts de maintenance, des arrêts imprévus ou du remplacement des installations ;
- **Sécuritaires**, en raison du risque accru d'incidents ou d'accidents industriels.

Face à ces enjeux, il devient impératif d'adopter des stratégies de prévention et de protection efficaces, adaptées à la nature des installations et à leur environnement opérationnel. Parmi ces stratégies, **la protection cathodique** se distingue comme une solution électrochimique performante, permettant de limiter significativement la corrosion des structures métalliques enterrées ou immergées. Combinée à d'autres approches telles que le **choix de matériaux résistants**, l'**application de revêtements protecteurs**, ou encore le **contrôle des paramètres physico-chimiques** du milieu, elle offre une défense durable contre les attaques corrosives.

Ce mémoire s'inscrit dans une démarche scientifique rigoureuse visant à comprendre les mécanismes de la corrosion au sein des centrales thermiques de Sonelgaz et à proposer des solutions concrètes de mitigation. Il s'articule autour de trois axes principaux :

## Introduction générale

---

1. **Une revue bibliographique approfondie** sur les phénomènes de corrosion, les types de matériaux utilisés dans l'industrie énergétique, ainsi que les méthodes de prévention ;
2. **Une étude technique appliquée au contexte de la direction de distribution de Relizane**, filiale de SADEG, pour identifier les zones les plus vulnérables à la corrosion dans les réseaux de distribution de gaz ;
3. **Une partie expérimentale** orientée vers l'évaluation de matériaux innovants – en particulier des nanocomposites à base de maghnite – dans le cadre de procédés d'adsorption, illustrant une approche complémentaire de traitement des effluents et de protection des installations.

À travers cette étude, l'objectif est de contribuer, même modestement, à l'amélioration des pratiques de gestion de la corrosion dans les infrastructures énergétiques algériennes, et de mettre en lumière l'importance de la maintenance préventive et de l'innovation dans ce domaine critique pour la pérennité des installations industrielles.

# **CHAPITRE I :**

## **Rappel Bibliographique**

### **Présentation du groupe SONELGAZ :**

Le Groupe Sonelgaz (Société Nationale de l'Électricité et du Gaz) constitue le principal acteur du secteur énergétique en Algérie. Héritière directe de l'ancienne entité EGA – Électricité et Gaz d'Algérie, cette entreprise publique a vu le jour dans le contexte post-indépendance, avec pour mission première d'assurer la production, le transport et la distribution de l'électricité et du gaz naturel à l'échelle nationale.

Depuis plus de cinquante ans, Sonelgaz s'est imposée comme un moteur stratégique du développement économique et social du pays, accompagnant la politique de modernisation des infrastructures, la croissance industrielle, et l'amélioration du bien-être des citoyens. Grâce à sa présence étendue sur l'ensemble du territoire national, l'entreprise a permis une électrification quasi totale de l'Algérie avec un taux de couverture dépassant les 99 % pour l'électricité et plus de 60 % pour le gaz naturel — des taux parmi les plus élevés au monde, notamment dans les zones rurales et les régions sahariennes.

#### **Un rôle stratégique dans la transition énergétique**

Au-delà de ses missions traditionnelles, Sonelgaz joue également un rôle central dans la transition énergétique du pays. En intégrant les énergies renouvelables dans son portefeuille d'activités, notamment à travers sa filiale dédiée (ex-SKTM), elle s'aligne sur les engagements nationaux et internationaux de réduction de l'empreinte carbone et de diversification des sources d'énergie.

#### **Une entreprise citoyenne et engagée**

Sonelgaz se distingue aussi par son ancrage social, incarné par des actions concrètes en faveur du développement local, de la solidarité, du sponsoring sportif, culturel et éducatif, et du soutien aux initiatives associatives. Cette responsabilité sociétale s'exprime à travers une politique de proximité, d'écoute des citoyens, et d'amélioration continue des services.

Malgré les nombreux défis opérationnels (accès à des zones difficiles, sécurité des installations, vieillissement de certains réseaux), les équipes techniques et administratives de Sonelgaz font preuve d'un professionnalisme exemplaire, garantissant la continuité de service dans les conditions parfois les plus extrêmes.

#### **Un groupe structuré autour de filiales spécialisées**

Afin de répondre efficacement aux exigences du secteur énergétique moderne, Sonelgaz s'est réorganisée autour d'une structure de groupe industriel intégré, composé de 11 filiales couvrant les différents métiers : production, transport, distribution, ingénierie, services, grands travaux, industries électriques et gazières.

Cette structuration permet une meilleure gouvernance, une spécialisation des activités, une rationalisation des ressources et une amélioration de la performance globale. Chaque filiale dispose d'une autonomie de gestion tout en étant alignée sur la stratégie globale du groupe.

### **Les Filiales du Groupe Sonelgaz**

Dans le cadre de sa modernisation et de l'optimisation de ses activités, **Sonelgaz** s'est transformée en un **groupe industriel structuré**, composé de plusieurs **filiales spécialisées** ainsi que de **sociétés en participation**, chacune chargée d'un segment spécifique de la chaîne énergétique. Cette organisation permet une **gestion plus efficace**, une meilleure répartition des responsabilités, ainsi qu'une amélioration continue des performances techniques, commerciales et environnementales.

### **Une organisation multisectorielle**

Au début de l'année **2024**, le Groupe Sonelgaz compte **11 filiales principales**, réparties selon les grandes fonctions du secteur énergétique, à savoir : la production, le transport, la distribution, les services techniques et industriels, ainsi que les énergies renouvelables.

#### **1. Sonelgaz – Production de l'électricité (SPE)**

Chargée de la **production d'électricité** à l'échelle nationale, cette filiale gère un parc de centrales thermiques, à cycle combiné et autres infrastructures de production, permettant d'alimenter le réseau national avec une capacité suffisante pour répondre à la demande croissante.

#### **2. Sonelgaz – Énergies Renouvelables**

Anciennement connue sous le nom de **SKTM (Kahraba wa Takat Moutadjadida)** jusqu'en avril 2022, cette filiale développe les projets de **production d'énergie solaire, éolienne et autres sources propres**, dans le cadre de la stratégie nationale de transition énergétique.

#### **3. Sonelgaz – Engineering**

Ex-**CEEG (Compagnie de l'Engineering de l'Électricité et du Gaz)**, cette entité se spécialise dans **l'ingénierie, les études techniques, la conception, le pilotage et la**

---

**réalisation des projets énergétiques**, garantissant la conformité et l'efficacité des nouvelles installations.

#### **4. Sonelgaz – Transport de l'électricité**

Auparavant connue sous le nom de **GRTE (Société de Gestion du Réseau de Transport de l'Électricité)**, cette filiale est responsable du **transport de l'énergie électrique** à haute et très haute tension à travers tout le territoire.

#### **5. Sonelgaz – Transport du gaz**

Anciennement **GRTG (Société de Gestion du Réseau de Transport du Gaz)**, elle assure la **gestion, l'entretien et l'expansion du réseau national de transport du gaz naturel**, des centres de production jusqu'aux distributeurs régionaux.

#### **6. L'Opérateur Système Électrique (OS)**

Cette structure a pour mission le **pilotage en temps réel du système électrique national**, en assurant l'équilibre entre l'offre et la demande, ainsi que la sécurité et la stabilité du réseau électrique.

#### **7. Sonelgaz – Distribution (SADEG)**

Issue en 2017 de la **fusion de plusieurs sociétés régionales** (RDC, RDA, RDE, RDO, RDBE, RDOUR), SADEG est en charge de la **distribution de l'électricité et du gaz aux clients finaux**, assurant les raccordements, les interventions techniques, la facturation et la relation client.

#### **8. Sonelgaz – Services**

Créée en **juin 2022**, cette filiale regroupe plusieurs prestations **techniques, logistiques et de maintenance** pour les besoins internes du groupe, ainsi que pour des partenaires extérieurs.

#### **9. SAIEG – Société Algérienne des Industries Électriques et Gazières**

Mise en place en **mai 2022**, cette société est spécialisée dans la **fabrication locale d'équipements électriques et gaziers**, dans le but de promouvoir l'intégration industrielle nationale et réduire la dépendance aux importations.

#### **10. Kahragaz – Société des Grands Travaux d'Électricité et de Gaz**

Spécialisée dans les **travaux lourds d'infrastructure énergétique**, Kahragaz intervient dans la construction, le renforcement et la modernisation des réseaux et installations.

## 11. Inerkib – Société de Réalisation des Infrastructures Énergétiques et Industrielles

Chargée de la **réalisation d'ouvrages stratégiques**, Inerkib assure l'exécution de projets de grande envergure dans le domaine des infrastructures énergétiques, industrielles et logistiques.



FIGURE 01: Les Filiales de Sonelgaz

### Présentation de la SADEG – Direction de Distribution de Relizane

La **Direction de Distribution de Relizane**, relevant de la filiale SADEG (Société Algérienne de Distribution de l'Électricité et du Gaz), constitue un maillon essentiel du réseau énergétique national. En tant qu'entité de service public, elle est investie d'une mission fondamentale : **assurer une distribution fiable, continue et sécurisée de l'électricité et du gaz** à l'ensemble des citoyens et structures économiques de la wilaya de Relizane.

#### Mission et rôle stratégique

La mission principale de la direction est de **garantir l'accès équitable et durable à l'énergie**, tout en s'adaptant aux exigences environnementales, aux évolutions technologiques et aux besoins croissants de la population. Cette responsabilité est d'autant plus cruciale qu'elle s'inscrit dans une dynamique nationale de **développement économique et social décentralisé**.

Parmi ses rôles clés, on peut citer :

- La **gestion opérationnelle** des réseaux de distribution d'électricité et de gaz.
- L'**entretien et la modernisation** des installations.
- Le **développement de nouveaux raccordements** en réponse aux demandes des particuliers, des entreprises et des institutions publiques.
- La **commercialisation de l'énergie**, incluant la facturation, la relation clientèle, le traitement des réclamations et le suivi des consommations.

### **Organisation territoriale**

La direction de distribution dispose de **huit agences commerciales** implantées à travers les différentes dairas de la wilaya. Ces agences constituent le **premier point de contact entre les usagers et la société**, en assurant :

- Une **assistance technique** (interventions, relevés, maintenance).
- Une **assistance commerciale** (abonnements, contrats, paiement, information client).
- Le **traitement des urgences** (coupures, fuites de gaz, incidents techniques).

Grâce à cette organisation de proximité, la SADEG Relizane renforce la **réactivité de ses services** et améliore la **satisfaction des clients**.

### **Structure de gestion et d'exploitation**

Située au **chef-lieu de la wilaya**, la direction générale de la concession assure le pilotage de toutes les activités liées à :

- **L'exploitation des réseaux** : surveillance en temps réel, interventions techniques, contrôle de la conformité.
- **La sécurité des ouvrages** : mise en œuvre des normes de prévention, suivi des incidents, coordination avec la protection civile.
- **La planification et le développement** : extension du réseau, réalisation de nouvelles installations, suivi des projets d'investissement.
- **La gestion des différentes catégories de clients** :
  - **Basse tension / basse pression** (ménages et petits professionnels),
  - **Haute tension / haute pression type A (HT-A / HP-A)**,
  - **Haute tension / haute pression type B (HT-B / HP-B)** (grands consommateurs industriels).

**Performances et adaptabilité**

Grâce à une **organisation interne rigoureuse**, une **gestion financière équilibrée** et une **maîtrise technique avancée**, la Direction de Distribution de Relizane se montre apte à :

- Répondre avec agilité aux **fluctuations de l'environnement économique et énergétique**,
- Maintenir un haut **niveau de qualité de service**,
- Contribuer à la **sécurisation énergétique de la région**,
- Participer à la mise en œuvre des **programmes nationaux de développement** (raccordement des zones rurales, électrification des zones industrielles, etc.).

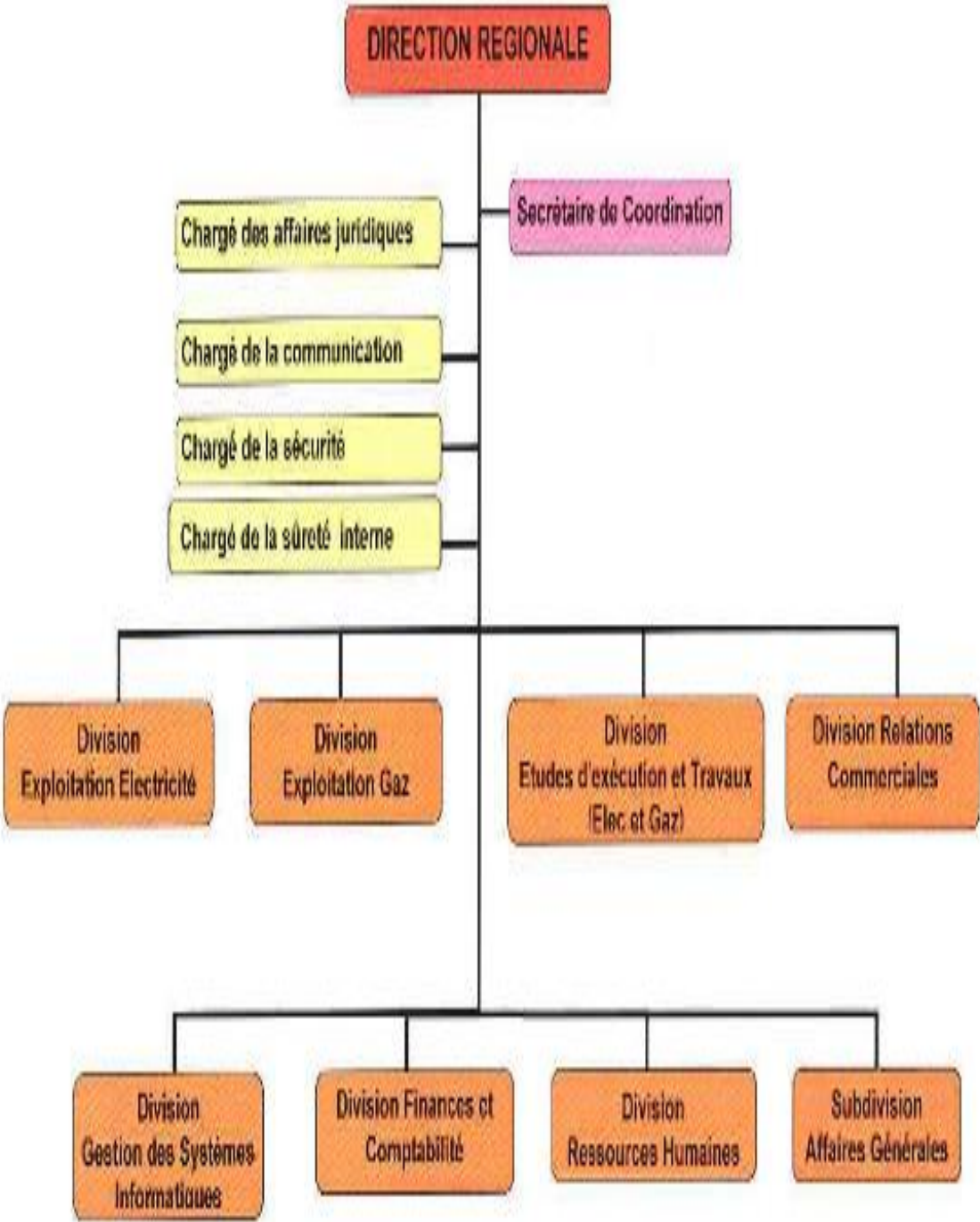


FIGURE 02 : Organigramme de la direction de distribution de Relizane

---

## Division Technique Gaz (DTG)

La **Division Technique Gaz (DTG)** est structurée en deux services principaux, chacun ayant des responsabilités spécifiques mais complémentaires : le **service de maintenance** et le **service de contrôle d'exploitation**.

### Service de contrôle d'exploitation

Ce service joue un rôle crucial dans le bon fonctionnement du réseau gazier. Il est chargé de veiller au bon état et à l'efficacité des **vannes de gaz**. Pour cela, il réalise régulièrement des opérations telles que le nettoyage et le graissage de ces vannes, afin d'en assurer la fluidité d'ouverture et de fermeture, indispensable pour la sécurité et la continuité du service.

En plus de ces tâches mécaniques, le service assure l'**identification précise de chaque vanne**, contrôle leur raccordement correct au réseau, et effectue des inspections pour la **détection de fuites potentielles de gaz**, ce qui est essentiel pour prévenir tout risque d'accident ou de perte d'énergie.

Pour coordonner les opérations et planifier les interventions, ce service utilise un logiciel de dessin assisté par ordinateur, **AutoCAD**, qui lui permet de cartographier avec précision le réseau existant et d'intégrer les modifications nécessaires. Grâce à ces données, il peut ensuite transmettre les ordres de branchement aux différentes agences commerciales réparties sur le territoire, au nombre de huit.

### Service de maintenance

Le service de maintenance est dédié à la **recherche systématique et proactive des fuites** sur l'ensemble du réseau de distribution du gaz. Cette surveillance régulière permet de détecter rapidement toute anomalie ou dysfonctionnement, garantissant ainsi la sécurité des infrastructures et des usagers.

Une autre mission essentielle de ce service concerne la **protection cathodique des ouvrages métalliques**. La corrosion représente en effet une menace sérieuse pour la durabilité des canalisations et équipements en acier. La protection cathodique, qui peut être de nature **passive ou active**, est un procédé technique permettant d'empêcher ou de réduire la corrosion en protégeant électriquement les surfaces métalliques exposées. Le choix entre protection

passive ou active dépend de la longueur et des caractéristiques spécifiques du réseau à protéger.

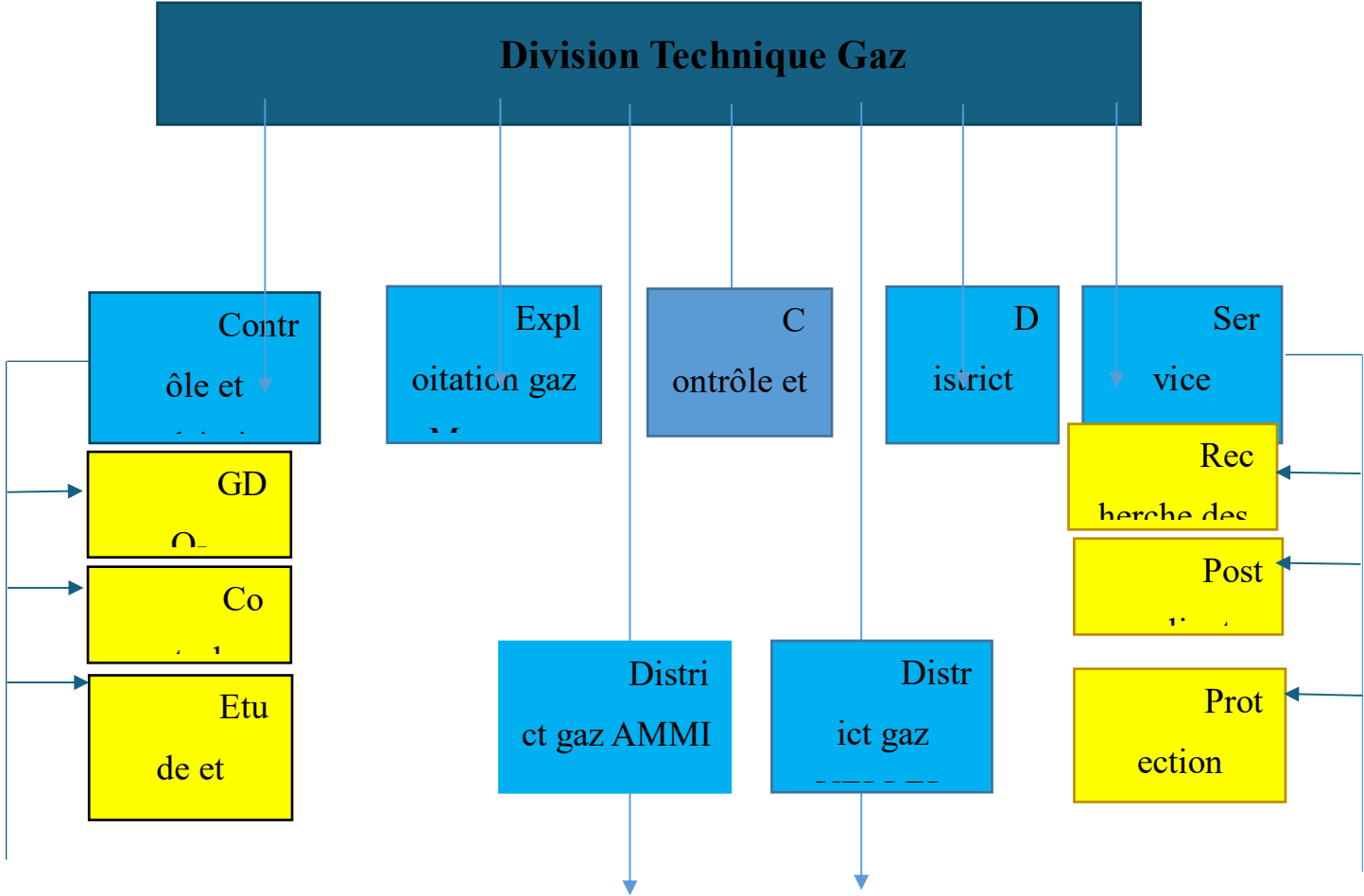


FIGURE 03 : ORGANIGRAMME DE DIVISION TECHNIQUE GAZ

# **Chapitre II : Localisation du problème de corrosion**

---

## Définition du gaz naturel

Le **gaz naturel** est un combustible fossile présent naturellement sous forme gazeuse dans les roches poreuses du sous-sol terrestre. Il est utilisé comme source d'énergie et est principalement composé d'hydrocarbures, dont le principal est le **méthane (CH<sub>4</sub>)**. Il contient également d'autres hydrocarbures tels que le propane (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), le butane (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>), l'éthane (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) et le pentane (C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>).

### Origine du gaz naturel

Le gaz naturel est généré à partir de la sédimentation de matière organique vieille de plusieurs millions d'années. Cette matière organique enfouie dans le sous-sol se transforme d'abord en **kérogène** sous l'effet combiné de la pression et de la température. Lorsque la température augmente entre 50°C et 120°C, le kérogène se décompose par un processus appelé **pyrolyse**. Cette décomposition thermique libère deux types d'hydrocarbures : le gaz naturel et le pétrole, qui s'accumulent dans une roche imperméable formant ainsi un gisement.

Ces gisements se situent généralement entre 1,5 km et 3 km de profondeur, où le gaz et le pétrole coexistent souvent dans la même formation géologique.

### Types de gaz naturel

Le gaz naturel peut être classé en deux catégories selon son origine :

- **Gaz thermogénique** : produit par la transformation de matière organique sous l'effet combiné de la pression et de la chaleur.
- **Gaz biogénique** : généré par la fermentation de bactéries présentes dans les sédiments organiques.

### Gaz conventionnel et non conventionnel

Selon la nature du gisement et la profondeur d'exploitation, le gaz naturel est dit **conventionnel** ou **non conventionnel**. Cette distinction dépend principalement de la facilité d'extraction et des techniques utilisées :

- Le **gaz conventionnel** est piégé dans des gisements accessibles, où l'extraction est relativement simple et efficace. Historiquement, ce type de gaz a été privilégié par les producteurs grâce à un taux de récupération des ressources d'environ 80 %.
- Le **gaz non conventionnel** est contenu dans des formations géologiques plus complexes et difficiles d'accès. Son extraction nécessite des techniques plus avancées et coûteuses. Le taux de récupération moyen est généralement plus faible, autour de 20 %. Cependant, la production de gaz non conventionnel a connu une forte croissance ces dernières années, notamment aux États-Unis.

## Types de réseaux de distribution de gaz

### Réseau en acier fonte

Le réseau en acier fonte a été le premier type de réseau utilisé, principalement entre les années 1950 et 1977. Ce réseau fonctionne sous une pression de service ne dépassant pas 100 mbar.

Cependant, ce type de réseau présente plusieurs limites :

- Il nécessite un contrôle fréquent et rigoureux pour assurer une bonne protection contre la corrosion, notamment via des systèmes de protection cathodique passifs et actifs.
- Sa maintenance et ses réparations sont difficiles à réaliser.
- L'acier fonte se corrode rapidement, ce qui réduit la durée de vie du réseau et augmente les risques de fuites.

Pour ces raisons, ce réseau est progressivement remplacé par des réseaux plus modernes et résistants.



**FIGURE 04 : Raccordement d'homogène acier**

**Canalisation en acier :**

Les conditions sur le remblai seront conformes au référentiel retenu pour la conception de l'ouvrage



**FIGURE 05 : Canalisation en acier**

## Types de réseaux de distribution de gaz

### Réseau en cuivre

Le réseau en **cuivre** a été utilisé principalement entre **1977 et 1990**. Ce type de réseau se caractérise par un diamètre relativement petit. Bien que le cuivre soit un matériau de qualité, son usage dans la distribution de gaz présente plusieurs contraintes :

- **Coût élevé** : Le cuivre est un matériau coûteux, ce qui rend la construction et la maintenance de ces réseaux onéreuses.
- **Difficulté de contrôle** : En raison de la nature du matériau et du diamètre réduit, il est difficile d'inspecter et de contrôler l'état des canalisations en cuivre, notamment en ce qui concerne la détection de fuites ou la corrosion.

## Réseau en polyéthylène (PE)

Depuis **1995**, l'usage du polyéthylène de moyenne densité (PMD), identifiable par sa couleur jaune, a été introduit pour les réseaux de distribution de gaz. À partir de **2000**, le polyéthylène haute densité (PEHD), souvent noir avec des bandes jaunes, est devenu la norme. Ce type de canalisation présente plusieurs avantages notables :

- **Coût réduit** : Le PE permet une mise en œuvre rapide et économique, ce qui réduit les coûts d'installation.
- **Facilité de pose** : La légèreté et la flexibilité du matériau accélèrent les travaux d'installation.
- **Durabilité élevée** : Le PE est inerte, ce qui le rend très résistant aux agressions chimiques et environnementales, assurant ainsi une longue durée de vie des canalisations.

## Canalisation en polyéthylène (PE) – précautions de pose

Lors de la pose des canalisations en PE, il faut prendre certaines précautions pour éviter d'endommager le matériau :

- Le **gravier coupant** utilisé comme remblai peut abîmer les canalisations si les précautions ne sont pas respectées.
- Le transporteur et les équipes de pose doivent choisir avec soin la qualité des matériaux de remblai.
- Le compactage du remblai doit être réalisé conformément aux règles spécifiques à l'installation des réseaux en PE, notamment celles définies dans le **guide de pose et d'utilisation des canalisations en polyéthylène**.

Ces mesures sont essentielles pour garantir la performance, la sécurité et la longévité du réseau de distribution en PE.

### **Définition de la corrosion :**

La corrosion est un phénomène naturel qui affecte la plupart des matériaux métalliques, entraînant une détérioration de ces derniers. Presque toutes les installations est équipements métalliques sont en interaction avec les différents environnements agressifs. Chaque année des dégâts considérables sont constatés, qui ont pour conséquences des pertes se chiffrant en Milliards de Dollars d'où l'intérêt porté par les scientifiques pour l'étude de la corrosion et de la lutte contre la corrosion. Des mesures préventives sont adaptées à chaque situation et type d'installation toutes en développant des méthodes est des moyens d'expertise de plus en plus performants. Le terme corrosion vient du mot latin corroder, qui signifie ronger, attaquer .La corrosion affecte la plupart des métaux usuels, elle résulte de l'interaction physico-chimique entre le matériau est son environnement entraînant des modifications des propriétés du métal souvent accompagnées d'une dégradation fonctionnelle de ce dernier, sachant les métaux dans la nature sont généralement sous forme d'oxydes, de sulfures, de sels.... Ainsi les métaux se trouvent dans un état d'énergie le plus faible c.-à-d. thermodynamiquement plus stable, les métaux fabriqués à partir des composés se trouvent dans un état d'énergie plus élevé, c'est la raison pour laquelle ces métaux ont tendance à revenir à leur état d'énergie initial cela après interaction avec le milieu environnant.

### **Les différents facteurs de corrosion**

#### **Facteurs métallurgiques :**

Le meilleur exemple de l'effet métallurgique est donnée par la corrosion inter granulaire des aciers inoxydables austénitiques, elle est constatée au niveau des joints de grains ou à lieu un phénomène de précipitation de carbures de chrome laissant ainsi, celles adjacentes appauvries en ce dernier et donc sans protection. La susceptibilité de ce phénomène vient suite à une opération de soudage ou de traitement thermique dans une plage de température ou la formation et précipitation des carbures de chrome sont favorisées. La solution à ce problème peut être métallurgique par l'addition d'éléments comme : (Ti-Nb) plus avides pour le carbone que le chrome. On peut citer encore le cas de présence d'impuretés (MnS) la présence de ce sulfures altèrent considérablement la résistance à la corrosion des aciers.

**Influence de la structure cristalline sur la dissolution :**

Lors d'une dissolution active, des atomes quittent leurs positions de demi-cristal et subissent une ionisation et une hydratation suivant deux mécanismes

- L'atome ionisé passe directement en solution sous forme hydratée (a).
- L'atome passe du site demi-cristal à une position d'adsorption par diffusion superficielle, il subit ensuite une ionisation et une hydratation (b).

**Facteurs mécaniques :**

L'impact de ce facteur est très important dans les parties d'équipement soumises à des contraintes résiduelles (traitement thermique, écrouissage, soudage...) si l'alliage est susceptible, il apparaît alors un phénomène de fissuration sous tension connu aussi sous le terme « corrosion sous contrainte ». Dans le cas des contraintes cycliques, le phénomène de fatigue corrosion est observé.

**Facteurs biologiques :**

La pression dans les sols, les produits de pétrole, les bactéries (thioacides) du type qui réduisent le soufre ou les composés soufrés pouvant de ce fait produire de l'acide sulfurique, ce dernier est le produit de l'activité biochimique, qui est responsable de la corrosion.

**Facteurs liés aux conditions d'emploi :**

- Etat de surface
- Etat structural
- Composition chimique
- La température
- PH du milieu

**Différents formes de corrosions :****Corrosion généralisée :**

C'est le phénomène le plus rencontré se traduisant par une attaque générale de la surface par le milieu environnant, c'est le cas des aciers au carbone dans l'atmosphère, on assiste ainsi, à la formation d'une homogène couche d'oxydes de fer qui couvre toute la surface. Cette homogénéité du comportement peut-être due à l'homogénéité intrinsèque du matériau. La vitesse de corrosion dans ce cas est exprimée en perte de masse.

- **Description du phénomène :**

Ce type de corrosion se traduit par une attaque uniforme de toute la surface du métal par le milieu environnant. Contrairement à la corrosion localisée, la corrosion généralisée affecte l'ensemble de la surface, entraînant une dégradation homogène et progressive du matériau.

- **Exemple typique :**

Un exemple classique est celui des aciers au carbone exposés à l'atmosphère. Dans ce cas, le métal réagit avec l'oxygène et l'humidité présents dans l'air pour former une couche d'oxyde de fer (rouille) qui recouvre uniformément la surface métallique.

- **Caractéristiques :**

- La couche d'oxyde qui se forme est généralement homogène et protège partiellement le métal sous-jacent.
- Le processus est relativement lent mais continue dans le temps, ce qui peut réduire progressivement l'épaisseur du métal.
- La corrosion généralisée peut parfois stabiliser la surface grâce à la couche d'oxyde formée, mais cette protection est souvent faible ou insuffisante dans les environnements très agressifs.

- **Facteurs influents :**

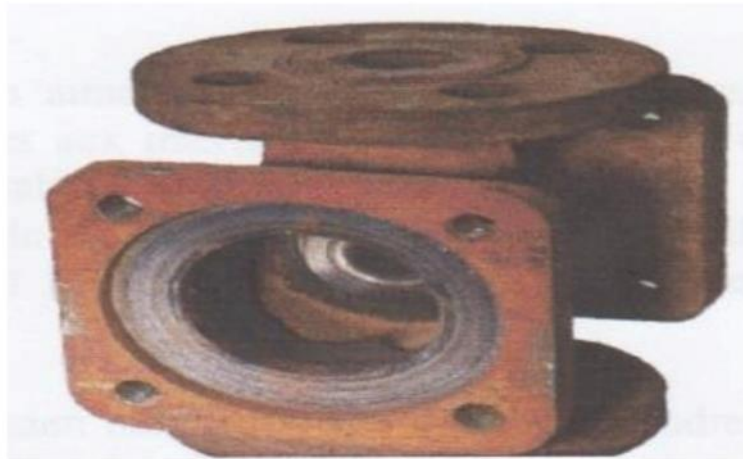
- La composition chimique homogène du matériau favorise ce comportement uniforme.
- Les conditions environnementales telles que la présence d'oxygène, l'humidité, la température et la pollution atmosphérique jouent un rôle important.

- **Mesure de la corrosion :**

La vitesse de corrosion généralisée est souvent exprimée en termes de perte de masse du métal au cours du temps (ex. milligrammes par mètre carré par jour) ou en épaisseur de métal corrodé.

- **Conséquences :**

La corrosion généralisée entraîne une réduction uniforme de la section métallique, ce qui peut compromettre la résistance mécanique de la structure ou de la pièce.



**FIGURE 06 : Corrosion généralisée affectant la surface d'une pièce métallique**

### **Corrosion localisée**

La corrosion localisée se produit lorsque le matériau est un alliage composé de phases hétérogènes, d'inclusions, ou lorsqu'une protection présente des défauts ponctuels. Dans ces conditions, des variations locales de la composition chimique, du pH ou de la température du milieu peuvent engendrer la formation de sites préférentiels pour le développement de la corrosion. Ce phénomène conduit à une attaque concentrée sur des zones spécifiques du métal, ce qui peut rapidement compromettre l'intégrité de la structure, même si la corrosion globale semble faible.

- **Origines et causes :**

Ce type de corrosion survient principalement lorsque le matériau est un alliage composé de plusieurs phases hétérogènes, ou qu'il contient des inclusions non métalliques. Par ailleurs, elle peut apparaître là où la couche de protection (par exemple un film passif) présente des défauts ponctuels ou des zones fragilisées.

- **Facteurs déclencheurs :**

Des variations locales dans la composition chimique du milieu environnant, des fluctuations du pH, ou des différences de température peuvent créer des microenvironnements favorables au déclenchement de la corrosion. Ces micro-sites deviennent des points faibles où la corrosion peut s'amorcer et se propager.

- **Mécanisme :**
- Au sein de ces zones spécifiques, la corrosion se concentre, creusant des « puits » ou « crevasses » dans le métal. Cette attaque localisée peut être beaucoup plus agressive que la corrosion généralisée, car elle peut perforer ou fragiliser rapidement le matériau, même si la surface globale semble peu affectée.
- **Exemples courants :**
  - Les alliages métalliques utilisés dans les environnements marins ou chimiques, où des phases différentes coexistent dans la microstructure.
  - Les zones où la couche d'oxyde protectrice est endommagée ou incomplète.
  - Les interfaces entre différentes pièces ou soudures présentant des hétérogénéités chimiques ou mécaniques.
- **Conséquences :**

La corrosion localisée est particulièrement dangereuse car elle peut entraîner des défaillances mécaniques soudaines et imprévues, telles que des fissures ou des perforations, compromettant la sécurité et la durée de vie des équipements.
- **Détection et prévention :**
  - Le contrôle régulier par des méthodes non destructives est essentiel pour détecter ces formes de corrosion.
  - L'utilisation d'alliages plus homogènes, l'amélioration des traitements de surface, et la maintenance régulière des protections sont des moyens efficaces pour limiter ce phénomène.

### Corrosion galvanique

La corrosion galvanique intervient surtout en milieu aqueux et résulte de la formation d'une pile électrochimique entre des zones distinctes d'un matériau ou entre deux matériaux différents en contact électrique. Dans ce système, certaines zones jouent le rôle d'anodes où se produisent des réactions d'oxydation (corrosion du matériau), tandis que d'autres zones sont cathodiques, où se déroulent des réactions de réduction de l'oxydant (par exemple, l'oxygène dissous). Cette différence de potentiel électrique provoque un transfert d'électrons qui accélère la corrosion au niveau anodique, ce qui peut entraîner des dommages importants, notamment lorsque les matériaux ont des potentiels électrochimiques très différents.

- **Mécanisme** :  
Dans cette pile, la zone qui possède le potentiel électrochimique le plus faible agit comme **anode** et subit une oxydation, c'est-à-dire que le métal se dissout en libérant des ions métalliques dans le milieu. Cette réaction d'oxydation correspond à la corrosion du métal.
- La zone opposée, avec un potentiel plus élevé, joue le rôle de **cathode**, où se produit la réduction d'un oxydant, souvent l'oxygène dissous dans l'eau. Cette réaction cathodique est électriquement couplée à l'oxydation anodique par un transfert d'électrons.
- **Effets** :  
La circulation des électrons entre l'anode et la cathode via le contact électrique accélère fortement la corrosion à l'anode, tandis que la cathode est protégée. Ce phénomène peut provoquer des dégâts localisés graves, tels que des perforations ou la fragilisation rapide de structures métalliques.
- **Facteurs influençant la corrosion galvanique** :
  - La différence de potentiel électrochimique entre les matériaux : plus elle est grande, plus la corrosion est intense.
  - La conductivité de l'électrolyte : un milieu très conducteur (par exemple, l'eau de mer) favorise la formation de la pile.
  - La surface relative des métaux : une petite surface anodique en contact avec une grande surface cathodique accélère la corrosion anodique.
  - La température et le pH du milieu.

- **Exemples typiques :**

- Contact entre acier et cuivre dans une installation de plomberie.
- Jonctions entre différents métaux sur des structures marines ou dans l'industrie chimique.
- Zones de soudure entre deux alliages distincts.

- **Prévention :**

- Éviter le contact direct entre métaux incompatibles.
- Utiliser des isolants électriques ou des revêtements protecteurs pour séparer les matériaux.
- Choisir des matériaux compatibles avec des potentiels électrochimiques proches.
- Recourir à des systèmes de protection cathodique (anodes sacrificielles ou courant imposé).



**FIGURE 07 : Schéma d'une pile de corrosion**

**Corrosion par piqûres :**

C'est une corrosion à caractère locale elle résulte généralement à des imperfections dans le film passif (rupture produit par des ions agressif tel que les chlorures on assiste à une corrosion qui se développe en profondeur conduisent à des perforations dangereuses des installations affectées (cas des Pipelines). Ce phénomène est constaté particulièrement dans les cas des matériaux passivable. (Les aciers inoxydables, les alliages de nickel, de titane, d'aluminium).

### Mécanisme de formation

La corrosion par piqûres débute généralement par une **défaillance locale du film passif**, provoquée par la présence de ces ions agressifs. Cette rupture crée une zone anodique très réduite où le métal se dissout rapidement, formant une cavité ou un trou très profond par rapport à la surface environnante qui reste protégée.

Le phénomène s'amplifie car :

- La zone attaquée devient **anodique** (perte d'électrons, dissolution du métal).
- La zone environnante, encore protégée par le film passif intact, agit comme une **cathode**.
- Cette différence de potentiel électrochimique accélère la corrosion localisée à la piqûre.
- À l'intérieur de la cavité, le pH diminue fortement (milieu acide), ce qui accélère encore plus la dissolution du métal.
- La concentration élevée en chlorures à l'intérieur de la piqûre maintient ce phénomène actif.

### Conséquences

- La corrosion par piqûres conduit à la formation de **trous très profonds** qui peuvent traverser complètement l'épaisseur du matériau, ce qui engendre des **perforations**.
- Ces perforations sont particulièrement critiques sur des équipements soumis à la pression, tels que les **tuyauteries, pipelines, réservoirs** ou équipements sous pression.
- La détection précoce est difficile car la surface extérieure semble peu attaquée, ce qui rend cette corrosion insidieuse et dangereuse.
- Cela peut entraîner des **fuites**, des ruptures, voire des accidents majeurs.

### Matériaux concernés

La corrosion par piqûres se rencontre surtout sur les **métaux passivables**, c'est-à-dire capables de développer spontanément un film protecteur, tels que :

- **Aciers inoxydables austénitiques** (ex. : inox 304, 316)
- **Alliages de nickel**
- **Alliages de titane**
- **Alliages d'aluminium**

Ces matériaux sont choisis pour leur résistance à la corrosion générale, mais ils restent vulnérables à ce type de corrosion localisée.

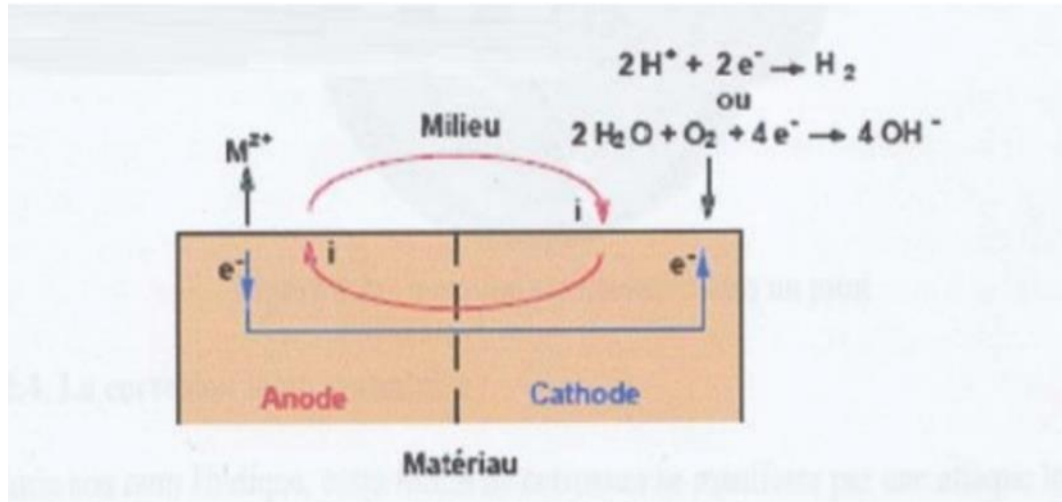
#### **Conditions favorisant la corrosion par piqûres**

- Présence d'ions chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), souvent en milieu aqueux.
- Milieux chauds ou stagnants, qui favorisent la concentration locale d'agents corrosifs.
- Absence de circulation ou turbulence faible, empêchant la dilution des ions agressifs.
- Défauts ou rayures sur la surface métallique qui facilitent la rupture du film passif.

#### **Méthodes de prévention**

- **Contrôle de la qualité des matériaux** en choisissant des alliages plus résistants (ex. inox duplex, alliages enrichis en molybdène).
- **Traitements de surface** (passivation, revêtements protecteurs, peintures anticorrosion).
- **Contrôle de l'environnement**, réduction de la concentration en chlorures ou traitement de l'eau (adoucissement, désalinisation).
- **Surveillance régulière** des installations par des techniques non destructives (ultrasons, inspection par courants de Foucault, examens visuels).
- **Protection cathodique**, qui consiste à appliquer un courant électrique pour contrer les réactions anodiques.

- **Entretien et nettoyage** afin d'éliminer les dépôts qui favorisent la concentration locale des agents corrosifs.



**FIGURE 08 : Pièces métallique présentant une corrosion par piqûres**

#### **Corrosion sous contrainte :**

Connue sous le terme CSC est due à l'effet conjugué de la contrainte mécanique et du milieu agressif cette forme de corrosion est particulièrement dangereuse, elle conduit à la rupture des installations par la propagation de la fissure qui peut être inter ou transgranulaires. Les surfaces de la rupture des fissures en CSC présentent un aspect fragile, la perte de matière dans ce cas est faible.

La **corrosion sous contrainte (CSC)** est une forme particulière de corrosion localisée qui résulte de la combinaison simultanée de deux facteurs essentiels :

1. **Une contrainte mécanique résiduelle ou appliquée** sur le matériau (tension, flexion, pression, etc.),
2. **Un environnement agressif** chimique ou électrochimique capable de provoquer la corrosion.

#### **Mécanisme**

La CSC se manifeste par la formation et la propagation rapide de **fissures** dans le matériau, généralement métalliques, sous l'effet combiné de ces contraintes mécaniques et de l'attaque corrosive. Ces fissures peuvent se développer de manière **intergranulaire** (le long des joints de grains du métal) ou **transgranulaire** (à travers les grains).

Le phénomène est particulièrement dangereux car :

- La rupture se produit **sans déformation plastique significative** préalable (comportement fragile),
- La **perte de matière par corrosion est souvent faible**, ce qui rend difficile la détection précoce,
- La fissuration peut progresser rapidement, menant à une **rupture brutale et catastrophique** de la pièce ou de l'installation.

#### **Facteurs favorisant la CSC**

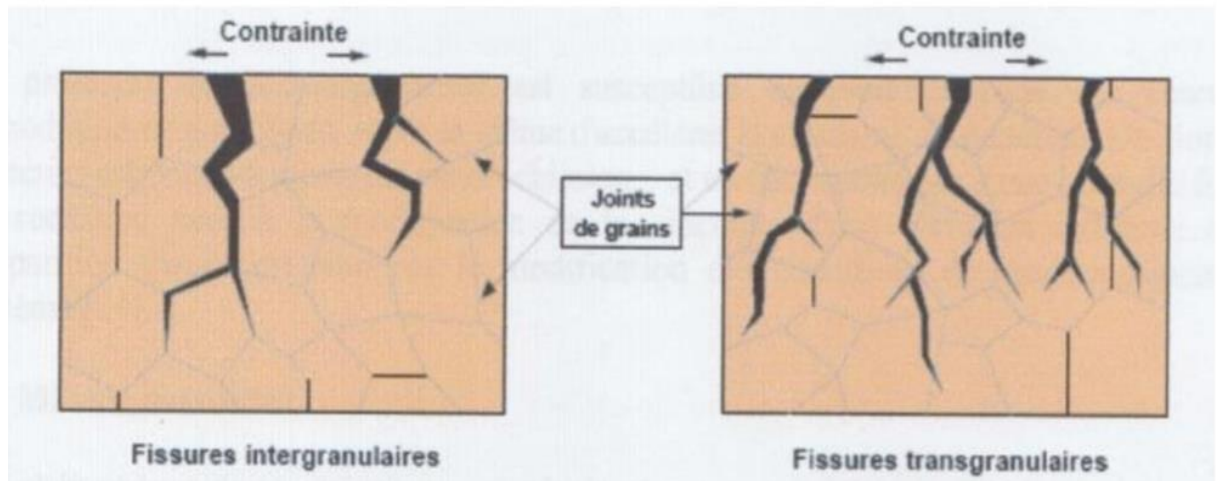
- **Contraintes mécaniques élevées** : charges permanentes, contraintes résiduelles dues à des opérations comme le soudage, l'écrouissage ou des traitements thermiques.
- **Environnements corrosifs spécifiques** : milieux contenant des ions chlorures, milieux alcalins, eaux industrielles, vapeur, etc.
- **Nature du matériau** : certains alliages ou aciers sont plus susceptibles à la CSC selon leur composition métallurgique, leur microstructure, et leur traitement thermique.

#### **Conséquences**

- Apparition de fissures microscopiques qui se propagent progressivement sous l'action combinée de la corrosion et des contraintes mécaniques.
- Détérioration prématurée des équipements, souvent sans signes visibles extérieurs importants.
- Risque élevé de **rupture soudaine et dangereuse**, notamment sur des équipements sous pression, des structures métalliques critiques, des pipelines, etc.
- Coûts économiques et humains élevés en cas d'accident.

#### **Prévention et contrôle**

- **Réduction des contraintes mécaniques** : conception adaptée, traitements thermiques de détente, amélioration des procédés de fabrication.
- **Choix de matériaux résistants à la CSC**, comme certains inox stabilisés ou alliages spécifiques.
- **Protection contre la corrosion** : revêtements, inhibiteurs de corrosion, contrôle de la composition de l'environnement.
- **Surveillance régulière** par méthodes non destructives (ultrasons, magnétoscopie, examens par ressuage) pour détecter la présence de fissures.
- **Maintenance préventive** pour éliminer ou réduire les sources de contraintes et modifier les conditions d'environnement agressif.



**FIGURE 09 : Schéma présentant propagation des fissures en corrosion sous contraintes**

### **Corrosion érosion :**

Elle est due à l'action conjointe d'une réaction électrochimique et d'un enlèvement mécanique de la matière elle a souvent lieu sur des métaux exposés à l'écoulement rapide d'un fluide.

La **corrosion-érosion** est un phénomène complexe qui combine deux mécanismes de dégradation du matériau :

1. **Une réaction électrochimique de corrosion** : il s'agit d'une attaque chimique ou électrochimique du métal par son environnement, entraînant une détérioration progressive de la surface métallique.
2. **Un enlèvement mécanique** de la matière : ce mécanisme correspond à l'usure ou l'abrasion du métal due à l'action mécanique, généralement provoquée par un fluide en mouvement rapide (liquide ou gaz) chargé de particules solides ou non.

### **Mécanisme**

La corrosion-érosion se produit principalement lorsque des métaux sont exposés à des **écoulements rapides de fluides** (eau, vapeur, pétrole, gaz, solutions chimiques) contenant souvent des particules solides (sable, boues, impuretés). La vitesse élevée du fluide provoque une **érosion mécanique** par impact ou frottement, qui détériore la couche protectrice du métal (film passif ou couche d'oxyde). Cette détérioration accélère la réaction électrochimique corrosive car elle expose un métal frais, non protégé, aux agents corrosifs.

Le processus est donc un cercle vicieux où l'érosion mécanique favorise la corrosion, et la corrosion fragilise davantage la surface, rendant celle-ci plus vulnérable à l'érosion.

### **Zones concernées**

- Les **canalisations**, particulièrement aux coudes, réductions de diamètre, ou endroits de turbulences.
- Les **pompes**, turbines, et équipements où les fluides sont accélérés ou turbulents.
- Les équipements dans les industries pétrolières, chimiques, maritimes, où les fluides chargés d'impuretés circulent à haute vitesse.

#### **Conséquences**

- Usure accélérée des surfaces métalliques, pouvant entraîner une perte de matériau importante.
- Diminution de la durée de vie des équipements.
- Risque accru de fuites, ruptures ou défaillances mécaniques.
- Coûts élevés de maintenance, réparation ou remplacement.

#### **Prévention et contrôle**

- **Réduction de la vitesse des fluides** dans les zones sensibles.
- Utilisation de **matériaux résistants à la corrosion-érosion**, comme certains alliages spécifiques ou matériaux composites.
- Mise en place de **revêtements protecteurs** résistants à l'abrasion et à la corrosion.
- Conception optimisée des équipements pour limiter les zones de turbulence.
- Surveillance régulière de l'état des surfaces par des méthodes de contrôle non destructives.

#### **Mesure du potentiel d'une électrode :**

La mesure de différence de potentiel ne se fait pas directement avec un voltmètre en effet, branché l'un des conducteur au métal ne pose pas de problème, mais le second plongé en solution réaliserait une nouvelle interface est par conséquent un nouvel équilibre redox Ceci nous amène à associer l'électrode à une autre électrode appelée électrode de référence. Par définition le potentiel de cette électrode est connu et constant.

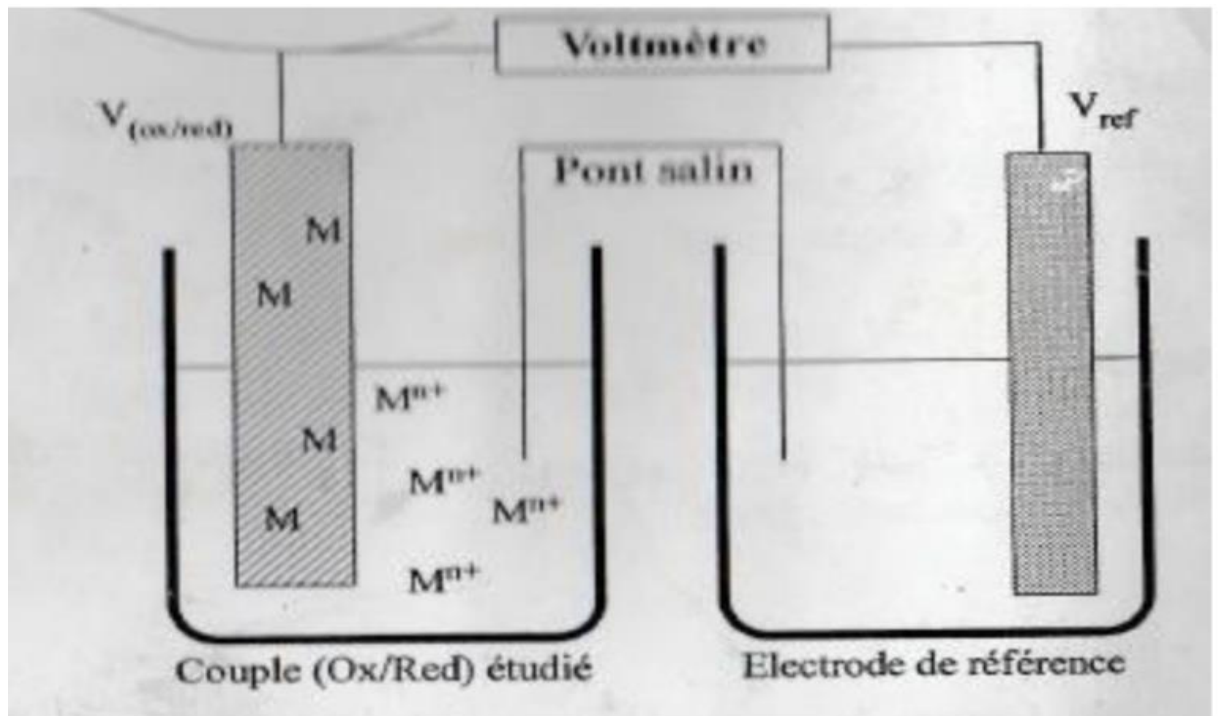


FIGURE 10 : Schéma du montage pour la mesure du potentiel d'une électrode

#### Notion du potentiel métal- solution :

Le potentiel que prend un métal en solution par rapport à une électrode de référence est connu sous le terme du potentiel libre. L'évolution de ce potentiel au cours du temps apporte des renseignements précieux sur la stabilité de l'état dans lequel se trouve le métal, ainsi, on peut constater les phénomènes suivants :

- Dissolution du métal dans la solution : le métal est oxydé.
- Immunité : le métal ne subit aucune modification de surface.
- Passivité : le métal devient apparemment inattaquable, cette passivité peut être elle-même instable dans le temps.

#### Equation de NERST :

Cette équation s'applique à une réaction d'électrode à l'équilibre. Elle permet de calculer le potentiel réversible à partir du potentiel standard en fonction des activités et de la température. La forme générale de la relation de Nerst, pour l'équilibre électrochimique est la suivante :

$$\alpha \text{OX} + n e^- = \beta \text{Red}$$

$$E_{rev}(\text{OX} / \text{RED}) + E - \frac{RT}{nF} \ln \frac{\prod_i a_i(\text{ox})^\alpha}{\prod_j a_j(\text{red})^\beta} \quad (\text{I-2})$$

L'équation précédente est appelée équation de Nernst d'un couple rédox. Dans cette équation,  $a_{\text{ox}}$ , et  $a_{\text{red}}$ , expriment la activité de espèce « oxydée »

et l' espèce « réduite » ou :

R : constantes des gaz parfait (  $R = 8.314 \text{ JK}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$  ) ;

F : constante de Faraday (  $F = 96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$  ) ;

T : température de mesure exprimée en kelvin (  $0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$  ) ;

.n : nombre d'électrons ;

$E^\circ$  : potentiel standard du couple

$$\frac{RT}{nF} \ln(y) = \frac{RT}{nF} \cdot \frac{1}{\text{Log}(e)} \cdot \text{Log}(y) = \frac{8,314 \times 298}{n \times 96500 \times \text{Log}(e)} \text{Log}(y) \quad , \quad \frac{RT}{nF} \ln(y) = \frac{0,059}{n} \text{Log}(y)$$

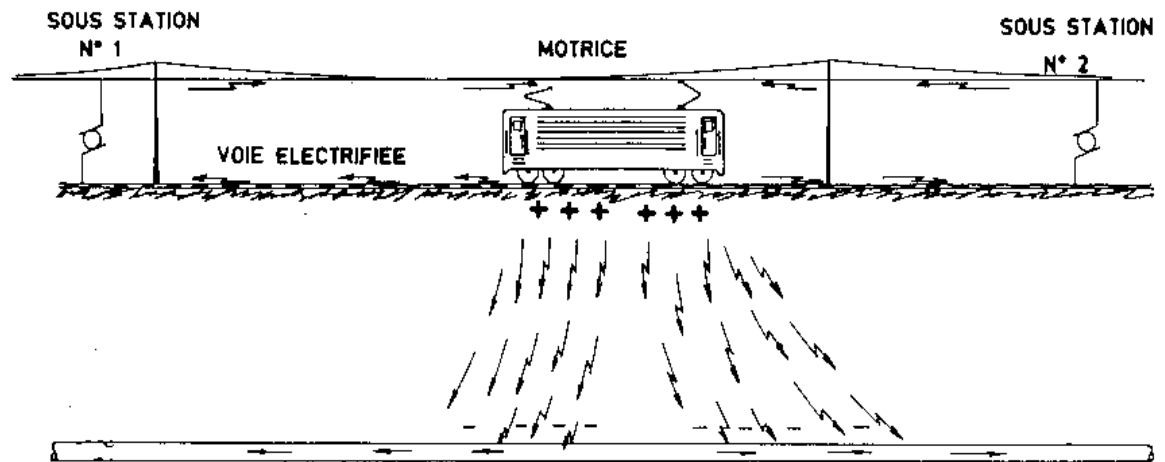
La relation de Nernst sera donc le plus souvent utilisée sous la forme :

$$E_{rev}(\text{OX} / \text{RED}) + E^\circ + \frac{0,059}{n} \log \frac{\prod_i a_i(\text{ox})^\alpha}{\prod_j a_j(\text{red})^\beta}$$

## CORROSION PAR COURANTS VAGABONDS

Est une corrosion électrochimique très violente et rapide, elle est due à la circulation des courants émis par des installations électriques mal isolées par rapport au sol.

Ces courants sont particulièrement fréquents aux abords des lignes de traction électrique tel que le métro, le tramway , train électrifié etc.



### 3.2 Mécanismes de corrosion

La corrosion, en tant que phénomène physico-chimique, est principalement le résultat d'interactions électrochimiques entre un métal et son environnement. Ces réactions entraînent une détérioration progressive du matériau, affectant sa résistance mécanique, sa fiabilité, et donc la sécurité des installations. Dans le contexte des centrales thermiques de **Sonelgaz**, les mécanismes de corrosion sont amplifiés par des conditions opérationnelles sévères : températures et pressions élevées, fluides corrosifs, cycles thermiques répétés.

On distingue plusieurs mécanismes principaux de corrosion, souvent présents simultanément ou successivement dans une même installation.

#### 3.2.1 Corrosion électrochimique

Il s'agit du mécanisme de corrosion le plus courant dans les environnements humides ou aqueux. Elle repose sur une réaction d'**oxydoréduction** où le métal perd des électrons (oxydation) et un agent oxydant les capte (réduction). Cette réaction forme une **pile galvanique**

**naturelle** entre deux zones distinctes du métal : l'anode (zone attaquée) et la cathode (zone protégée).

### Réactions typiques :

- À l'anode :



- À la cathode (milieu acide ou neutre) :



**Applications dans les centrales :** Ce type de corrosion se manifeste notamment dans les circuits de vapeur, les conduites d'alimentation, les échangeurs de chaleur, surtout en cas de mauvaise qualité de l'eau ou d'aération défectueuse.

### 3.2.2 Corrosion galvanique

Elle survient lorsqu'on met en contact deux métaux de **potentiels électrochimiques différents** dans un même environnement conducteur (par exemple de l'eau avec des ions dissous). Le métal le **moins noble** (anode) se dégrade plus rapidement que le métal noble (cathode), selon la **série galvanique**.

**Exemple typique :** un assemblage cuivre-acier dans les condenseurs peut provoquer la corrosion accélérée de l'acier si aucune isolation n'est prévue.

### 3.2.3 Corrosion par concentration différentielle

Lorsqu'il existe une **différence locale dans la concentration d'oxygène, de sel, ou de pH**, des micro-piles peuvent se former à la surface du métal. La zone appauvrie devient anodique et se corrode préférentiellement.

**Particularité** : Ce phénomène est fréquent **sous les dépôts, à l'ombre des joints, ou dans les crevasses** des équipements, notamment dans les chaudières.

### 3.2.4 Corrosion sous contrainte (SCC – Stress Corrosion Cracking)

Ce type de corrosion est particulièrement dangereux, car il combine une **contrainte mécanique** (interne ou externe) avec un **environnement chimique agressif** (chlorures, soude, ammoniac). Il en résulte l'apparition de **fissures fines**, invisibles à l'œil nu, pouvant évoluer en **rupture brutale** sans signe préalable.

**Cas courant** : fissuration dans les tubes de chaudières haute pression soumis à des contraintes résiduelles dues au soudage.

### 3.2.5 Corrosion érosion (Erosion-Corrosion)

Ce mécanisme apparaît quand un **écoulement rapide** de fluide provoque l'enlèvement mécanique de la couche protectrice (oxyde), exposant le métal nu à la corrosion. Le processus devient **autocatalytique**.

**Zones sensibles** : coudes, pompes, turbines, clapets et zones de turbulence dans les tuyauteries.

### 3.2.6 Corrosion par piqûres (Pitting corrosion)

Il s'agit d'une corrosion **très localisée**, entraînant des **cavités profondes** (ou "piqûres") sur le métal. Elle est souvent causée par la rupture d'un **film passif protecteur**, notamment en présence d'ions chlorure ( $\text{Cl}^-$ ).

**Difficulté** : cette corrosion est difficile à détecter et peut causer des défaillances graves si elle affaiblit localement une paroi mince, comme dans les tubes de condenseurs.

### 3.2.7 Corrosion intergranulaire

Ce mécanisme affecte les joints de grains dans les alliages métalliques (notamment aciers inoxydables), à cause de la **précipitation de carbures de chrome**. Cela appauvrit localement la région en chrome, rendant ces zones sensibles à la corrosion.

**Contexte** : souvent observée après une mauvaise opération de soudage ou de traitement thermique des aciers inox.

### 3.2.8 Corrosion microbiologique (MIC – Microbiologically Influenced Corrosion)

Certaines bactéries (par exemple **les bactéries sulfato-réductrices**) peuvent accélérer la corrosion en produisant des substances acides ou en modifiant localement l'environnement chimique (pH, oxygène).

**En milieu humide stagnante** : souvent présente dans les circuits de refroidissement mal entretenus ou dans les zones mortes des réservoirs.

## 3.3 Facteurs influençant la corrosion dans les centrales thermiques

Le phénomène de corrosion dans les centrales thermiques dépend de nombreux facteurs physiques, chimiques et opérationnels. Ces facteurs, souvent interconnectés, influencent la vitesse et la nature des réactions corrosives sur les matériaux exposés. Une connaissance approfondie de ces éléments permet **d'anticiper les dégradations, d'optimiser le choix des matériaux, et de mettre en place des stratégies de protection efficaces.**

### 3.3.1 La composition chimique de l'eau (qualité du fluide)

L'eau utilisée dans les circuits (alimentation, vapeur, refroidissement) contient parfois des impuretés telles que :

- **sels dissous** (chlorures, sulfates, nitrates),
- **gaz dissous** (oxygène, dioxyde de carbone, ammoniac),

- **matières organiques ou colloïdales.**

Ces composants peuvent favoriser différents types de corrosion (pitting, galvanique, sous contrainte...).

**Exemple dans les centrales Sonelgaz :**  
Une défaillance dans l'unité de déminéralisation peut entraîner une augmentation soudaine de la conductivité de l'eau, ce qui accélère fortement la corrosion électrochimique dans les tubes de chaudières.

### 3.3.2 Le pH du milieu

Le **pH** joue un rôle fondamental dans l'équilibre chimique entre les ions corrosifs et la formation de couches protectrices.

- **pH acide (<6) :** Favorise la dissolution des métaux → corrosion généralisée.
- **pH trop alcalin (>10) :** Peut entraîner la fissuration sous contrainte sur certains inox ou alliages.

**Objectif industriel :** maintenir un **pH contrôlé entre 8.8 et 9.5** pour les circuits de vapeur afin de limiter la corrosion tout en évitant les dépôts.

### 3.3.3 La température

Plus la température augmente, plus la cinétique des réactions chimiques s'accélère.

- Dans les chaudières, les températures élevées favorisent la corrosion oxydante.
- La température influe aussi sur la solubilité de l'oxygène et du CO<sub>2</sub> dans l'eau.

**Effets amplifiés :**

À haute température ( $> 200\text{ °C}$ ), certains aciers deviennent plus vulnérables au **craquage sous contrainte (SCC)**.

**3.3.4 La vitesse d'écoulement du fluide**

- Un débit **trop faible** peut engendrer une accumulation de dépôts → **zones stagnantes** propices à la corrosion par concentration différentielle.
- Un débit **trop élevé**, en revanche, favorise la **corrosion par érosion**, surtout aux coudes, clapets, turbines.

**Cas typique :**

L'érosion-corrosion est particulièrement problématique dans les tuyauteries de retour d'eau de condensation où la vitesse de l'eau dépasse 2 m/s.

**3.3.5 La présence d'oxygène dissous ( $O_2$ )**

L'oxygène est un oxydant naturel qui joue un rôle central dans la corrosion électrochimique.

- À température ambiante, il est le principal responsable de la corrosion de l'acier.
- À haute température, il attaque rapidement les métaux dépourvus de couche passive.

**Mesures industrielles :**

- Utilisation de **dégazeurs thermiques (deaérateurs)**,
- Injection d'**inhibiteurs d'oxygène** comme l'hydrazine ( $N_2H_4$ ).

### 3.3.6 La pression

Une pression élevée modifie le comportement des fluides et des matériaux :

- Augmente la **solubilité des gaz** corrosifs,
- Peut provoquer des **fuites** dans les joints, favorisant des micro-atmosphères corrosives.

#### Exemple :

Dans les chaudières à haute pression (> 160 bars), les alliages à base de chrome ou de nickel sont nécessaires pour résister à l'oxydation.

### 3.3.7 Les propriétés des matériaux utilisés

Tous les métaux n'ont pas la même résistance à la corrosion :

- Les **aciers carbone** sont économiques mais peu résistants,
- Les **aciers inoxydables** résistent mieux grâce à la formation d'une couche passive,
- Les **alliages de cuivre** ou **de nickel** offrent une très bonne tenue dans les milieux acides ou chlorés.

#### Choix stratégique :

La sélection des matériaux doit se faire selon le fluide, la température, la pression, et la durée de vie attendue des équipements.

### 3.3.8 Le design et la géométrie des équipements

Les formes complexes, angles morts, zones de stagnation, ou contact de métaux différents peuvent :

- Créer des **zones de turbulence** ou de **stagnation**,
- Favoriser les **effets de piles galvaniques**.

#### Recommandation :

Concevoir des équipements faciles à drainer, nettoyer et inspecter limite fortement le développement de foyers de corrosion.

### 3.3.9 Les opérations de maintenance et les arrêts de production

- Un arrêt prolongé sans vidange ni inertage peut exposer les surfaces internes à l'air humide → oxydation rapide.
- Une mauvaise qualité de l'entretien (produits agressifs, nettoyages acides non neutralisés) peut détériorer les couches protectrices.
- **Bonne pratique :**
- Mettre en place des protocoles stricts pour la mise en veille, le rinçage, et le redémarrage progressif.

### 3.3.10 Facteurs biologiques et environnementaux externes

- Dans les circuits ouverts ou les tours de refroidissement, des **micro-organismes** peuvent se développer.
- La **pollution atmosphérique** (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, poussières industrielles) accélère la corrosion externe des structures métalliques.
- **Dans les zones industrielles comme Skikda ou Arzew :**  
Les taux élevés de soufre ou de particules acides dans l'air nécessitent des revêtements externes et un entretien renforcé.

**Chapitre III : Partie  
Expérimentale – La Protection contre  
la Corrosion**

## Une Barrière Active Contre la Corrosion des Structures Métalliques

### 1. Introduction générale à la protection cathodique

La **protection cathodique** est une technique électrochimique reconnue pour sa capacité à prévenir la corrosion des structures métalliques en milieu conducteur, en particulier **les canalisations en acier** enterrées ou immergées. Elle constitue une **forme de protection active**, par opposition à la protection passive (revêtement), car elle implique l'intervention d'une source externe d'énergie ou d'un élément sacrificiel pour modifier le comportement électrochimique du métal à protéger.

La corrosion des métaux est un phénomène naturel inévitable dans les environnements humides, salins ou chimiquement agressifs. Elle engendre la **dissolution progressive** du métal sous forme d'oxydes, provoquant l'affaiblissement des structures et, à terme, leur défaillance. Dans le contexte des infrastructures industrielles, telles que les réseaux de transport de gaz, d'eau ou d'hydrocarbures, cette corrosion peut avoir des conséquences **techniques, économiques et environnementales majeures**.

### 2. Principe fondamental de la protection cathodique

Le principe de la protection cathodique repose sur la transformation de toute la surface métallique exposée en **cathode d'une cellule électrochimique**. En d'autres termes, on empêche l'oxydation (et donc la dissolution) du métal en maintenant son potentiel électrique suffisamment **négatif** par rapport au milieu ambiant. Cela empêche les réactions d'anodisation, responsables de la corrosion.

Deux méthodes permettent d'atteindre cet objectif :

- **La protection par anode sacrificielle**, dans laquelle un métal plus réactif (comme le magnésium ou le zinc) est sacrifié à la place de l'acier.
- **La protection par courant imposé**, qui utilise une source de courant continu (souvent un redresseur) pour polariser la canalisation vers un potentiel protecteur.

### 3. Domaine d'application : les canalisations en acier

Les **canalisations métalliques enterrées ou immergées**, comme celles utilisées dans les réseaux de transport de gaz, d'eau potable, ou d'hydrocarbures liquides, sont particulièrement exposées aux phénomènes de corrosion. Malgré l'application de revêtements extérieurs protecteurs, des **imperfections**, des **dommages mécaniques** ou une **dégradation dans le temps** peuvent créer des points faibles vulnérables.

La protection cathodique vient alors en **renfort du revêtement**, assurant une **protection durable**, même en présence de blessures ou de défauts localisés dans la couche protectrice. Cette technique peut également être **appliquée à des réseaux anciens**, dont l'état de surface est déjà altéré, prolongeant ainsi leur durée de vie sans nécessiter leur remplacement complet.

### 4. Intérêt technico-économique

La mise en œuvre de la protection cathodique offre une solution économiquement viable à long terme :

- Elle **réduit considérablement les coûts de maintenance** en évitant les réparations fréquentes.
- Elle **prolonge la durée de vie des installations** de plusieurs décennies.
- Elle **permet une surveillance continue** du niveau de protection via des points de mesure, permettant une intervention rapide en cas de défaillance.
- Elle est conforme aux **normes internationales** et aux réglementations nationales en matière de sécurité des réseaux.

De plus, dans des infrastructures stratégiques comme celles exploitées par **Sonelgaz**, la fiabilité du réseau constitue un impératif absolu. La protection cathodique s'impose ainsi comme une **technologie de référence**, garantissant la sécurité des approvisionnements et la durabilité des investissements.



**FIGURE 11 : la Corrosion dans les canalisations acier**

### **1. Phénomène électrochimique à l'origine de la corrosion**

Lorsqu'un métal, tel que **l'acier**, est mis en contact avec un **milieu conducteur** – qu'il s'agisse d'un sol humide, d'une eau naturelle, ou d'une atmosphère industrielle chargée en ions –, il devient le siège de **réactions électrochimiques** similaires à celles observées dans une pile galvanique. Ce phénomène est couramment appelé **effet de pile**.

Dans cette configuration, certaines zones du métal agissent comme **anodes** (où se produit l'oxydation), tandis que d'autres jouent le rôle de **cathodes** (où a lieu la réduction). L'**anode**, plus électro-négative, perd des électrons, entraînant ainsi la **dissolution progressive du métal** dans le milieu environnant. Ce processus, appelé **corrosion**, résulte de la migration des ions métalliques de la surface vers l'environnement extérieur, fragilisant peu à peu la structure métallique.

Ce phénomène est particulièrement préoccupant dans les **canalisations enterrées**, où les conditions environnementales sont variables et difficiles à maîtriser : humidité, résistivité du sol, présence de chlorures ou sulfates, température, etc.

## 2. Stratégies de lutte contre la corrosion

Pour limiter ou empêcher le développement de la corrosion, deux approches complémentaires sont couramment utilisées dans l'industrie :

### A. La protection passive

La première barrière contre la corrosion est généralement **le revêtement extérieur appliqué sur la surface métallique**. Ce revêtement, qu'il soit organique (bitume, résine époxy, polyéthylène...) ou métallique (zinc, aluminium), agit comme une **barrière physique** empêchant le contact direct entre le métal et son environnement corrosif.

Cependant, **cette protection n'est jamais totalement hermétique ni permanente**. En effet :

- des **défauts de pose** peuvent entraîner des zones non couvertes,
- des **chocs mécaniques** lors du transport ou de l'installation peuvent provoquer des microfissures ou des blessures,
- des **phénomènes de vieillissement** (craquelures, cloquage, délamination) peuvent apparaître avec le temps.

Ces défaillances créent des **points d'entrée privilégiés pour les agents corrosifs**, favorisant la formation de **cellules de corrosion localisées**. Dans ces conditions, la protection passive devient insuffisante pour garantir l'intégrité de l'ouvrage sur le long terme.

### B. La protection cathodique : un complément indispensable

C'est pour compenser ces insuffisances et **assurer une sécurité durable** que la **protection cathodique** est mise en œuvre. Elle permet de **maîtriser les zones défectueuses du revêtement** et d'**éviter la corrosion même en cas de dommage localisé**. En abaissant le potentiel électrique du métal à une valeur négative déterminée, elle neutralise les réactions anodiques de dissolution du fer, assurant ainsi une **protection complète** de la canalisation.

En pratique, la **synergie entre protection passive (revêtement) et protection active (cathodique)** représente la solution la plus efficace et la plus utilisée dans le domaine des infrastructures métalliques enterrées, notamment dans les réseaux de transport de gaz, d'eau, ou d'hydrocarbures.

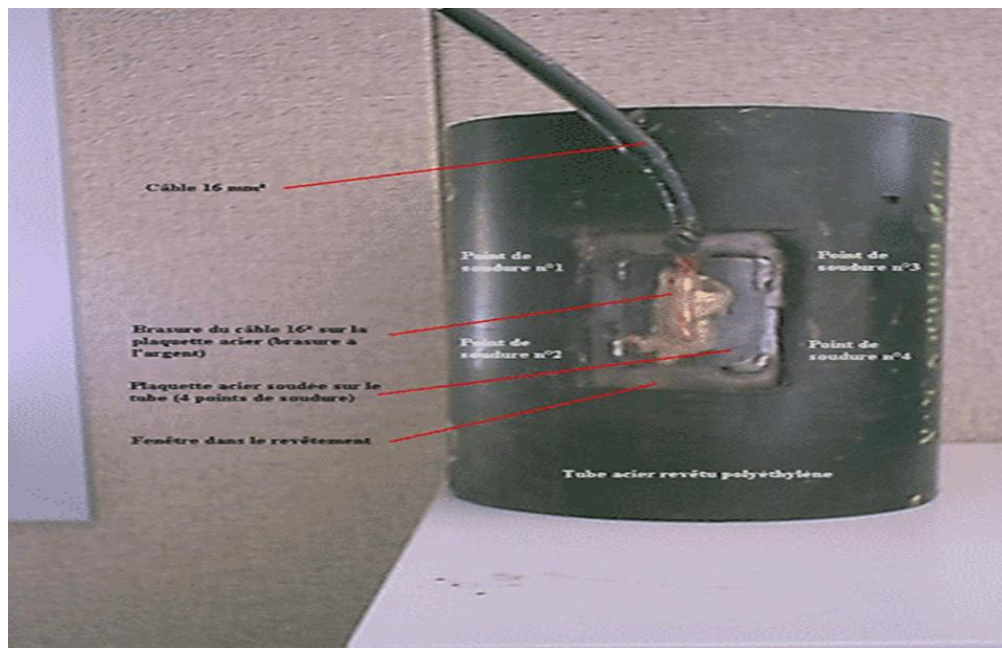


FIGURE 12 : La protection passive par le revêtement extérieur

### La protection cathodique active : principe et applications

La **protection cathodique active** est une **technique électrochimique** visant à **empêcher la corrosion** des structures métalliques enterrées ou immergées, telles que les canalisations en acier. Contrairement à la protection passive, qui repose sur une barrière physique (revêtement), la protection active agit **directement sur le potentiel électrochimique** de la surface métallique en contact avec le milieu corrosif.

### Principe général

L'objectif de la protection cathodique est de **forcer le métal à se comporter comme une cathode** dans une cellule électrochimique. Pour ce faire, on abaisse artificiellement le **potentiel électrique** de la surface métallique à une valeur où la réaction d'oxydation (perte d'électrons, donc corrosion) **devient thermodynamiquement impossible**.

Le **critère généralement admis** pour l'acier enterré ou immergé est un potentiel inférieur à **-850 mV**, mesuré par rapport à une **électrode de référence Cu/CuSO<sub>4</sub>** placée dans le sol à proximité immédiate de la conduite. Ce seuil assure que **l'acier reste électro-inactif**, c'est-à-dire protégé contre la corrosion anodique.

## Deux techniques principales

La mise en œuvre de la protection cathodique peut se faire de deux manières selon les contraintes techniques, économiques et environnementales du site :

### 1. Protection par anodes galvaniques (ou sacrificielles)

Ce système repose sur le principe de la **pile électrochimique naturelle**. On connecte à la canalisation un métal plus électronégatif que l'acier, comme le **magnésium**, le **zinc**, ou l'**aluminium**. Ce métal, appelé **anode sacrificielle**, va se corroder à la place de la structure à protéger.

#### Principe de fonctionnement :

- L'anode se dissout en libérant des électrons.
- Ces électrons circulent dans le métal jusqu'à la canalisation, qui devient ainsi la **cathode**.
- La corrosion se déplace vers l'anode, épargnant la canalisation.

#### Avantages :

- Simple à mettre en œuvre.
- Ne nécessite aucune alimentation externe.
- Faible coût de maintenance.

#### Inconvénients :

- Efficacité limitée dans les sols à haute résistivité.
- Durée de vie dépendante du matériau sacrificiel (période de remplacement à prévoir).
- Courant limité, donc difficile à adapter à de longues canalisations ou réseaux complexes.

### 2. Protection par courant imposé (ou soutirage de courant)

Cette méthode consiste à **injecter un courant continu** dans la canalisation à partir d'une **source d'alimentation externe** (généralement un redresseur courant continu/alternatif).

L'anode est inerte (ex. : graphite, titane activé), tandis que le métal à protéger est connecté au **pôle négatif de la source**, devenant ainsi la **cathode du circuit**.

#### Schéma de fonctionnement :

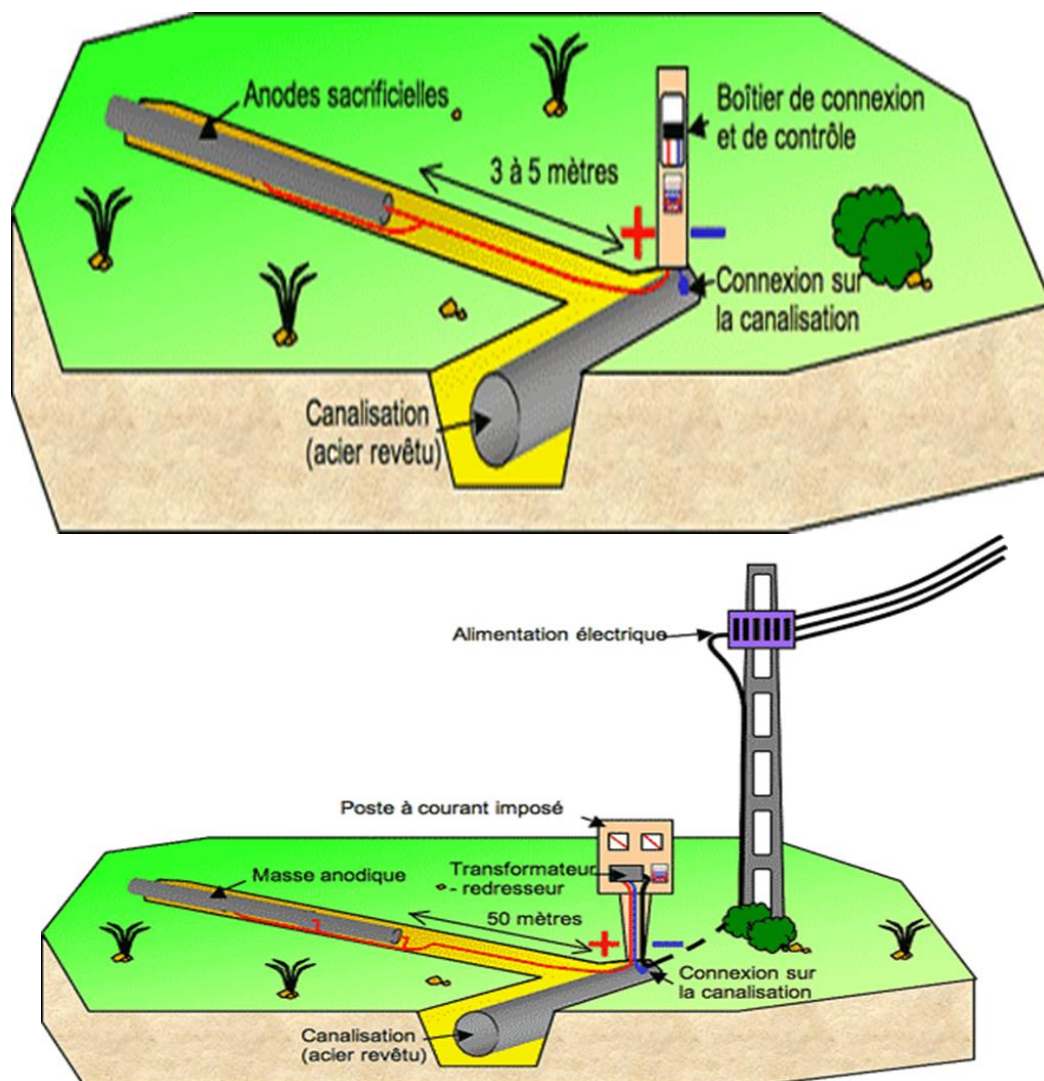
- Une anode inerte est placée dans le sol (prise de terre).
- Le courant circule de l'anode vers le sol, puis pénètre dans la canalisation par sa surface, réduisant son potentiel.
- Le potentiel est surveillé et ajusté pour rester sous le seuil de  $-850$  mV.

**Avantages :**

- Puissance ajustable en fonction des besoins.
- Protection adaptée aux réseaux de grande longueur ou fortement ramifiés.
- Possibilité de surveillance et de régulation en temps réel.

**Inconvénients :**

- Nécessite une alimentation électrique stable.
- Coût initial et de maintenance plus élevé.
- Nécessite une instrumentation de contrôle (électrodes de mesure, boîtiers de contrôle, redresseurs...).

**FIGURE 13 : Principe de la protection active**

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

Le champ électrique se répartit dans le sol, par la prise de terre ou déversoir. Les électrons gagnent la canalisation et pénètrent par leur surface latérale, cheminent longitudinalement dans les conduites jusqu'à la connexion au pôle négatif du redresseur.

Il en résulte un abaissement de potentiel dans le réseau. Cet abaissement de potentiel croît depuis les extrémités du réseau les plus éloignées de la connexion jusqu'au pôle négatif de l'alimentation pour être au maximum au droit de celle-ci. Il doit être suffisant pour que le critère de protection soit partout atteint et maintenu.

Ce type de protection est tout indiqué pour la protection des grands réseaux et offre une grande souplesse d'adaptation et de réglages.....

#### **Un système actif et économique :**

La protection cathodique complète de manière absolue la protection passive du revêtement et ceci quelles que soient les modifications de l'environnement des conduites dans le temps :

- Blessures des revêtements externes dues à des travaux réalisés par des tiers au voisinage de la conduite.
- Modification de la résistivité du sol à la suite d'une pollution accidentelle, aux variations du niveau des nappes phréatiques.
- Nouvel environnement électrique de la conduite tel que nouveau réseau sous protection cathodique (gaz, pétrole, eau ...).
- Ligne Très Haute Tension, tramway, TGV, SNCF.
- Drainage de courants vagabonds.

Pour un investissement minimum, l'exploitant d'une canalisation sous protection cathodique pourra régulièrement contrôler le niveau de potentiel électrique de la conduite par rapport au milieu environnant et, de ce fait, être alerté de toute dégradation accidentelle ou modification de l'environnement de la conduite : c'est **la surveillance cathodique**. Il assurera ainsi la pérennité de son réseau et de son investissement.

**Dispositions particulières :**

Le fascicule 71 « Fourniture et pose de canalisations d'eau, accessoires et branchements » relatif aux marchés publics de travaux passés au nom de l'État en définit les modalités. Cette protection doit par ailleurs faire l'objet de contrôles périodiques réguliers destinés à s'assurer de son bon fonctionnement et de son efficacité dans le temps. Arrêté du 4 août 2006 portant règlement de la sécurité des canalisations de transport de gaz combustibles, d'hydrocarbures liquides ou liquéfiés et de produits chimiques du ministère de l'économie, des finances et de l'industrie.

**Mesure et contrôle :****Points de mesure :**

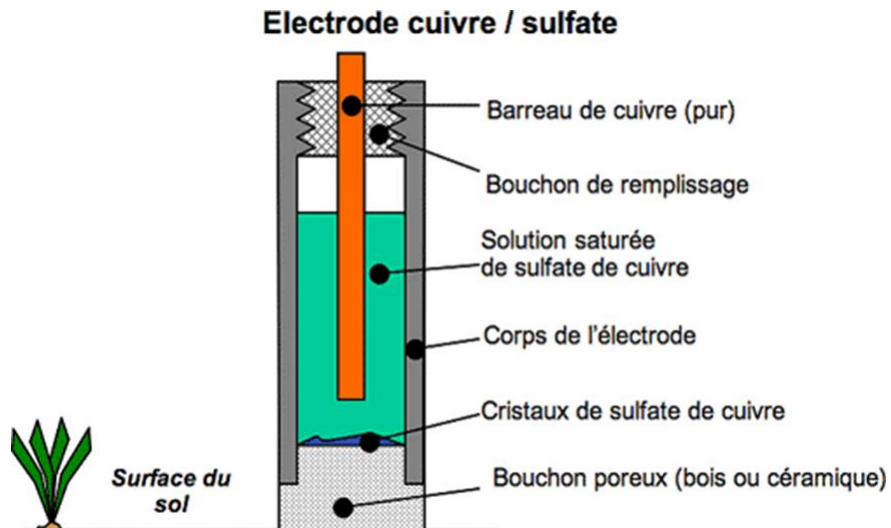
Ils sont destinés à contrôler le potentiel d'une canalisation par rapport au sol. Le nombre de points de mesure dépend de la configuration de l'ouvrage.

**Mesure de potentiel :**

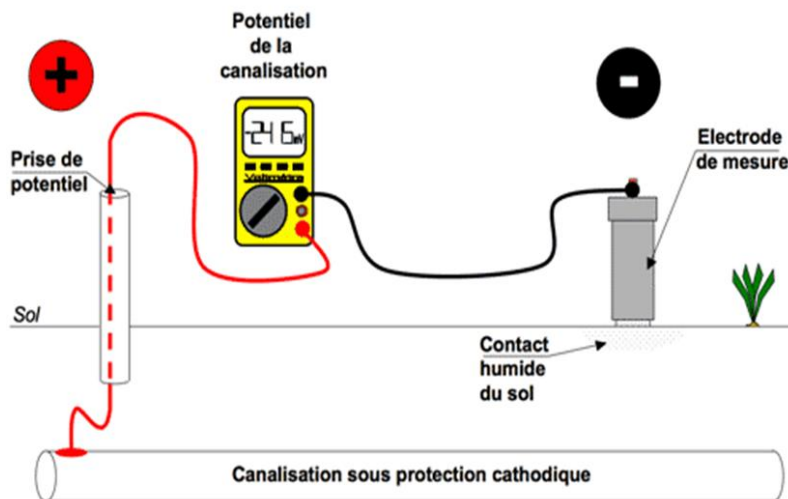
La mesure du potentiel des canalisations dans le sol est indispensable pour contrôler l'efficacité de la protection cathodique. Or, celles-ci étant assimilables à des éprouvettes plongées dans un électrolyte, on mesure le potentiel par l'intermédiaire d'électrodes de référence. La conduite dans le sol constitue une demi-pile que l'on associe à l'autre demi-pile, **l'électrode**.

**Les électrodes utilisées sont:**

- électrode au calomel (laboratoire),
- électrode au sulfate de cuivre Cu/CuSO<sub>4</sub> (couramment utilisée),
- électrode au chlorure d'argent Ag/AgCl (eau de mer),
- électrode au zinc (eau de mer).



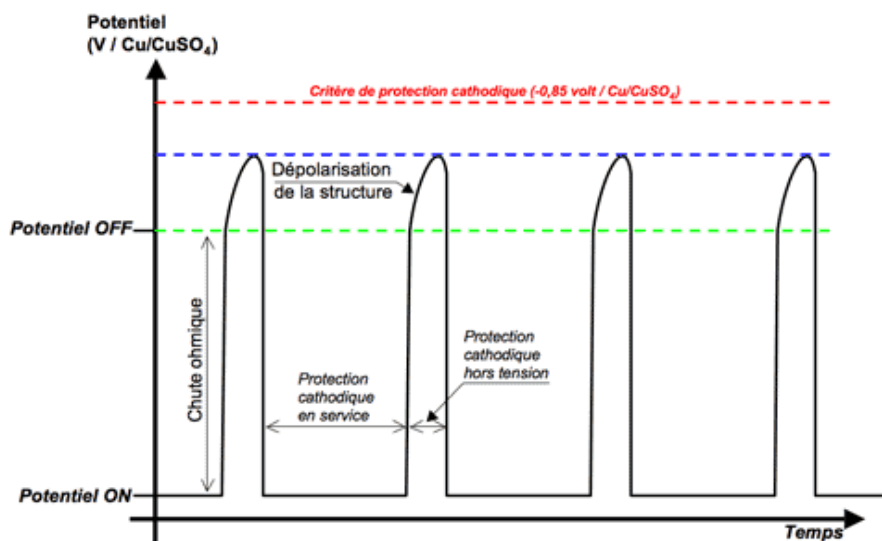
**- Mesure simple du potentiel**



**FIGURE 14 : Electrode cuivre/ sulfate**



→ **Mesure à courant coupé (enregistrement)**

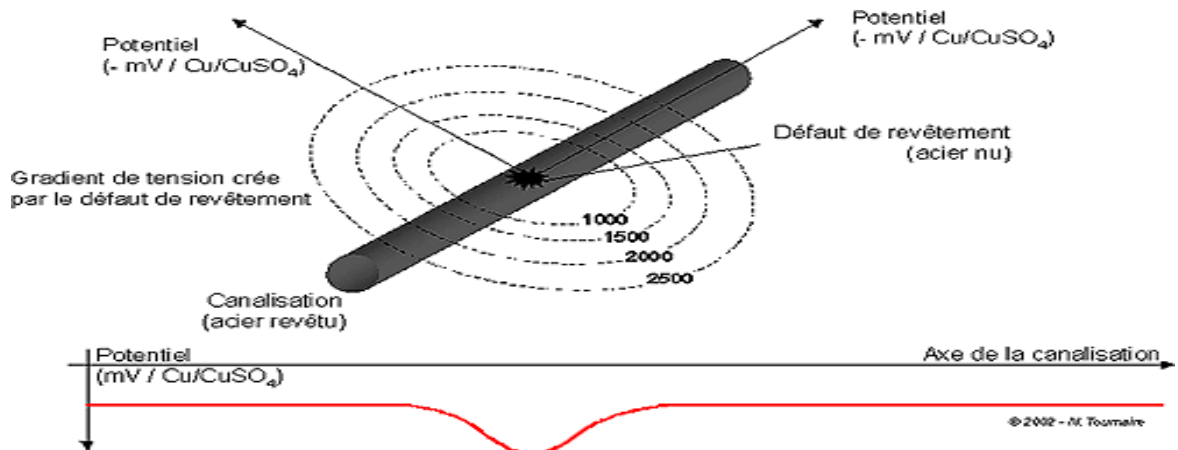


### Détection de Défauts de Revêtement de Canalisation

La Détection de Défauts de Revêtement de Canalisation est utilisée sur des canalisations enterrées afin de localiser les défauts du revêtement.

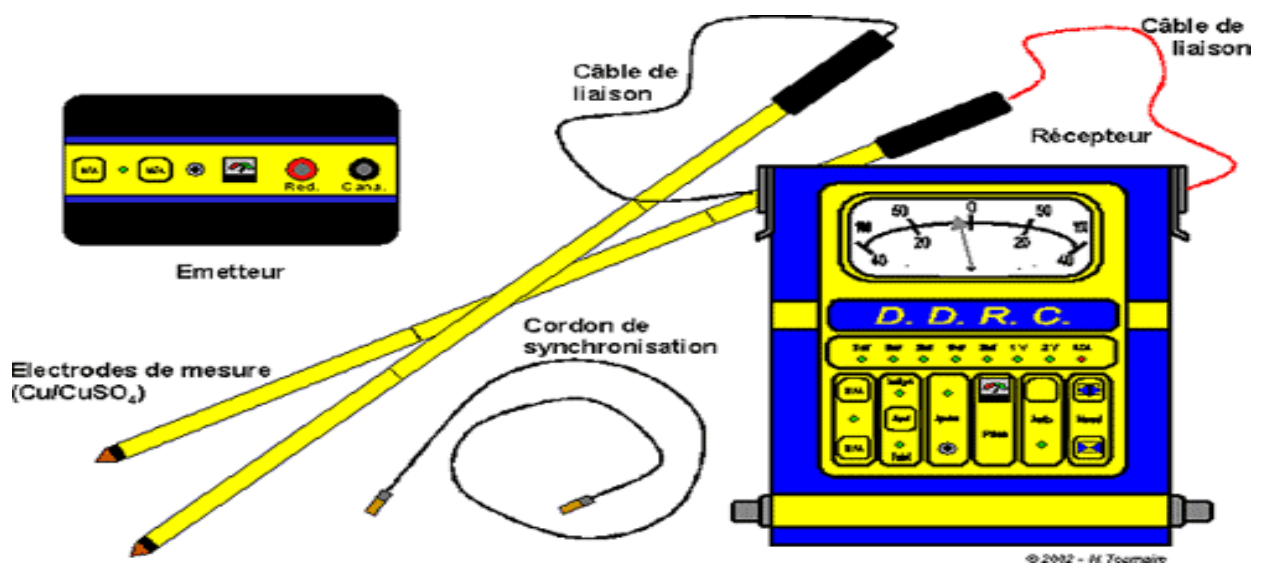
FIGURE 16 : Détection de Défauts de Revêtement de Canalisation

La théorie :

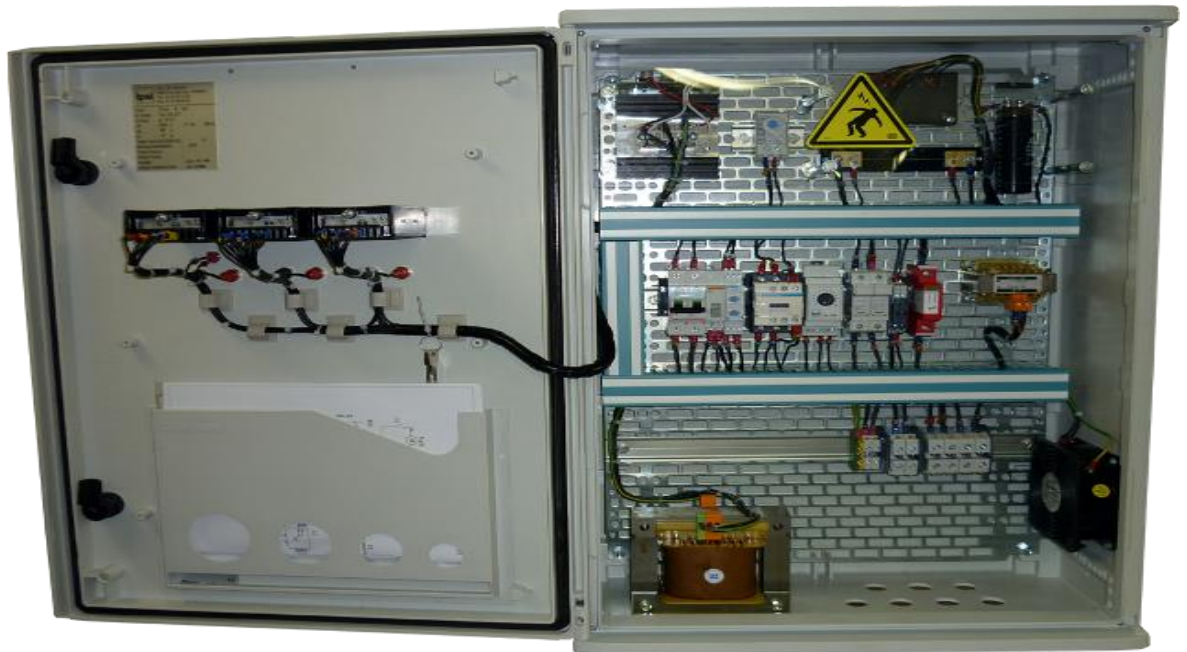


Cette méthode de recherche des défauts de revêtement de canalisation repose sur la mesure du gradient de tension créé par un défaut de revêtement (métal apparent). La mise sous tension de la canalisation se fait à partir du système de protection cathodique existant sur la canalisation, ou bien à l'aide d'une injection provisoire. Cette méthode ne s'applique qu'aux canalisations électriquement continues (canalisations en fonte exclues).

Le matériel :



- **Emetteur** : il permet la mise sous et hors tension de la canalisation (fréquence 1 Hz).
- **Cannes-électrodes** : elles permettent de mesurer les gradients de tension créés par les défauts de revêtement.
- **Récepteur** : Il est constitué par un voltmètre analogique à zéro central.



**FIGURE 17 : Poste Redresseur**



**FIGURE 18 : Mini Poste Redresseur**

# **Conclusion Générale**

## Conclusion Générale

---

Ce travail a été consacré à l'étude approfondie du phénomène de corrosion dans les centrales thermiques, avec un accent particulier sur les équipements de la société Sonelgaz, en mettant en lumière les mécanismes, les causes, les effets et surtout les moyens de prévention et de protection.

La corrosion demeure l'un des défis majeurs de l'industrie énergétique, notamment en raison des conditions extrêmes (température, pression, humidité, agents chimiques) auxquelles sont exposés les équipements métalliques. Ses conséquences sont à la fois techniques, économiques et environnementales, menaçant la durabilité des installations et la sécurité des opérations.

Tout au long de ce mémoire, nous avons examiné :

- Les **différents types de corrosion** rencontrés dans les environnements industriels (généralisée, localisée, galvanique, microbiologique, etc.) ;
- Les **facteurs influençant leur apparition** : propriétés des matériaux, qualité du fluide, conditions de fonctionnement, environnement externe ;
- Les **méthodes de prévention et de protection** : choix de matériaux, revêtements, maintenance préventive, et surtout **la protection cathodique**, technologie qui s'est imposée comme l'une des solutions les plus efficaces et durables.

L'étude de cas portant sur la **direction de distribution de Relizane** a permis d'illustrer concrètement l'application de ces principes sur le terrain, tout en mettant en évidence l'importance de la surveillance continue et de la gestion proactive des risques.

Par ailleurs, la **partie expérimentale** consacrée à l'adsorption de colorants par des nanocomposites à base de maghnite modifiée démontre l'intérêt d'explorer des matériaux innovants pour des applications environnementales et industrielles, dans une démarche de durabilité et de recherche de solutions écologiques.

En conclusion, cette recherche a permis de mieux comprendre les enjeux liés à la corrosion et à ses impacts dans les infrastructures énergétiques. Elle appelle à renforcer l'investissement dans la **maintenance préventive**, la **formation du personnel technique**, et la **recherche appliquée**, dans une optique de pérennité et de sécurité des réseaux énergétiques nationaux.

# **Bibliographie**

## Bibliographie

---

1. Béranger, G. (2002). *Corrosion et protection des métaux*. Dunod.
2. Marcus, P., & Mansfeld, F. (2006). *Analytical Methods in Corrosion Science and Engineering*. CRC Press.
3. Pourbaix, M. (1974). *Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions*. National Association of Corrosion Engineers.
4. Tremblay, R. (2011). *La protection cathodique : principes, mise en œuvre et contrôle*. Éditions Techniques de l'Ingénieur.
5. Sonelgaz. (2018). *Rapport annuel sur la maintenance et la sécurité des installations thermiques*. Direction Générale Technique, Alger.
6. Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie. (2006). *Arrêté du 4 août 2006 portant règlement de la sécurité des canalisations de transport de gaz combustibles et d'hydrocarbures*. Journal Officiel de la République Française.
7. Triki, E. (2009). *Corrosion des matériaux métalliques dans l'industrie énergétique*. Revue des Énergies Renouvelables, 12(3), 477-488.
8. Lemaire, C. (2014). *Les phénomènes de corrosion dans les installations industrielles*. Techniques de l'Ingénieur, traité matériaux métalliques.
9. International Organization for Standardization. (2019). *ISO 15589-1: Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Cathodic protection of pipeline systems*. Genève.
10. Association Française de Normalisation (AFNOR). (2010). *NF EN 12954 – Protection cathodique des structures métalliques enterrées ou immergées – Principes généraux et application pour les canalisations*. Paris.