

## **Chapitre II : Moyens de protection contre la corrosion**

### **Introduction**

La protection efficace contre la corrosion est une condition préalable à la durabilité des composants en acier.

Ce n'est pas pour rien que la protection contre la corrosion est un élément essentiel pour la preuve de la stabilité.

Les produits sidérurgiques plats dotés de revêtements métalliques avec une finition par immersion à chaud en continu conformément à la norme EN 10346 – (conditions de livraison techniques) et les revêtements organiques afférents sont aujourd'hui accompagnés de systèmes de protection contre la corrosion très efficaces et puissants.

### **II-1-Protection passive :**

Elle est constituée par le revêtement extérieur dont le rôle est de créer un effet de barrière électrique entre le métal des canalisations et le milieu environnant. Ce 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. C'est pourquoi on maîtrise ces risques potentiels par l'installation d'une protection cathodique. [12]

#### **II-1-1- Intérêt des revêtements associés à la protection cathodique :**

La protection cathodique est systématiquement utilisée dans un système duplex qui associe une protection passive et une protection active. La protection cathodique n'entre en fonction que s'il y a un défaut de revêtement et une partie de métal en contact direct avec l'électrolyte (sol ou eau).

Les revêtements sont souvent associés à la protection cathodique afin de :

- offrir une protection supplémentaire contre la corrosion et de façon "passive",
- aider la protection cathodique dans les rôles suivants :

- limiter le courant consommé,
  - réduire la consommation des anodes,
  - assurer une polarisation plus rapide,
  - assuré une portée de la protection cathodique dans les structures complexes.
  - assurer une meilleure répartition du courant dans la structure,
  - réduire le coût global de la protection.

### II-1-2- Les revêtements :

Excepté les buts esthétiques, l'utilisation de revêtements protecteurs rencontre un profond et vaste intérêt. Il lui est de plus demandé d'une part, des performances notables, une durée de vie longue et sûre ; d'autre part des prix bas et des composants favorables à l'environnement. Les systèmes de protection contre la corrosion sont conçus pour garantir durablement la conservation de la valeur et la fonction et constructions à structures métalliques.

#### II-1-2-1- Protection par revêtements non métalliques :

Il s'agit principalement des peintures et matières plastiques. Elles doivent posséder un certain nombre de qualités telles que l'imperméabilité à l'eau et aux gaz, la grande adhérence, la stabilité chimique, l'élasticité élevées et la bonne résistance à l'usure.

##### A. Les peintures :

Pour les peintures, plus l'adhérence est bonne, plus ces conditions sont remplies. L'importance économique des peintures dépasse de loin celle des autres méthodes de protection contre la corrosion. La plupart des métaux sont protégés par des peintures. Il est nécessaire d'appliquer deux ou plusieurs couches. Certaines peintures contiennent des pigments qui agissent comme primaires anti-corrosion. Les principaux constituants d'une peinture sont :

- **Le liant** : C'est le composant le plus important d'une peinture, il assure la cohésion du film et son adhérence au substrat (PVA, PVC, époxydes, etc.).
- **Le solvant** : permet d'appliquer la peinture à l'état liquide (l'huile de lin, solvants organiques) une fois la peinture appliquée, l'eau s'évapore et le liant qui possède normalement une masse moléculaire élevée, forme un film compact par coagulation.

- **Les pigments :**

Sont des composés que l'on ajoute aux peintures pour donner la couleur, les plus connus sont  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ,  $\text{ZnCrO}_4$ . Ils sont toxiques.

- **Les additifs et les charges :**

Sont destinées à modifier certaines propriétés des peintures comme la viscosité, la résistance à l'oxydation ou la tension de surface. Les charges, substances bon marché, tels que l'oxyde de titane ou le carbonate de calcium augmentent la masse et le volume des peintures. Elles peuvent également améliorer certaines propriétés de films comme la résistance à l'abrasion.

**B. Matières plastiques :**

L'utilisation des revêtements plastiques pour les métaux, s'accommode bien pour la protection contre la corrosion. Ils présentent beaucoup d'avantages par rapport aux peintures, tels que l'épaisseur de la couche (100 à 500  $\mu\text{m}$ ), en même temps, il joue le rôle d'isolateur. L'inconvénient des plastiques, réside dans la faible résistance à la température et leur instabilité dans plusieurs solvants organiques.

Les revêtements plastiques utilisés sont :

- Les thermoplastes (polyéthylène, polypropylène, PVC, ...).
- Les caoutchoucs (naturels ou synthétiques).
- Les thermodurcissables (polyuréthanes, époxydes, polyesters).

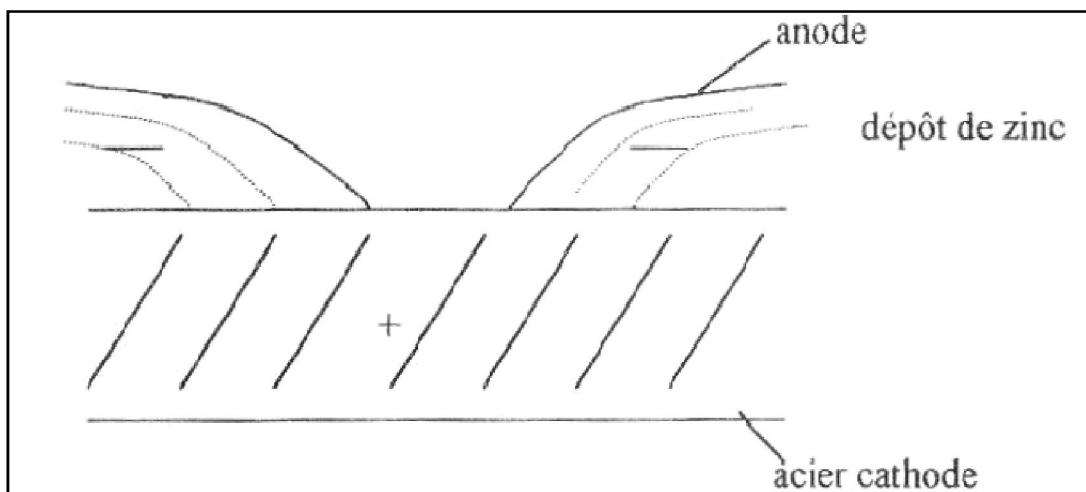
En général le revêtement par les matières plastiques se fait de la façon suivante : la pièce à revêtir est préchauffée puis saupoudrée avec les grains de matière plastique ou plongée dans un lit fluidisé de la poudre..

**II-1-2-2- Protection par revêtements métalliques :**

Les revêtements métalliques sont couramment employés pour protéger l'acier contre la corrosion atmosphérique. Les revêtements métalliques, outre leur effet anticorrosion, remplissent souvent une fonction décorative. On les utilise aussi comme protection contre l'usure. Il existe deux types de revêtements métalliques ceux plus nobles que le substrat cathodique et ceux moins nobles que le substrat anodique.

**A. Revêtement anodique :**

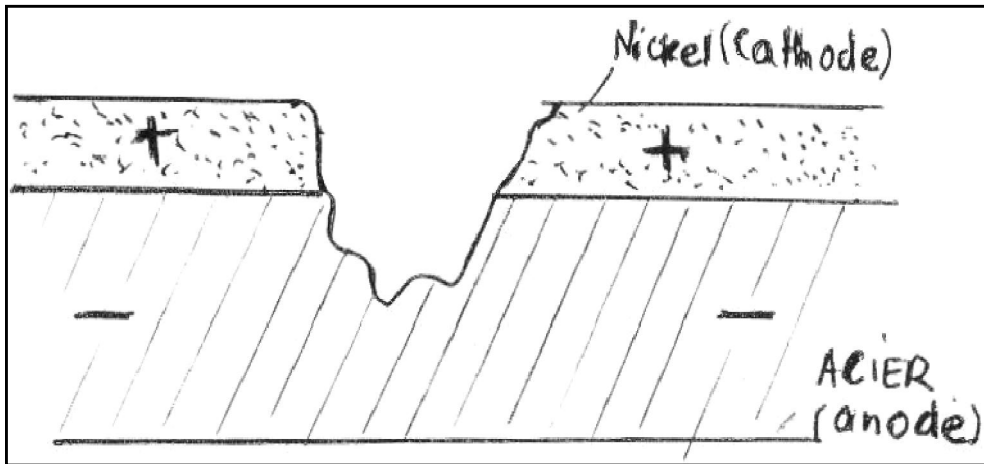
Dans le cas des aciers, le zinc, le cadmium et l'aluminium forment des revêtements moins nobles que l'acier (voir classification électrochimique). Dans le cas d'un revêtement de zinc par exemple, (fig. 1), l'acier constitue la cathode de la pile, c'est donc le zinc qui est attaqué. L'acier est protégé cathodiquement par le zinc qui est moins noble que lui (protection cathodique).



**Figure II-1 : Revêtement anodique.**

**B. Revêtement cathodique :**

Dans le cas d'un revêtement de plomb, d'étain, de nickel, de cuivre, d'argent, d'or, de rhodium ou de platine, on dit qu'ils forment des revêtements plus nobles, donc constituent la cathode et l'acier est considéré comme l'anode. Dans le cas du revêtement de l'acier par le nickel, l'acier constitue l'anode de la pile et le nickel la cathode, (fig.2).



**Figure II-2 : Revêtement cathodique.**

La moindre fissure dans le revêtement entraînera l'attaque de l'acier, il est donc nécessaire que le revêtement soit parfaitement continu et ne contient aucun défaut. Les procédés de revêtement métalliques sont :

- Immersion dans un bain fondu.
- Electrolyse.
- Métallisation au pistolet.
- Métallisation sous vide.
- Dépôt en phase gazeuse

Pour l'immersion, le métal à protéger est plongé dans un bain de métal protecteur fondu. Cette méthode est utilisée en particulier pour le dépôt de zinc (galvanisation) ou d'étain (étamage). Pour l'électrolyse, le dépôt présente toujours une certaine porosité, on est donc conduit à effectuer des dépôts d'épaisseur suffisante pour qu'il n'y ait pas continuité entre les pores.

Pour la métallisation sous vide, il s'agit d'un revêtement obtenu par vaporisation sous vide d'un métal porté à haute température par un chauffage électrique. Cette technique est utilisée, par exemple en optique et en électronique pour déposer l'aluminium sur l'acier (surfaces réfléchissantes). En ce qui concerne la dernière méthode, la pièce à revêtir est portée à une température légèrement supérieure à celle qui correspond à la décomposition. On a la réduction du composé métallique gazeux. Le dépôt est effectué sous pression réduite du composé. Elle est utilisée en anti-corrosion pour la protection de pièces de formes complexes.

**II-1-3-Choix des revêtements :**

Il convient de choisir des revêtements compatibles avec leur situation :

- Une adhérence parfaite et pérenne sur la structure,
- Un pH du milieu rendu alcalin.

Dans les règles de sécurité, pour les canalisations de produits pétroliers liquides (arrêté du 21 avril 1989), de gaz combustible (arrêtés du 11 mai 1970 et du 13 juillet 2000) ou d'autres fluides du type produits chimiques (arrêté du 6 décembre 1982), la protection cathodique est réalisée systématiquement en supplément d'un revêtement organique. Par ailleurs, les canalisations d'eau potable, d'irrigation ou d'alimentation d'enneigement artificiel sont de plus en plus protégées avec cette technique.

Dans les centres de dépôt de GPL, les réservoirs mis sous talus sont protégés cathodiquement en conjonction avec un revêtement.

Les dessous de réservoirs aériens verticaux sont parfois protégés cathodiquement en préventif ou en curatif, en liaison avec un enduit bitumineux ou une peinture.

L'efficacité de la protection dépend grandement du contact avec le sol ou l'eau et de l'emplacement des anodes.

La peinture n'est pas retenue pour les ouvrages enterrés.

Le revêtement protecteur utilisé dépend du diagnostic des conditions d'exposition. Il existe un choix considérable et il est difficile de les comparer tant les opinions diffèrent, les expériences varient et les progrès continuent.

Il est à noter qu'un mauvais choix de revêtement peut conduire à des cloquages et parfois, à des décollements importants dû à l'alcalinisation du milieu, à la température du fluide transporté et au dégagement d'hydrogène en surface.

**II -1-4-Effet sur la protection cathodique :**

La protection cathodique associée avec les revêtements doit tenir compte:

- Des pourcentages de défauts de revêtement apparaissant dans le temps,
- Du vieillissement du film.

Ces facteurs sont à prendre en compte dans les calculs de courant à corriger d'année en année.

**II-2-Principe de la protection cathodique :**

La Protection Cathodique d'un ouvrage métallique en contact avec un électrolyte consiste à placer cet ouvrage à un potentiel électrique négatif tel que la corrosion devienne thermodynamiquement impossible. Comme valeur de potentiel, au dessous duquel l'acier ne peut se corroder dans un milieu ayant un pH compris entre 4 et 9, on admet le critère de -850mV, mesuré par rapport à l'électrode impolarisable au sulfate de cuivre en solution saturée.[13]

Le principe de la Protection Cathodique trouve son application dans la pile élémentaire ou l'une des électrodes (anode) est toujours corrodée alors que l'autre ne l'est pas.

Deux systèmes sont utilisés pour rendre un ouvrage cathodique :

**II-2-1- Systèmes de la protection cathodique :**

Le courant de protection cathodique peut être appliqué par l'un des deux systèmes :

- **protection par courant imposé :**

Utilisant un générateur de courant continu branché entre l'ouvrage à protéger (cathode) et une ou des anodes auxiliaires (appelées déversoirs de courant) utilisant tout matériau conducteur d'électricité (de préférence inattaquable).

- **protection par anodes galvaniques :**

Utilisant un couplage galvanique entre l'ouvrage à protéger et une ou des anodes constituées d'un métal ou alliage moins noble que le métal que l'on veut protéger.

- ✓ **Protection par courant imposé :**

Dans les installations de protection cathodique par courant imposé, l'alimentation électrique permet de polariser cathodiquement la structure à protéger en faisant circuler un courant continu entre l'ouvrage à protéger et une anode auxiliaire dite « déversoir ». La méthode est illustrée par la figure suivante :

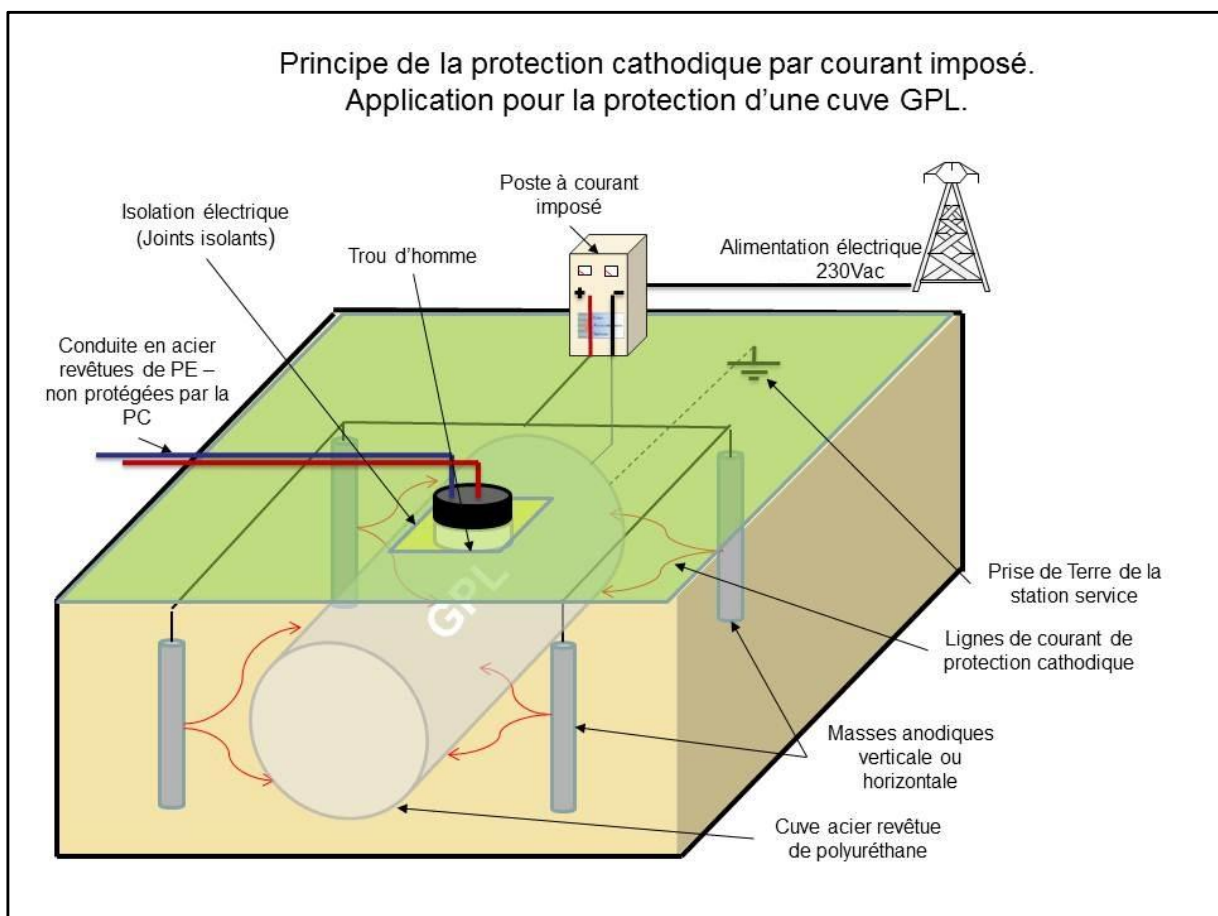


Figure II - 3 : Principe de la protection cathodique par courant imposé.



Selon les cas, cette anode peut être constituée de matériau consommable (acier de rebut), semi-inerte (Ferro-silicium, graphite, magnétite, oxyde de plomb) ou inerte (titane platiné, niobium platiné, tantale platiné, titane recouvert d'oxydes mixtes "Ti/MMO", polymères conducteurs).

Les postes de protection cathodique sont généralement à voltage constant. Il est aussi possible de mettre en œuvre des postes à débit constant.

Des postes assurant un débit asservi au potentiel mesuré à l'aide d'une électrode de référence pilote par rapport à un domaine de potentiel cible permettent de mettre en œuvre des systèmes automatiques utiles pour répondre aux variations des conditions électrochimiques liées par exemple à la résistivité ou à l'influence de courants continus vagabonds.

### **II-2-2-L'implantation du poste de soutirage :**

L'implantation du poste de soutirage est déterminée en tenant compte des considérations pratiques suivantes :

- Possibilité d'occupation du sol.
- Terrain de faible résistivité.
- Disponibilité et cout de l'alimentation en énergie électrique.
- Facilité d'accès.

On évite ,dans la mesure du possible de mettre un poste de soutirage à l'extrémité d'une conduite ,ce qui donnerait une mauvaise répartition des potentiels et donc une mauvaise utilisation du poste .

#### **✓ Protection cathodique galvanique :**

Certains métaux ou alliages placés dans le même milieu électrolytique que l'ouvrage à protéger ont un potentiel d'électrode (mesuré par rapport à une électrode de référence) inférieur à celui du métal constitutif de l'ouvrage. Lorsqu'un tel métal est relié électriquement à la structure à protéger, son potentiel tend à augmenter, alors que celui du

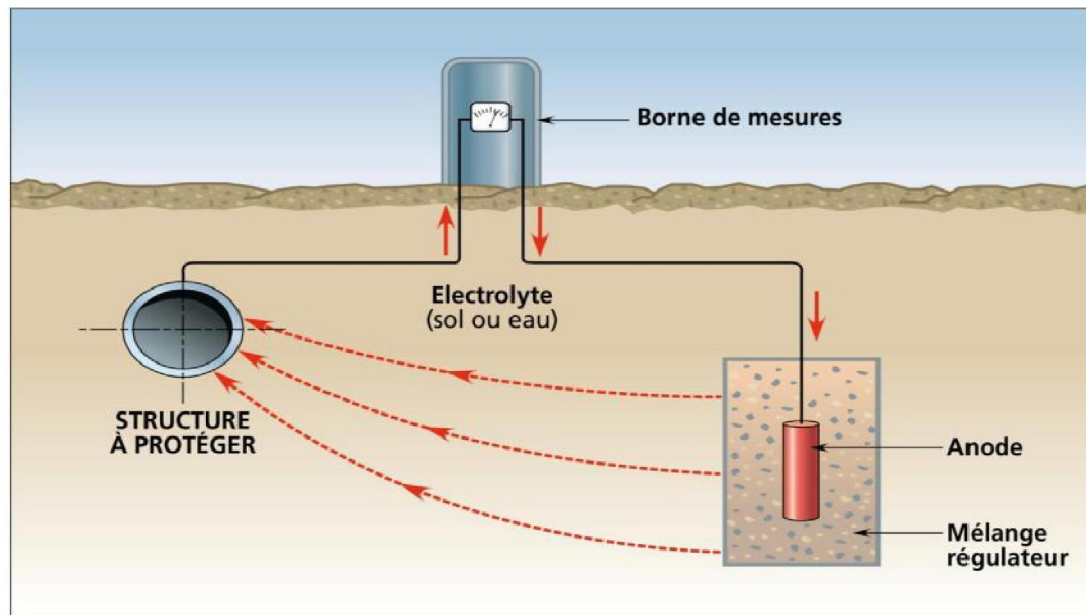
métal de la structure tend à diminuer, ce qui conduit à faire décroître sa vitesse de corrosion. La méthode est illustrée par la Fig4.

Les anodes galvaniques (parfois appelées anodes sacrificielles ou consommables) sont à base de magnésium, de zinc ou d'aluminium. 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. Dans le cas des ouvrages au contact du sol, seules les anodes à base de zinc ou de magnésium entouré d'un mélange régulateur ou « *backfill* » constitué de bentonite et de sulfate de calcium sont utilisables. Les anodes à base d'aluminium sont à exclure car les sols ne contiennent généralement pas assez d'ions chlorures pour éviter leur passivation qui conduit à une chute du débit du courant galvanique.

Les anodes galvaniques doivent être conformes à la norme NF EN 12496 qui spécifie les exigences de qualité et recommande les compositions et caractéristiques électrochimiques.

Le débit des systèmes à anodes galvaniques s'adapte naturellement en fonction de la résistance du circuit.

En cas de surpolarisation, il est possible de réduire le débit en intercalant une résistance électrique, éventuellement réglable, dans le circuit.



**Figure II-4: Principe de la protection cathodique par anodes galvaniques.**

### **II-2-3-Exploitation et maintenance :**

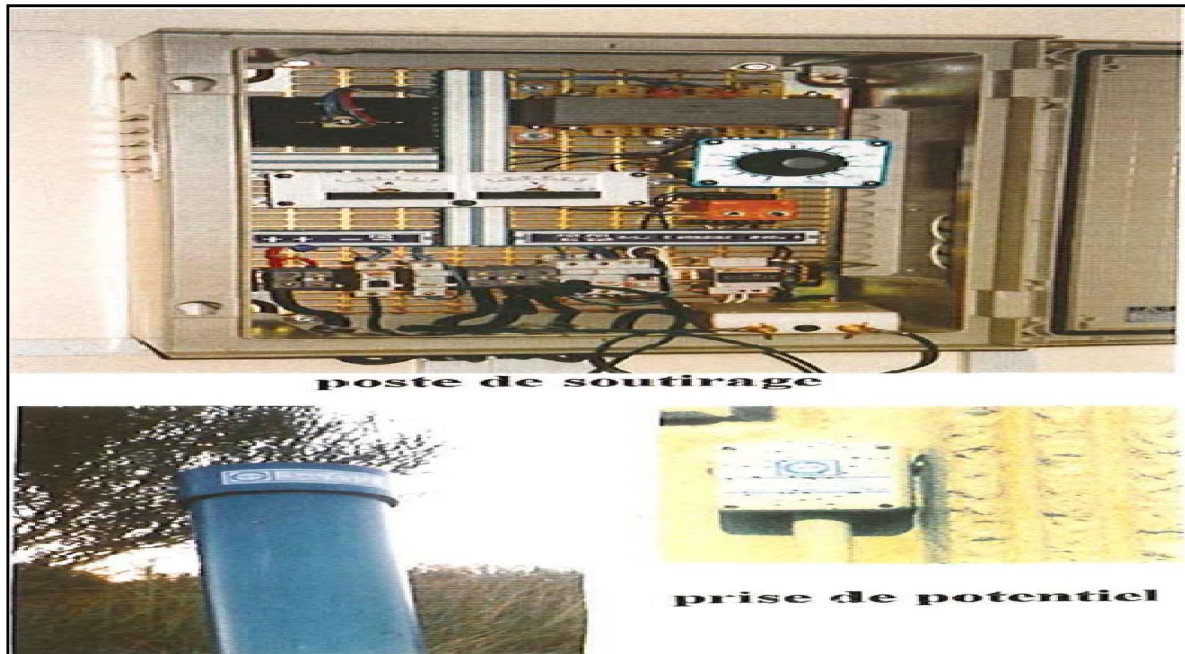
Le fonctionnement d'une installation de protection cathodique se contrôle en continu, surtout par mesure du courant de polarisation pour chaque zone d'anode. Les données des autres capteurs sont relevées suivant une périodicité qui est indiquée dans le plan qualité.

Le contrôle du fonctionnement de cette installation est consigné dans un procès-verbal pour les actions suivantes :

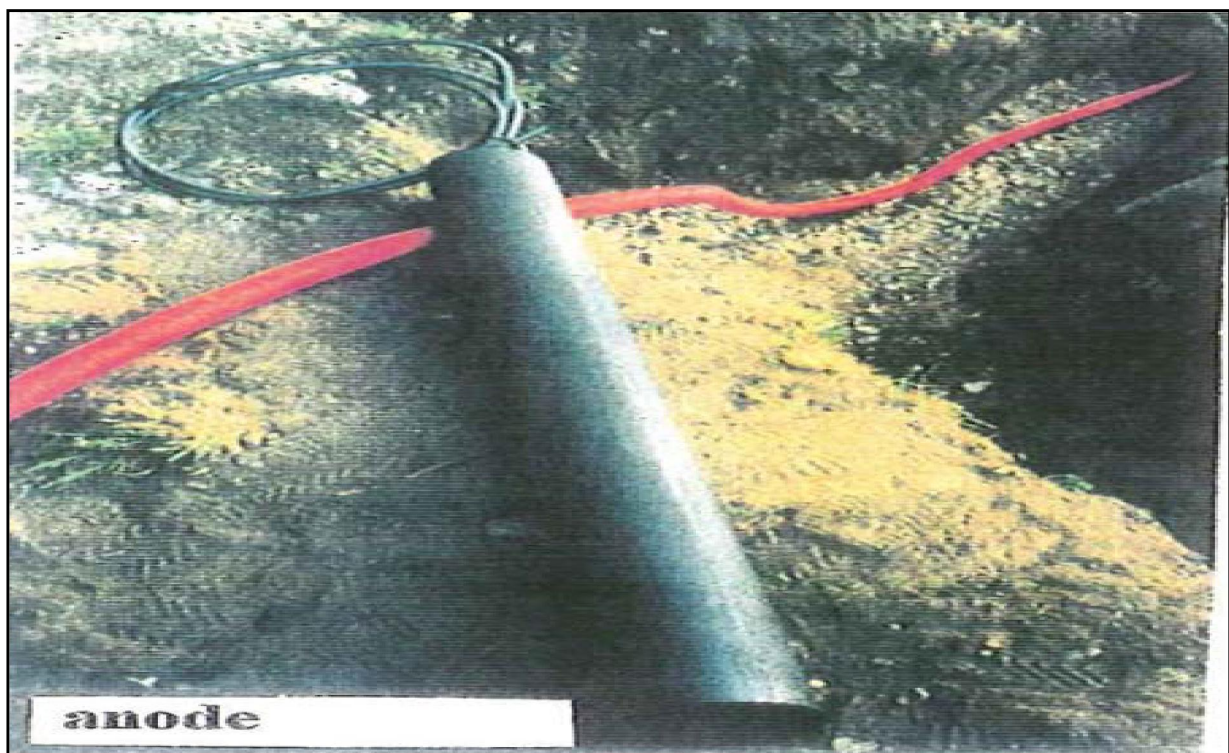
- Les inspections de routine (avec enregistrement) qui permettent de vérifier le bon fonctionnement de la protection cathodique et d'évaluer la performance des éléments et analyse des résultats.
- Le suivi de l'installation qui reprend toutes les données des anciennes inspections de routine et englobe un examen visuel de l'installation, une nouvelle inspection de routine. Il est à noter que si l'installation est équipée d'un système de gestion à distance, le déplacement sur le site n'est nécessaire que pour le suivi de l'installation, sauf si des événements anormaux ont été détectés.

**II-2-4-Les composants d'une installation cathodique :**

Une installation de protection cathodique est équipée par les éléments représentés par les figures suivantes :



**Figure II-5 : Poste de soutirage et une Prise de potentiel.**



**Figure II-6: Anode Sacrificielle.**

### II-2-5- Critères de choix de la protection cathodique par anodes sacrificielles et par courant imposé :

Pour modifier le potentiel du métal à protéger cathodiquement, on utilise une anode installée dans le même électrolyte. Les anodes peuvent être de deux types :

- Soit des anodes ayant un potentiel plus électronégatif que le métal à protéger

(Anode galvanique ou Sacrificielle).

- Soit des anodes couplées à un générateur de courant imposant une différence de potentiel entre les deux métaux (méthode à courant imposé). [14]

Une comparaison technique des critères économiques : conception, équipement, installation, maintenance, consommation en matière et en énergie, est donnée sur le tableau suivant :

|  | <b>Anode galvanique ou Sacrificielle</b>                     | <b>Système à courant imposé</b>                    |
|--|--|--|
| Complexité de l'installation                                     | Simple   | Complexe   |
| Source d'énergie   | Non nécessaire   | Nécessaire   |
| Distribution du courant sur la Structure                         | Homogène   | Souvent hétérogène                                 |
| Poids de la structure  | Importante surcharge en poids pour des longues durées de vie | Peu d'accroissement                                |
| Influence de la résistivité du Milieu                            | Non envisageable si la résistivité du milieu est trop grande | Pas de difficulté                                  |
| Nombre d'anodes  | Important  | Faible   |
| Facilité d'adapter le courant consommé en fonction de la demande | Adaptation possible à travers une liaison résistante         | Adaptation facile                                  |
| Risque de surprotection  | Pratiquement aucun   | Possible   |
| Risques humains  | Non  | Possible (poste de soutirage).                     |
| Surveillance   | Aisée et occasionnelle                                       | Surveillance fréquente requise par un spécialiste. |

**Tableau II- 1 : Comparaison entre les deux systèmes de protection.**



### **II-3- Protection par inhibiteurs de corrosion :**

#### **II-3-1- Classification des inhibiteurs :**

Des nombreuses substances présentent une action inhibitrice, ces substances se distinguent selon:

- leur composition chimique (organique ou inorganique).
- leur mode d'action par adsorption ou inhibiteurs passivant.
- la nature électrochimique du processus (anodiques, cathodiques ou mixtes).

#### **II-3-2-Mécanismes et principes d'action :**

Les inhibiteurs de corrosion n'ont pas un mode d'action propre, unique, mais ils sont liés au système de corrosion. Un inhibiteur peut agir comme une barrière entre le métal et le milieu corrosif et celle-ci peut être pré existante: couche d'oxyde ou d'hydroxyde déjà formée, et, dans ce cas les mécanismes font intervenir le plus souvent des processus d'adsorption et de blocage de surface. Le mode d'action peut aussi être de nature cinétique, l'inhibiteur peut alors ralentir la vitesse de la réaction cathodique ou de la réaction anodique ou agir simultanément sur les deux, Figure 4. L'inhibition peut aussi résulter de la formation d'un composé insoluble qui colmate les zones sensibles et la vitesse de corrosion diminue alors avec le temps.

#### **II-3-3- L'efficacité d'un inhibiteur de corrosion :**

Les expressions les plus couramment utilisées pour exprimer l'efficacité d'un inhibiteur de corrosion sont les suivantes [15] :

**-Taux d'inhibition :**

$$T = \frac{-u + u_0}{u_0} \quad (\text{II-1})$$

**II-3- 4 - Coefficient d'inhibition :**

$$\gamma = \frac{u_0}{u} \quad (\text{II-2})$$

Où :  $u_0$  : est la mesure de corrosion exprimée en perte de masse ou intensité de corrosion en absence d'inhibiteur.

$u$  : est la mesure de corrosion en présence d'inhibiteur.

**II-3-5- Domaines d'emploi des inhibiteurs :**

Leur domaine d'utilisation couvre les milieux acides, la vapeur et les eaux de refroidissement. Il n'existe pas de système inhibiteur universel et chaque situation doit faire l'objet d'une analyse englobant l'ensemble des matériaux présents, la teneur en sels, le pH, la concentration en oxygène. Nous allons dans ce paragraphe passer en revue quelques situations courantes en citant les types d'inhibiteurs classiquement utilisés. Dans le cas d'un circuit véhiculant de l'eau déminéralisée (peu corrosive compte tenu de sa résistivité élevée), des concentrations minimales d'inhibiteurs minéraux comme les chromates, nitrites, poly phosphates, benzoates ou borax permettent d'obtenir une bonne protection. En présence d'oxygène, il suffit généralement d'abaisser sa teneur à moins de 0,1 ppm par dégazage ou par ajout d'un désoxygénant. On peut également, suivant les matériaux, utiliser un inhibiteur passivant.

Toutefois, lorsque le circuit contient des chlorures, l'acier peut se révéler difficile à passiver. Pour de fortes concentrations de ces derniers (ainsi qu'en présence de sulfates) on fera donc plutôt appel à des inhibiteurs non passivant. Dans les systèmes de réfrigération en circuit fermé, on peut éliminer l'oxygène et la corrosion est alors contrôlée par un simple ajustement du pH à une valeur suffisamment élevée. Les chromates et les nitrites sont efficaces dans ce cas. Il faut toutefois s'abstenir d'employer les nitrites si les canalisations sont à base de cuivre (ou alliage) car la formation d'ammoniaque est incompatible avec ces matériaux.

**Conclusion :**

On parle dans ce chapitre des moyens de protection contre la corrosion qui sont la protection cathodique, la protection par revêtement et la protection par l'ajout des inhibiteurs, donc on peut conclure qu'il est préférable de combiner entre deux types de protection contre la corrosion pour assurer la bonne protection.