

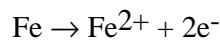
CATHODIC PROTECTION OF UNDERGROUND TANKS : WHICH SOLUTION SHALL BE ADOPTED ?

Jean Vittonato

DIFFERENCE ENTRE PROTECTION PAR ANODES SACRIFICIELLES ET PAR COURANT IMPOSE

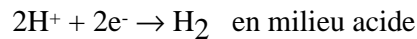
Introduction à la corrosion

La corrosion est l'oxydation électrochimique d'un métal suivant la réaction. Pour l'acier :



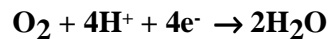
Ces réactions sont couplées à une réaction de réduction (c'est le "moteur" de la corrosion) pour consommer les électrons. En milieu naturel ces moteurs sont l'eau et l'oxygène :

- l'eau :



ou $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^{-} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^{-}$ en milieu alcalin

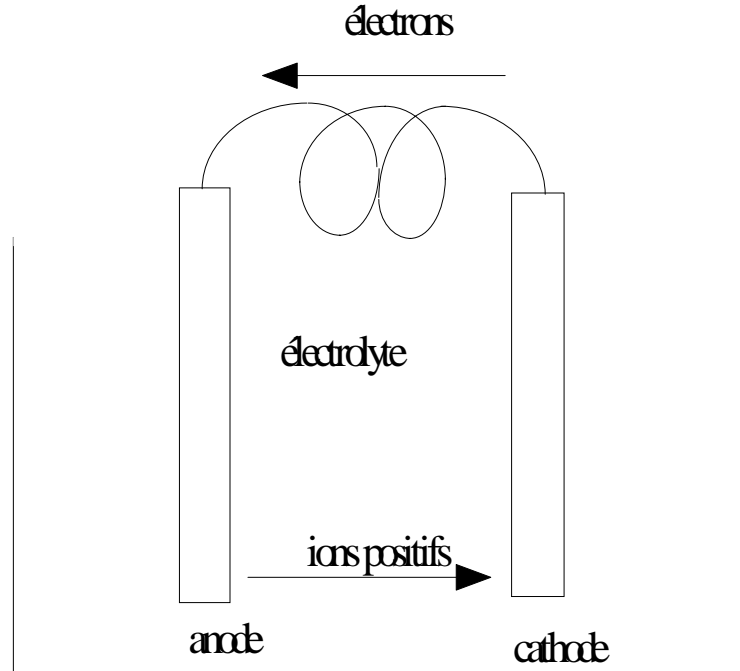
- l'oxygène :



ou $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^{-} \rightarrow 4\text{OH}^{-}$

Pour que la corrosion existe il faut donc que certaines conditions soient remplies :

- il doit y avoir une anode (siège de l'oxydation) et une cathode (siège de la réduction)
- l'anode et la cathode doivent être immergées dans le même électrolyte ou deux électrolytes en contact (comme le sol et l'eau)
- il doit y avoir une jonction métallique entre l'anode et la cathode
- le potentiel de la réaction anodique doit être largement inférieur à celui de la réaction cathodique.



L'ensemble cathode (eau) et anode (acier) forme une pile de corrosion.

1.2) Principe de protection cathodique

L'acier dans le milieu naturel a tendance à se corroder car le potentiel mixte qui s'établit lorsque l'acier est plongé dans l'eau est supérieur au potentiel d'oxydation de l'acier.

Le moyen d'empêcher cette corrosion est de modifier artificiellement la pile de corrosion. Si l'on impose au système une tension mixte inférieure au potentiel de l'acier, la corrosion n'a pas lieu ou est réduite de façon significative.

C'est le principe de la protection cathodique. Deux solutions sont possibles :

- Soit l'on rajoute au système un métal moins noble que l'acier. C'est celui-ci qui va se corroder à la place de l'acier. Il faut que la tension de l'anode sacrificielle soit faible afin de « tirer » le potentiel du système suffisamment bas pour placer l'acier à l'état de cathode.
- Soit l'on impose une tension entre l'acier et un autre métal qui va jouer le rôle d'anode. La tension imposée doit ici-aussi être suffisante pour placer l'acier dans son domaine de protection.

1.3) Protection cathodique par anodes sacrificielles

La protection par anode sacrificielle se fait lorsque des courants relativement petits sont nécessaires. En effet les potentiels des anodes sacrificielles se situent entre -1100 et -1700 mV / cuivre sulfate de cuivre, ce qui n'autorise qu'une faible différence de potentiel avec l'acier (et donc un faible courant de protection).

Les anodes sacrificielles employées pour protéger les réservoirs enterrés sont soit en zinc soit en magnésium. Elles sont emballées dans un sac ou un carton contenant du backfill (gypse, bentonite et sulfate de soude) afin d'empêcher la passivation du métal et de diminuer la résistivité de l'électrolyte en contact avec l'anode.

Idéalement, les anodes doivent être installées le plus loin possible de la structure à protéger. Dans la pratique, les excavations limitent le plus souvent l'éloignement entre 50 cm et 2 m pour l'implantation des anodes. C'est une des raisons pour lesquelles la quantité d'anode est surdimensionnée par rapport à la durée de vie théorique (problème de distribution de courant lié à la proximité des anodes par rapport à la structure)

Le magnésium est le métal le plus utilisé dans les anodes sacrificielles car c'est celle qui a le potentiel le plus électronégatif (-1700 mV pour le haut potentiel). Son utilisation est courante dans les sols plus résistants.

A l'opposé, le zinc est plutôt employé dans des sols peu résistifs (potentiel de -1100 mV).

Néanmoins, le choix entre le zinc et le magnésium dépend de nombreux autres facteurs :

la qualité du revêtement (en fonction de la résistivité on choisira l'un ou l'autre)

la durée de vie souhaitée (10 ans pour le mag, 15 pour le zinc)

le coût (mag plus cher que le zinc)

le taux de régulation (le zinc régule mieux)

problème d'encombrement (densité du zinc supérieure)

D'une manière générale, pour les réservoirs enterrés du type petit vrac, comme le dimensionnement des anodes est largement surdimensionné, le choix du magnésium ou du zinc ne modifie pas sensiblement la qualité de la protection.

Pour les réservoirs enterrés plus importants, on choisira préférentiellement le magnésium comme matériau anodique.

1.4) Protection cathodique par courant imposé

La protection cathodique par courant imposé permet d'atteindre les mêmes résultats en employant une source externe de courant.

L'avantage d'un système de protection cathodique par courant imposé c'est qu'il permet de suivre la demande de courant et d'apporter le courant suffisant et nécessaire à la structure pour la protéger.

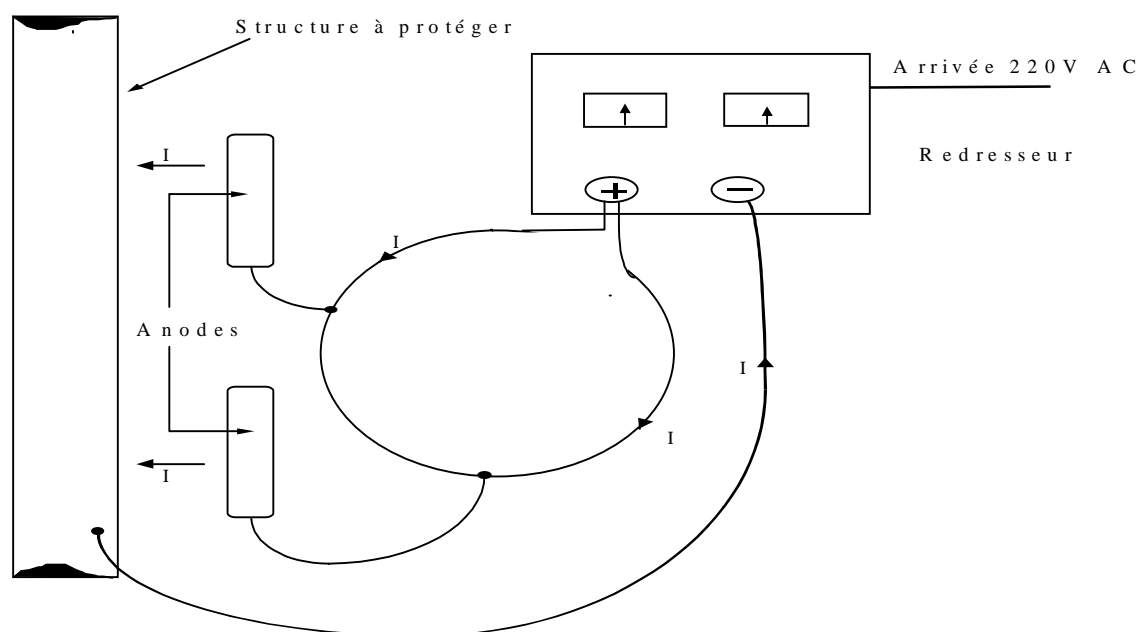
Dans pratiquement toutes les conditions (revêtement, résistivité etc...) on peut dimensionner une installation par courant imposé qui satisfera au besoin.

Par contre le coût d'une protection par courant imposé est largement supérieur à celui par anodes sacrificielles.

Le système se compose des éléments principaux suivants :

- le redresseur : cette unité transforme le 220 Volts alternatif en courant continu de faible tension (<50 V) et l'envoie vers les anodes.

- les anodes : il existe des anodes composées de toutes sortes de matériaux, graphite, fer silice, fer, niobium/platine, polymère conducteur, etc... Les anodes émettent du courant vers la structure à protéger. Elles sont calculées pour une durée de vie de 20 à 50 ans.



2) CONTROLE DU SYSTEME

2.1) Introduction

Le contrôle de la protection cathodique est fondamental pour vérifier l'efficacité du système. Les conséquences dépassent même le stricte contrôle de la corrosion : dans les réservoirs petits vrac par exemple la DMTP 29456 permet de déroger au contrôle visuel décennal uniquement si la protection cathodique a été correctement suivie et si son efficacité a été prouvée. Dans le cas contraire il faut déterrer les cuves, ce qui entraîne un coût important. Pour les gros réservoirs et les sphères, les DRIRE exigent un contrôle annuel par un organisme indépendant en plus du suivi mensuel effectué par le personnel d'entretien.

2.2) Critère de protection

Le critère de protection, imposé par les normes, indique que la structure doit avoir un « potentiel inférieur à -850 mV en OFF par rapport à une électrode de référence en cuivre/sulfate de cuivre ».

« Potentiel OFF » signifie que le potentiel pris en compte pour le critère de protection ne doit pas inclure la chute ohmique dans le circuit du au passage du courant dans le sol, qui a une certaine résistivité. La mesure consiste à prendre le potentiel juste après avoir coupé le courant (le courant I étant nul, la composante $R \times I = 0$)

Le potentiel est effectivement mesuré par rapport à une électrode car la notion de potentiel est relative : un potentiel est défini par rapport à quelque chose. Les électrodes de référence ont pour caractéristique d'avoir un potentiel stable. On peut donc mesurer le potentiel d'une structure par rapport à ces électrodes.

Habituellement on utilise des électrodes en cuivre/sulfate de cuivre qui ont une bonne durée de vie.

Le but du contrôle du système va donc consister à vérifier que la structure est bien au norme de protection, et donc qu'elle satisfait bien à la valeur de -850 mV « OFF ».

Aujourd'hui, les revêtements des cuves ont une qualité excellente. Il est donc de plus en plus difficile d'atteindre les -850 mV en OFF. Dans ces cas là on choisira comme critère le second critère indiqué dans les normes qui est une dépolarisation d'au moins 100 mV. Cette dépolarisation est donné par la différence entre le potentiel OFF et le potentiel après un certain temps de dépolarisation (typiquement de 1 à 4 heures). La durée de la dépolarisation n'est pas imposée par les normes, elle dépend du milieu, du revêtement, du temps pendant lequel la structure a été polarisée etc...

2.3) Eléments de contrôle

Afin de mesurer ces potentiels il est nécessaire de disposer d'électrode de référence. Une électrode de référence est une demi-pile dont le potentiel est stable dans le temps.

Industriellement et dans la terre, on utilise surtout l'électrode en cuivre/sulfate de cuivre puisque le principal critère de protection est exprimé par rapport à cette électrode.

Les électrodes de référence peuvent être soit enterrés soit portable. Le plus souvent au moins une électrode est enterrée dans le cas d'un réservoir de taille industrielle (~20 m³). Ceci permet la possibilité d'une vérification du potentiel de la structure autour de l'électrode par le personnel technique sur place. Mais une électrode portable sera pratiquement toujours employée par les techniciens de protection cathodique pour vérifier les potentiels en plusieurs points (sauf bien évidemment dans les lieux inaccessibles tel que les galeries)

Afin de mesurer les potentiels il est également nécessaire de disposer un bornier de raccordement où sont regroupés les différents câbles utilisés pour la protection cathodique (anode, structure, électrodes).

2.4) Procédure de contrôles

Le contrôle de la protection cathodique est absolument indispensable, surtout avec un système par courant imposé. Le but est de contrôler l'efficacité de la protection cathodique pendant la durée de vie de l'ouvrage. Le paramètre principal à surveiller étant le potentiel comme nous l'avons vu plus haut.

La périodicité des contrôles dépend de l'installation. Dans le cas d'une protection par courant imposé il est souhaitable que le personnel sur place effectue un contrôle mensuel même succinct. Une société spécialisée en protection cathodique doit vérifier l'installation de une fois par an à une fois tous les trois ans. Cela dépend de la taille de la cuve et des arrêtés préfectoraux ou ministériel spécifiques.

Les prestations effectuées lors d'un contrôle doivent être les suivantes (liste non limitative) :

Vérification de la continuité électrique du réservoir et observation de l'état du matériel de protection cathodique apparent installé
Mesure des tensions de part et d'autres des éventuels joints isolants
Mesures des potentiels d'anodes (systèmes sacrificiels)
relevé des tensions et intensités aux bornes du redresseur (dans le cas d'une installation par courant imposé)
Mesure des potentiels "ON" et "OFF" sur les électrodes permanentes
Mesure du débit de courant de chaque anode
Etalonnage des électrodes permanentes (anodes débranchées)
Mesure des potentiels "OFF" avec une électrode portable tous les 3 m et cartographie de la structure

3) MAINTENANCE ET SUIVI

Les contrôles réguliers permettent de déterminer les anomalies qui doivent être rapidement résolues.

En courant imposé les problèmes les plus courants viennent du redresseur. L'électronique est assez sensible aux problèmes d'interférence et de nombreux composants peuvent avoir à être changé (afficheurs, capacité...)

Le système par anode sacrificiel est moins sensible, le point le plus important concerne la durée de vie des anodes sacrificielles : au bout de quelques années il faut vérifier l'évolution des paramètres qui pourraient indiquer une limitation prématurée de la durée de vie des anodes. Un autre point important concerne les électrodes de référence. Même si théoriquement leur potentiel ne varie par elles sont néanmoins sensibles à de nombreux facteur (sécheresse ou humidité excessive, présence d'ions contaminants dans le sol etc...). Le suivi et l'étalonnage de ces électrodes sont indispensable pour confirmer la validité des lectures effectuées.

De plus en plus, pour les structures importantes, des systèmes de remplacement d'électrodes sont mis en place pour faciliter les interventions (tube PVC inséré)

4) COMPATIBILITE ENTRE LA PROTECTION CATHODIQUE ET LES MISES A LA TERRE

La base de la protection cathodique consiste à empêcher les fuites de courants vers les masses métalliques autres que la structure à protéger.

Le problème de la compatibilité de la protection cathodique et des mises à la terre a toujours été un sujet d'actualité.

4.1) Situation idéale

Auparavant il était courant d'isoler totalement les ouvrages des autres structures métalliques enfouies. Dans ce cas il était possible de protéger cathodiquement la structure par des anodes sacrificielles. De plus ces anodes présentant une faible résistance de terre, elles jouaient un excellent rôle de prise de terre et il n'était pas nécessaire d'installer de terre en cuivre supplémentaire. Une dérogation était accordée dans ce cas en considérant que les ouvrages isolés protégés cathodiquement par des anodes sacrificielles ne nécessitaient pas de mise à la terre supplémentaire.

4.2) Situation intermédiaire

Dans de nombreux cas une équipotentialité était néanmoins demandée. Une solution consistait à isoler l'ouvrage à protéger par des joints isolants, et à assurer l'équipotentialité par une mise à la terre commune. L'intérêt de cette solution consistait également à pouvoir installer une barrette de raccordement unique sur cette mise à la terre. En connectant et en déconnectant cette barrette on pouvait mesurer les courants circulant uniquement sur la structure et ceux que l'on perdait sur les masses métalliques avoisinantes.

De plus on pouvait également installer entre la structure et la terre une cellule de polarisation. Une cellule de polarisation a comme caractéristique de bloquer les courants continus jusqu'à un certain seuil et de laisser passer les courants alternatifs. Les courants de protection cathodique sont alors bloqués mais la cellule laisse passer les courants de fuites lors d'un problème de surtension. Le problème de la cellule de polarisation est sa fiabilité : elle demande d'être vérifiée régulièrement, sinon elle ne joue plus son rôle et les courants de protection cathodique servent à autre chose qu'à protéger la structure.

Ce type d'isolation partielle nécessitait quand même pour plus de précaution un système par courant imposé afin de pouvoir compenser des fuites de courants éventuelles.

4.3) Situation actuelle

Aujourd'hui pour respecter les normes en vigueur, l'équipotentialité doit être respectée pour toutes les parties métalliques.

En effet la norme NF C15-100 nous informe des points suivants :

Mises à la terre (413.1.1.2)

- Les masses doivent être reliées à des conducteurs de protection dans des conditions spécifiques à chaque schéma de liaisons à la terre.
- Des masses simultanément accessibles doivent être reliées au même système de mise à la terre individuellement, par groupes ou ensemble.

Liaisons équipotentielle (413.1.2)

- La liaison équipotentielle principale permet notamment d'éviter que, par suite d'un défaut d'origine externe au bâtiment, une différence de potentiel n'apparaisse entre des éléments conducteurs dans le bâtiment.

- La zone d'influence de la liaison équipotentielle principale comprend la surface intérieure du bâtiment uniquement lorsque la prise de terre des masses est réalisée par une boucle à fond de fouille, ou par une disposition telle que l'ossature métallique du bâtiment dont les poteaux des murs extérieurs constituent des prises de terre de fait.
- Dans chaque bâtiment, les éléments conducteurs suivants doivent être connectés à la liaison équipotentielle principale :
 - conducteur principal de protection,
 - conducteur principal de terre ou borne principale de terre
 - canalisations d'alimentation à l'intérieur du bâtiment, par exemple eau, gaz
 - éléments métalliques de la construction, canalisations de chauffage central et de conditionnement d'air, dans la mesure du possible.
- Lorsque de tels éléments conducteurs proviennent de l'extérieur du bâtiment, ils doivent être reliés aussi près que possible de leur pénétration dans le bâtiment.

Cette équipotentialité est fondamentalement incompatible avec la protection cathodique : une partie importante du courant va circuler sur les mises à la terre au lieu de servir à protéger la structure. L'appel en courant du au cuivre nu est si important qu'il va être très difficile de parvenir au critère de protection.

De plus, il devient quasiment impossible d'assurer une protection avec un système par anodes sacrificielles : le courant débité est largement insuffisant pour prendre en compte les pertes de courants. Un système par anode sacrificielle ne peut être installé que lorsque toutes les connexions externes passent pas des éclateurs, ce qui est difficile à garantir industriellement.

La seule protection possible et fiable est la protection par courant imposé.
Deux cas doivent ensuite être distingués :

4.3.1) ouvrage nouveau

Il est indispensable de surdimensionner la densité de courant requise pour protéger tout l'acier et le cuivre. Une fois le calcul établi, il faut encore s'accorder une marge importante d'erreur de manière à pouvoir pousser suffisamment de courant en cas de besoin. Tout le système est surdimensionné: anode, câble, générateur de courant.

Certaines mesures peuvent par ailleurs être prises pour éviter les fuites de courant de protection cathodique :

- Utilisation de câbles gainés pour les liaisons équipotentielles entre la terre en fouille et les connexions sur l'ouvrage.
- Réalisation des prises de terre en acier galvanisé
- Installation d'éclateurs sur les brides des tuyauteries isolées par des joints isolants
- Isolation entre la structure et les prises de terre par un film isolant du type polyanne.

4.3.2) ouvrage existant

Les quelques mesures précédentes ne peuvent pas forcément être respectées dans le cadre d'un ouvrage existant.

Dans ce cas, la seule solution consiste à prendre en compte l'ensemble des masses métallique pour redimensionner la protection cathodique. Cela a de nombreuses conséquences :
Dans le cas d'un système à courant imposé il faut changer le redresseur en augmentant le débit de courant. Mais cette augmentation du courant va diminuer la durée de vie des anodes. C'est un paramètre à prendre en compte qui va entraîner la nécessité d'un changement prématuré si les anodes n'avaient pas été surdimensionnées à l'origine.

Dans le cas d'une ancienne installation par anodes sacrificielles la solution est plus délicate : dans un premier temps la solution la plus simple consiste à « pousser » du courant sur les anodes afin de pouvoir disposer de la tension nécessaire à la protection de l'ouvrage dans son nouvel environnement. C'est la transformation du système sacrificiel en système par courant imposé. Le problème réside dans la durée de vie des anodes : en imposant un courant on diminue proportionnellement la durée de vie des anodes. Un système prévu pour durer 15 ans va tenir seulement 5 ans si on triple le courant prévu.

Le seul moyen après ce délai consiste à installer un système par courant imposé nouveau, ce qui peut poser de nombreux problèmes de mise en place.

4.4) Problème particulier lié au redresseur

L'équipotentialité pose également un problème au niveau des redresseurs : lors d'une surtension le problème ne reste pas cantonné à un endroit mais il se propage sur tout le site. Le redresseur reçoit alors des retours de courant au primaire ou au secondaire. Ces retours de courants peuvent être très dommageables pour les parties fragiles du redresseur (afficheur, carte mère...). Les redresseurs à technologie du type thyristor sont moins fragiles que les alimentations à découpage.

Dans les zones à risque, il est alors nécessaire d'équiper les redresseurs de protection parafoudre (du type varistance). Cette installation doit se faire en respectant les connexions qui sont fondamentales pour l'efficacité d'un système parafoudre.