

Cathodic protection effectiveness of pipelines in presence of intense stray currents. Measurement techniques. Remote monitoring.

The verification of cathodic protection effectiveness of pipelines in presence of intense stray currents requires the use of appropriate measurement techniques to know the potential IR_{free} . These methods are different depending on the proximity of the stray currents focus and the number of dielectric joints and rectifiers installed. Except for some very particular cases is recommended to realize OFF potential measurements in coupons.

In 1994, CEOCOR published the *“Guide des techniques de mesures en protection cathodique”*, which was the basis for the Standard *EN 13509 “Cathodic protection measurements techniques”*. These two documents plus the standard *EN 50162 “Protection against corrosion by stray current from direct current systems”* can be considered as the basis for verifying cathodic protection effectiveness in presence of stray currents.

The objective of this work is compare the different methods of measurements and show the results obtained throughout our 15 years experience doing measurements over coupons and reference electrodes installed permanently to the depth of the tube. These measurements have been carried out in gas pipelines, in a very urbanized zone and with very important influences by stray currents.

It's proposed the interest of comparing the potential IR_{free} values of permanently buried coupons near the pipeline respect to a permanent electrode reference with values of drove into ground coupons provisionally installed respect to a portable reference electrode. It also can be compared the potentials of the depth coupons with the potentials measured in permanently buried coupons near the surface, which allows easily replacement of the reference electrode, if necessary.

The cathodic protection measurements obtained periodically in situ, have the disadvantage that there aren't availability of values between measurements. Also, the fact of making measurements in situ involves a high cost. That is why in the final part it's talked about the subject of cathodic protection remote monitoring, with a method that allows realizing the same kind of measurements made in situ, obtaining daily information which can be extended when it's necessary.

Efficacité de la protection cathodique des pipelines en présence de courants vagabonds intenses. Techniques de mesure. Télésurveillance

La vérification de l'efficacité de la protection cathodique en présence de courants vagabonds intenses exige l'utilisation de techniques de mesure appropriées pour connaître le potentiel IR_{free} . Ces méthodes sont différentes en fonction de la proximité à la source des courants vagabonds et du nombre de joints isolants et de redresseurs installés. Sauf pour des cas assez particuliers, les mesures OFF sur des coupons sont recommandées.

En 1994 le CEOCOR a publié le « *Guide des techniques de mesures en protection cathodique* », qui a été la base pour la Norme *EN 13509 « Techniques de mesures applicables en protection cathodique »*. Ces deux documents, plus la Norme *EN 50162 « Protection contre la corrosion due aux courants vagabonds des systèmes à courant continu »* peuvent se considérer comme la base pour vérifier l'efficacité de la protection cathodique en présence de courants vagabonds

Ce travail compare les différentes méthodes et montre notre expérience de 15 ans en faisant des mesures sur des coupons et électrodes de référence installés en permanence à la profondeur du pipe. Ces mesures ont été réalisées sur des pipelines à gaz installés en une zone très urbanisée et avec des influences très importantes dues aux courants vagabonds.

On propose l'intérêt de comparer les valeurs de potentiel IR_{free} mesurées sur des coupons enterrés en permanence près du pipe et d'une électrode de référence permanente, avec des mesures réalisées sur des coupons plantés en surface de mode non permanent, avec une électrode de référence portable. On pourrait aussi comparer les potentiels des coupons profonds avec les potentiels mesurés sur des coupons enterrés en permanence près de la surface du sol, ce qui permet de changer facilement l'électrode de référence.

Les mesures de protection cathodique qu'on réalise périodiquement sur les réseaux, on l'inconvénient de l'existence logique de certaines périodes de temps, qui peuvent être importantes, sans information du système et de représenter des coûts importants. Pour cela, finalement on aborde le sujet de la télésurveillance de la protection cathodique avec une méthode qui permet de réaliser le même type de mesures qu'on fait sur le terrain et obtenir information journalière automatique, avec la possibilité de réaliser une analyse plus approfondie quand c'est nécessaire sans se déplacer.

***EFFICACITE DE LA PROTECTION CATHODIQUE DES PIPELINES EN
PRESENCE DE COURANTS VAGABONDS INTENSES. TECHNIQUES DE
MESURE. TELESURVEILLANCE***

Adrià Gomila Vinent

GULDAGER ELECTRÓLISIS
c/ Legalitat, 13 – 08024 – Barcelona – SPAIN

www.guldager.es

1. INTRODUCTION

La protection cathodique évite la corrosion des pipelines enterrés, à condition de respecter le critère de protection à tous les défauts du revêtement. La vérification du critère exige la réalisation de mesures de potentiel IR_{free} , ce qui peut être difficile en présence de courants vagabonds intenses.

En 1994 le CEOCOR a publié le « *Guide des techniques de mesures en protection cathodique* », qui a été la base pour la Norme *EN 13509 « Techniques de mesures applicables en protection cathodique »*. Ces deux documents, plus la Norme *EN 50162 « Protection contre la corrosion due aux courants vagabonds des systèmes à courant continu »* peuvent se considérer comme la base pour vérifier l'efficacité de la protection cathodique en présence de courants vagabonds

2. CRITÈRE DE PROTECTION CATHODIQUE

Le Tableau 1 de la Norme EN 12954 nous fixe les potentiels IR_{free} qui nous assurent une vitesse de corrosion inférieure à 10 microns par an, ce qui se vérifie aux points où le potentiel mesuré est plus négatif de la valeur indiquée en chaque cas.

UNE EN 12954

Metal or metal alloy	Medium		Free corrosion potential: E_n (without cell formation) Indicative value V	Protection potential: E_P V
Non alloy and low alloy Fe materials with yield strength $\leq 800 \text{ N mm}^{-2}$	Water and soil aerobic conditions	Normal condition $T < 40^\circ \text{ C}$	-0,65 to -0,40	-0,85 ^a
		$T > 60^\circ \text{ C}$	-0,80 to -0,50	-0,95 ^a
		Aerated Sandy soil $100 < \rho < 1000 \Omega\text{m}$	-0,50 to -0,30	-0,75
		Aerated sandy soil $\rho > 1000 \Omega\text{m}$	-0,40 to -0,20	-0,65
	Water and soil anaerobic conditions		-0,80 to -0,65	-0,95

All potentials are IR_{free} and refer to a copper/saturated copper sulfate reference electrode, $E_{Cu} = E_H - 0,32 \text{ V}$.

Le Guide du CEOCOR justifie, pour l'acier, cette relation entre la vitesse de corrosion et le potentiel, ce qui se montre a la Fig 1.

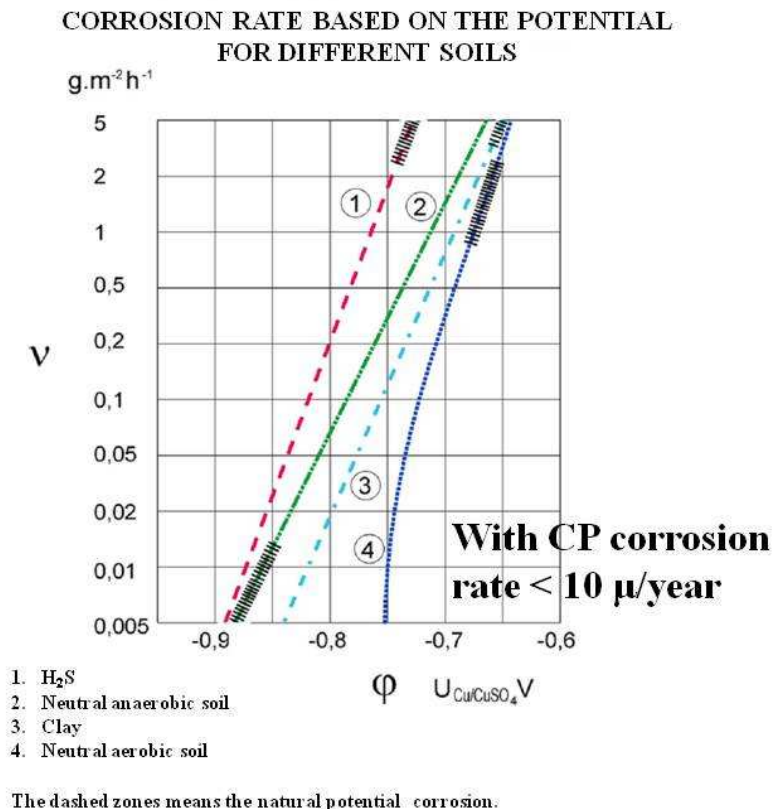


Figure 1

En présence de courants vagabonds, la Norme EN 50162 nous indique que le potentiel doit respecter, en tout moment, les critères du Tableau 1 de la Norme EN 12954.

3. TECHNIQUES DE MESURE EN PRESENCE DE COURANTS VAGABONDS

Le Tableau 1 de la Norme EN 13509 indique les techniques qu'on peut utiliser en chaque cas pour mesurer le potentiel IR_{free} , et pouvoir ainsi savoir que la vitesse de corrosion en ce point est inférieure a 10 microns par an.

**Currents causing IR drops between the structure and the reference electrode
and measurement techniques**

Type of current	Possible measurement techniques, e.g.
Currents specific to the system	
Protective current	Off potential measurement External potential test probe
Equalising current	Intensive measurement technique External potential test probe
Cell current (remote foreign electrodes)	Intensive measurement technique External potential test probes
Currents from remote foreign sources	
Not fluctuating with time, e.g. protective currents, equalising or cell currents	Intensive measurement technique External potential test probes
Fluctuating with time, e.g. from d.c. traction systems, d.c. industrial plants, telluric current	Special off potential measurement Intensive measurement technique External potential test probes
Currents from nearby foreign sources	
Not fluctuating with time, e.g. protective currents, equalising or cell currents	External potential test probes
Fluctuating with time, e.g. from d.c. traction systems or d.c. industrial plants	Special off potential measurements External potential test probes

Table of the Norm UNE-EN 13509

Nous voyons que, en présence de courants vagabonds qui fluctuant avec le temps, nous ne pouvons utiliser que trois techniques différentes.

- Mesures de potentiel spéciales (méthode italienne)
- Technique des mesures intensives (méthode allemande)
- Mesures sur des coupons.

Quand les courants vagabonds ont la source près du pipe, le tableau nous indique que nous ne pouvons pas utiliser le système des mesures intensives.

3.1 Mesures intensives

Cette méthode, avec l'utilisation de deux électrodes de référence, est analysée au point 4.4.2.3 et à l'Annexe D de la Norme EN 13509, et ne peut s'utiliser si la source des courants vagabonds est située près du pipe. Voir Fig 2.

C'est une méthode développée en Allemagne et qui ne s'utilise, à notre connaissance, que dans des zones peu urbanisées et sans la présence de courants vagabonds. Il faut remarquer qu'en Allemagne les chemins de fer sont alimentés en courant alternatif, et ils utilisent le système pour éviter les erreurs causées par les courants de compensation.

DETERMINATION OF IR FREE POTENTIAL

INTENSIVE MEASUREMENTS AND TRANSVERSAL GRADIENT (2 ELECTRODES)

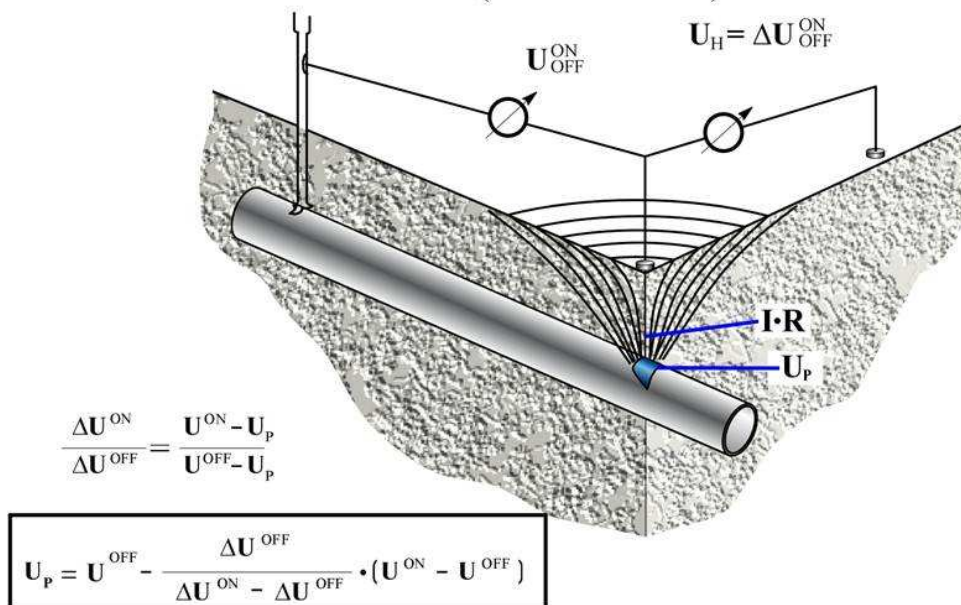


Figure 2

Le Guide du CEOCOR propose une méthode similaire, avec l'utilisation de trois électrodes de référence, qui pourrait s'utiliser pour calculer le potentiel IR_{free}, quand le pipe est situé près de la source des courants vagabonds. Voir Fig 3

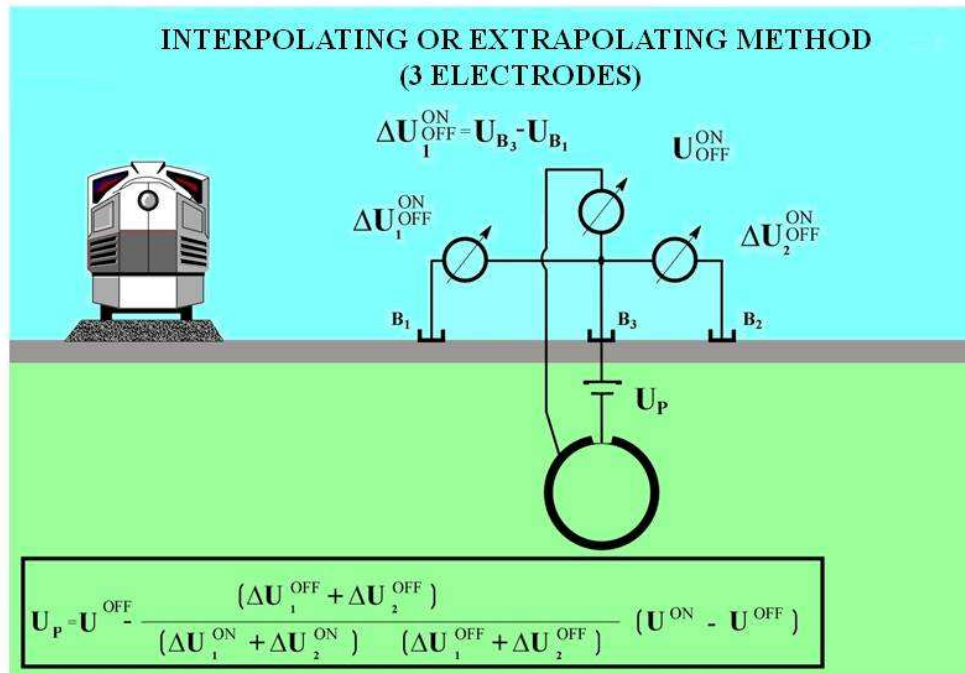


Figure 3

En pratique, la complexité de la méthode, la difficulté de trainer des longs câbles en zones urbanisées et la proximité des pipelines aux sources des courants vagabonds nous a impossibilité l'utilisation de la méthode.

3.2 Mesures de potentiel spéciales

Cette méthode s'utilise seulement en Italie, et apparaît au point 4.4.2.2 et à l'Annexe E de la Norme EN 13509.

Le principe est de voir, avec des enregistrements du potentiel ON de 24 heures, les périodes où l'influence des courants vagabonds est négligeable, normalement pendant la nuit. Voir Fig 4

24 h ON Potential data logging

Important potential variations during the day and little activity in the night hours

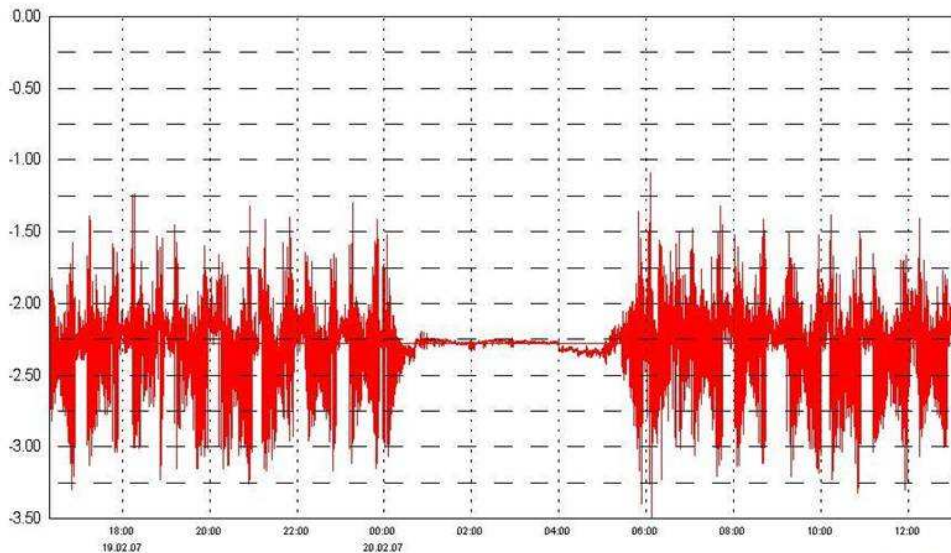
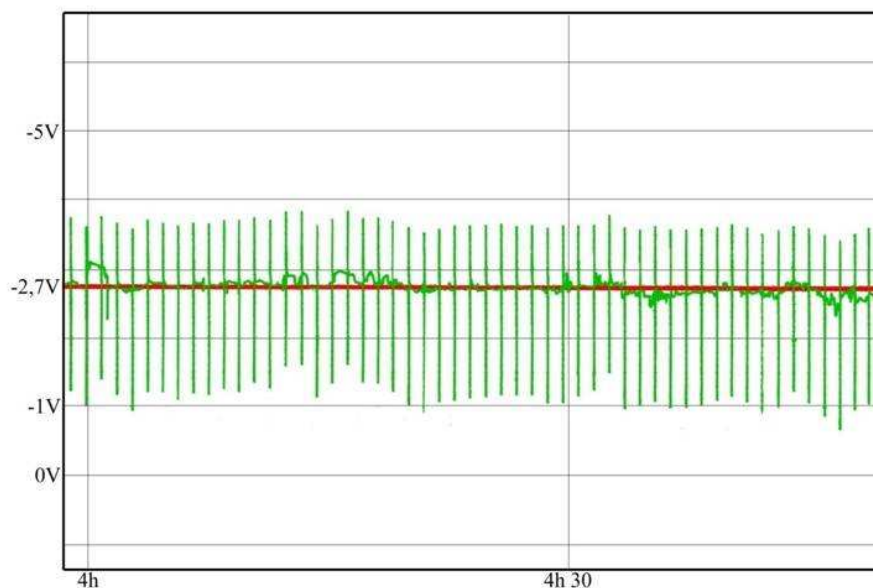


Figure 4

Pendant ces périodes où les courants vagabonds peuvent se considérer inexistants, on fait des mesures ON OFF a différents points du pipe, avec des interrupteurs synchronisés installés aux redresseurs qui affectent cette partie du pipe. De cette façon on connaît le potentiel ON et le potentiel OFF du pipe sans courants vagabonds, ce qui nous donne la valeur IR causée par le courant de la protection cathodique en absence de courants vagabonds. Voir Fig 5

ITALIAN METHOD (1)



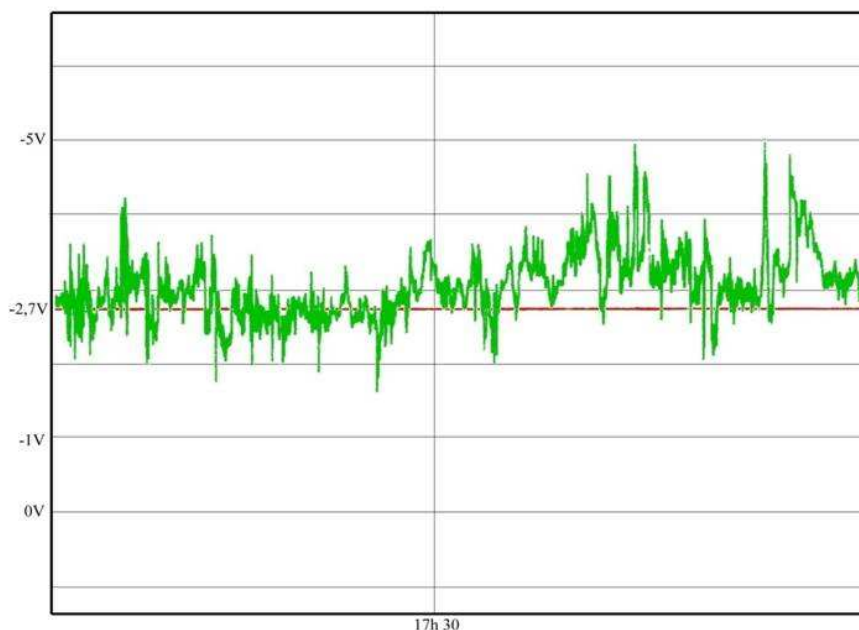
Night potentials OFF = -0,9 V ON = -2,7 V

Figure 5

Le système se complète avec le critère suivant: Si pendant les heures sans courants vagabonds, on a un potentiel OFF correcte, par exemple -0,9 V envers l'électrode de Cu/CuSO₄, et le potentiel ON est par exemple de l'ordre de - 2,7 V, la valeur IR cause par la protection cathodique est de 1,8 V.

Le pipe est bien protégé, si le potentiel ON est toujours plus négative de -2,7 V, même en présence de courants vagabonds. Voir Fig 6

ITALIAN METHOD (2)



Day ON Potentials –The potential should be more negative than -2,7 V

Figure 6

Notre expérience en Espagne nous indique l'impossibilité, pour nous, d'utiliser la technique. A la Fig 6 on voit que pendant la journée, le potentiel ON est fréquemment plus positif de -2,7 V, ce qui voudrait dire, d'après la méthode des mesures de potentiel spéciales, un manque de protection cathodique. En réalité on savait grâce aux coupons installés qu'on décrit au point suivant, que la protection cathodique était suffisante.

En effet nous pensons que en Italie ils peuvent utiliser la méthode dans certains cas, a cause du grand nombre de joints isolants et de redresseurs installés, ce qui fait que, malgré l'importance des courants vagabonds, beaucoup de parties ont peu d'influences. A la Fig 7 on peut voir un type d'installation de deux redresseurs installés de chaque côté d'un joint isolant qui possiblement permettrait d'utiliser cette méthode, si les joints isolants sont assez proches.

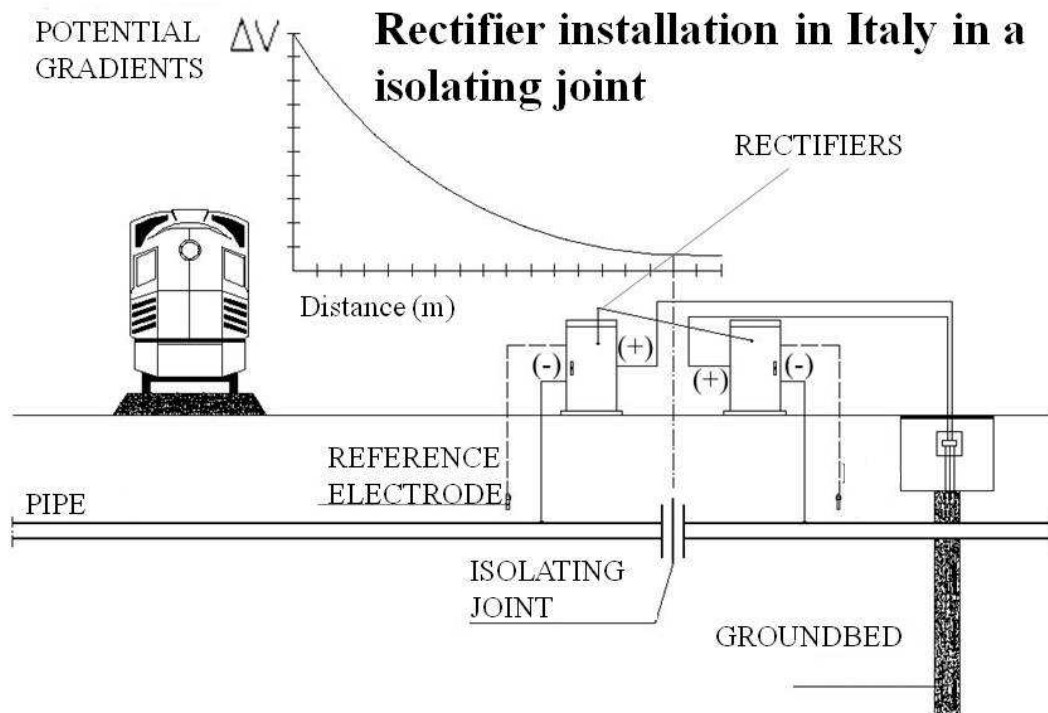


Figure 7

En tout cas nous pensons qu'il serait intéressant, quand ils utilisent cette méthode, de vérifier les valeurs avec l'installation de coupons a certains endroits, technique qui se décrit au point suivant.

A la Fig 19 du point 7 on peut voir la différence entre le potentiel OFF du pipe, mesuré en ouvrant l'interrupteur du redresseur, et le potentiel du coupon mesuré en ouvrant de mode synchronisé les interrupteurs du redresseur et du coupon. Cela est possible et facile de réaliser par le type de télésurveillance de la protection cathodique utilisé.

3.3 Mesures sur des coupons

Cette méthode apparaît au point 4.4.2.4 de la Norme EN 13509, et permet de mesurer le potentiel IR_{free} d'un coupon enterré près d'une électrode de référence, qui peut se considérer comme l'acier nu du pipe, situé à un défaut du revêtement. Voir Fig 8

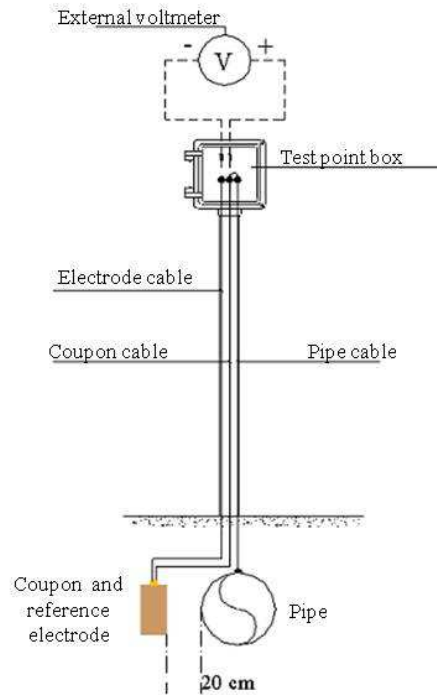


Figure 8

En utilisant un interrupteur situé entre le pipe et le coupon, on peut faire des mesures du potentiel ON OFF du coupon sans interrompre le courant du redresseur. Cela permet d'éviter les erreurs de lecture causées par les courants de compensation et par les courants vagabonds. En effet la petite surface du coupon évite les courants de compensation, et l'ouverture de l'interrupteur qui le relie au pipe interromps aussi les courants vagabonds, qui ne peuvent pas entrer ou sortir du coupon pendant la période OFF. La petite distance entre le coupon et l'électrode de référence minimise les gradients sur le terrain entre les deux, ce qui permet que la mesure du potentiel OFF du coupon soit très près du potentiel vrai du coupon. A la Fig 9, on voit les branchements qui permettent les mesures ON OFF et avec l'installation d'un shunt les mesures du courant qui rentre ou sort du coupon pendant les périodes ON.

ON OFF Potentials during the night

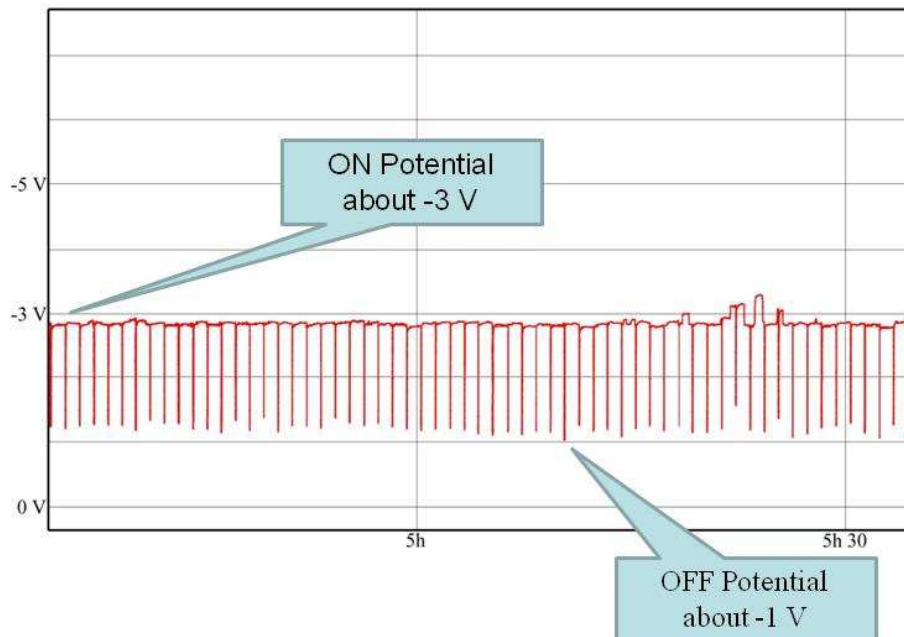


Figure 10

4. QUELQUES MESURES SUR DES COUPONS

Notre expérience de plus de 15 ans en réalisant des mesures sur des coupons, nous fait penser que c'est une technique excellente en présence de courants vagabonds intenses. La plupart des mesures ont été réalisées chez nous avec des coupons enterrés près du pipe et installés ensemble avec une électrode de référence permanente, comme on voit à la Fig 9.

La surface du coupon à utiliser dépend de la taille des défauts qu'on croit avoir, et notre coupon doit avoir une surface supérieure à celle des défauts du revêtement. Si notre système de protection cathodique est capable de protéger un coupon, il doit aussi protéger des défauts du revêtement plus petits situés près du coupon, dans le même type de sol.

A la Fig 11 on voit un enregistrement des potentiels ON et OFF et du courant qui rentre dans un coupon. La période ON est de 59 seconds et la période OFF est de 1second, et le data logger mesure tous les 0,5 seconds. Les potentiels ON varient entre -1,2 V et -2,5 V mesurés avec une électrode de Cu/Cu SO₄. Avec ces valeurs ON on pourrait penser en principe que la protection cathodique était suffisante, tandis que le potentiel OFF du coupon est de -0,65 V, ce qui indique clairement un manque de protection cathodique. Pendant les périodes ON, on voit que le courant qui rentre du sol au coupon varie entre 1 et presque 5 mA.

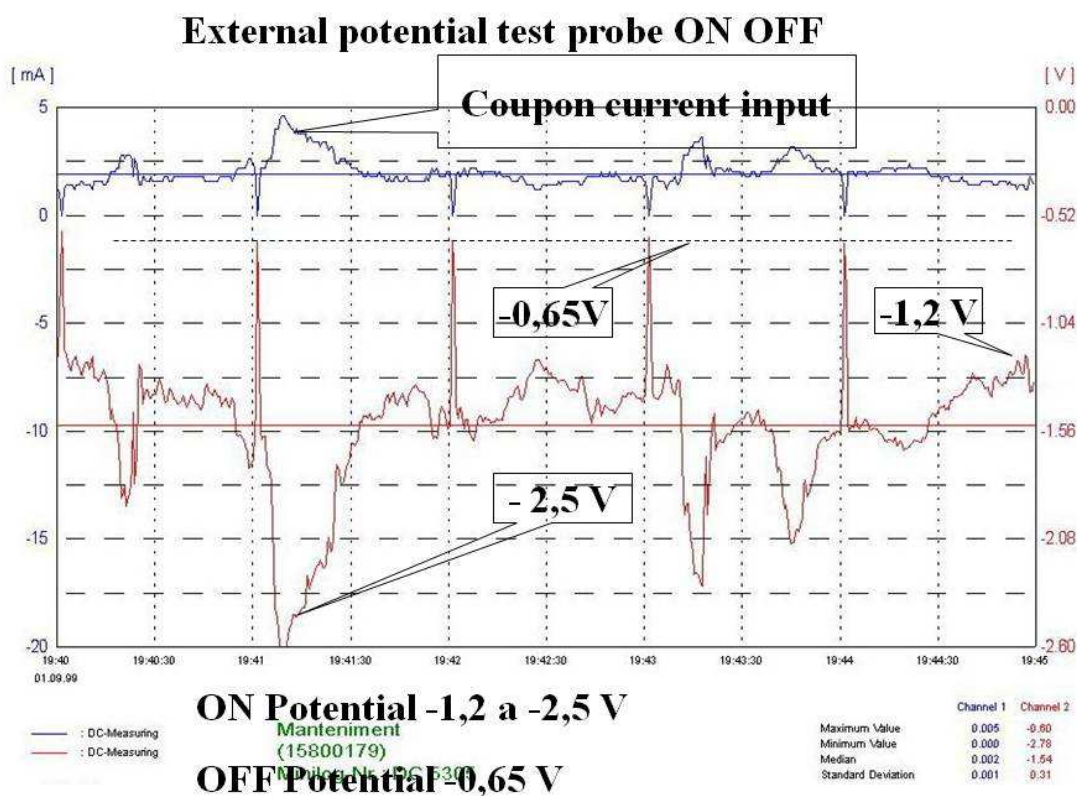


Figure 11

A la Fig 12, par contre, le coupon est très bien protégé, puisque pour des potentiels ON de -3 V a -8 V, le potentiel OFF est de -1,2 V .A cet enregistrement on n'a pas représenté les valeurs du courant.

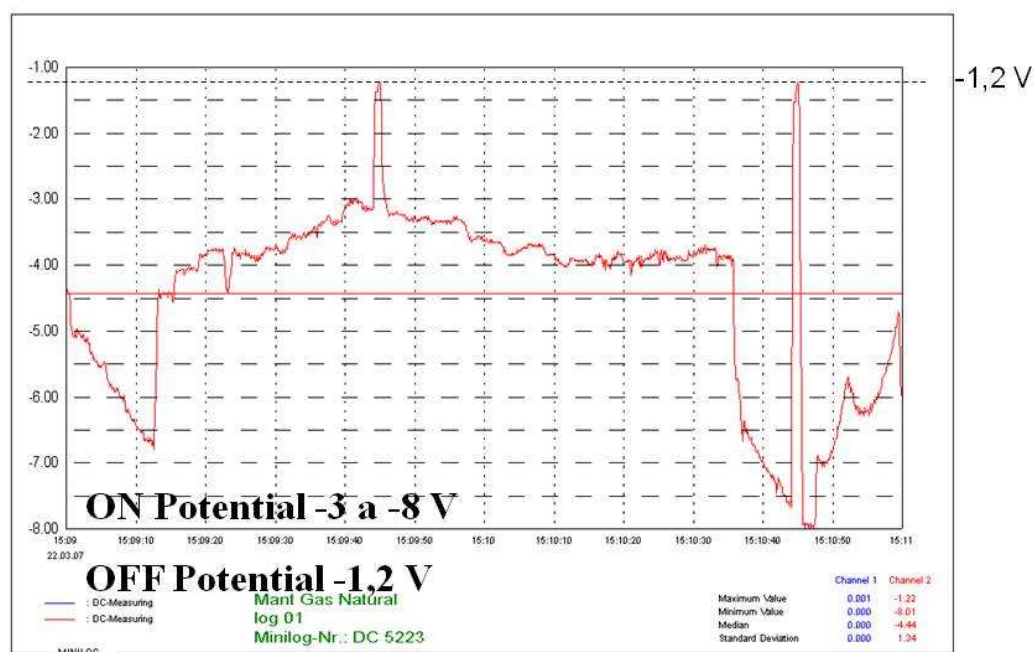


Figure 12

5. POTENTIEL ON POSITIF ET COUPON PROTEGÉ

On a pu constater que dans certains cas on peut avoir des potentiels ON positifs, des sorties de courant du coupon vers le sol, et pendant une certaine période de temps le coupon est protégé cathodiquement ; il conserve une polarisation correcte, avec des potentiels OFF du coupon qui sont plus négatifs que le potentiel de protection. A la Fig 13 on voit une période de mesures de 10 minutes, qu'on peut voir avec détail a la Fig 14

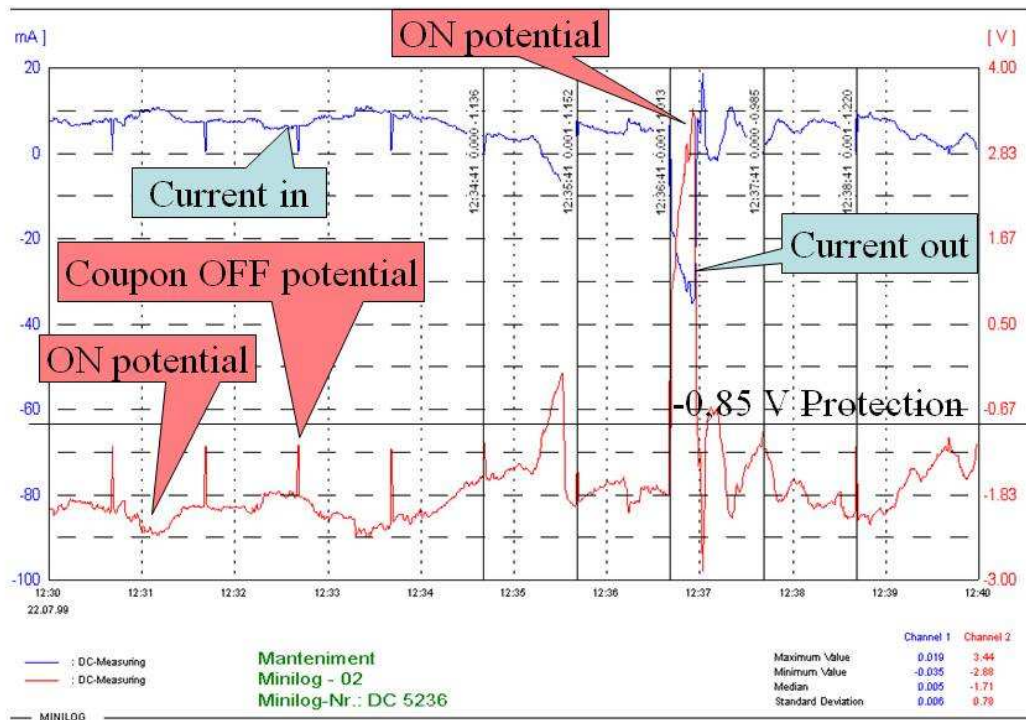


Figure 13

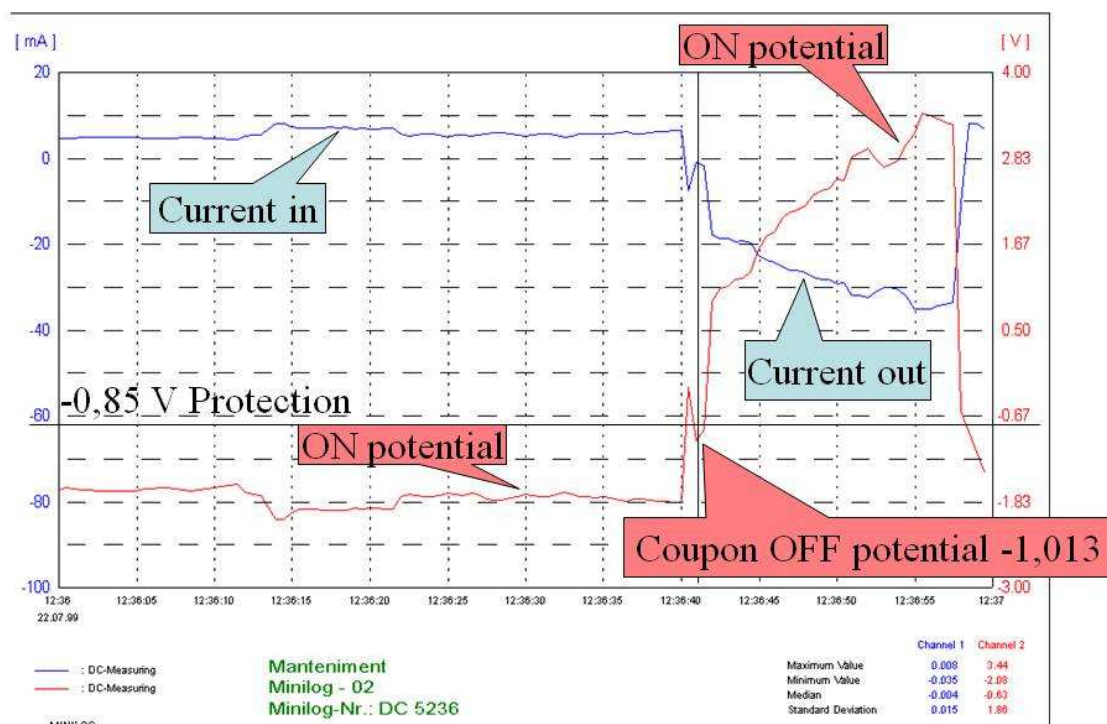


Figure 14

6. COUPONS ENTERRÉS EN PERMANENCE OU NON, EN PROFONDEUR OU PRÈS DE LA SURFACE.

Les coupons enterrés en permanence près du pipe, associés à une électrode de référence permanente que nous utilisons normalement, nous permettent un niveau important de confiance sur la validité du système mais présentent certains inconvénients.

Un des problèmes est la fiabilité au bout d'un certain temps de l'électrode de référence, ainsi que les difficultés pour vérifier régulièrement le potentiel de l'électrode enterrée. En tout cas il faut dire que dernièrement on a vu la présentation d'un système qui semble pourrait résoudre ce dernier point.

De toutes façons il existe la possibilité d'installer le coupon, avec un tube qui permet de vérifier ou substituer l'électrode de référence. Voir Fig 15

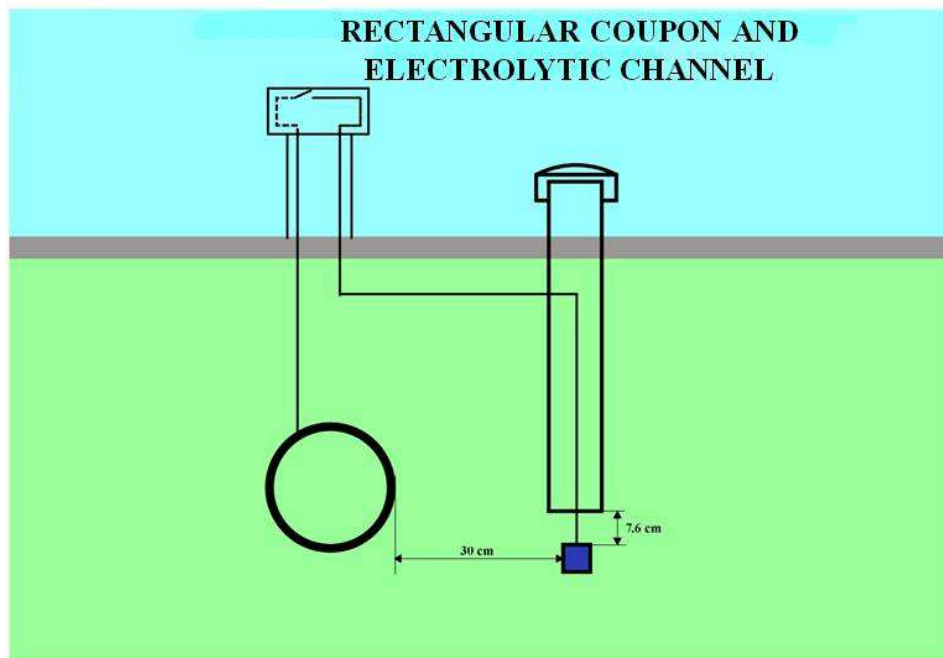


Figure 15

On peut aussi installer le coupon plus près de la surface, ce qui peut varier les conditions du sol qui entoure le pipe et le coupon, mais simplifie le système qui devient plus économique Voir Fig 16

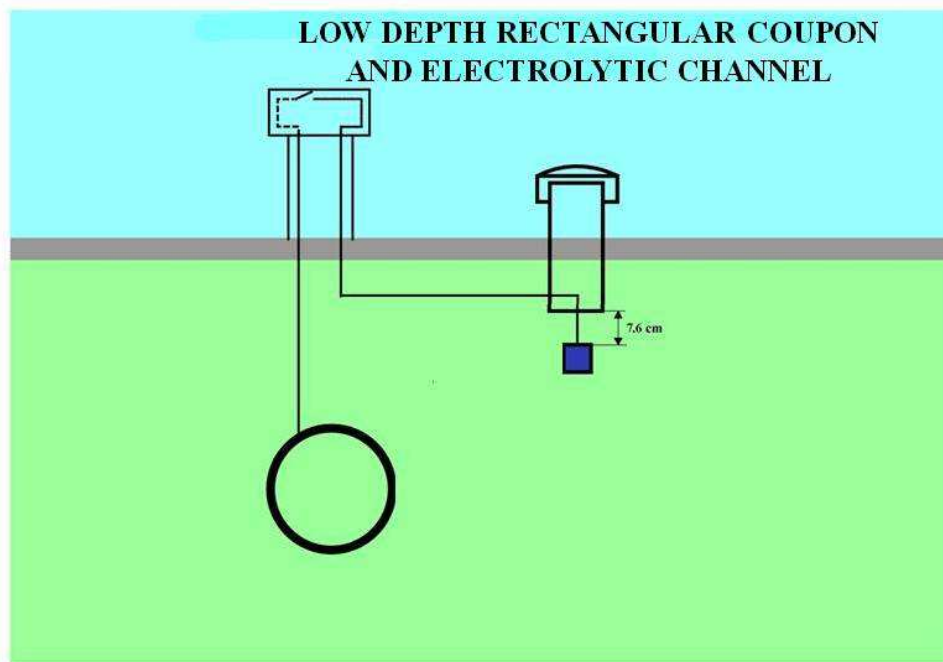
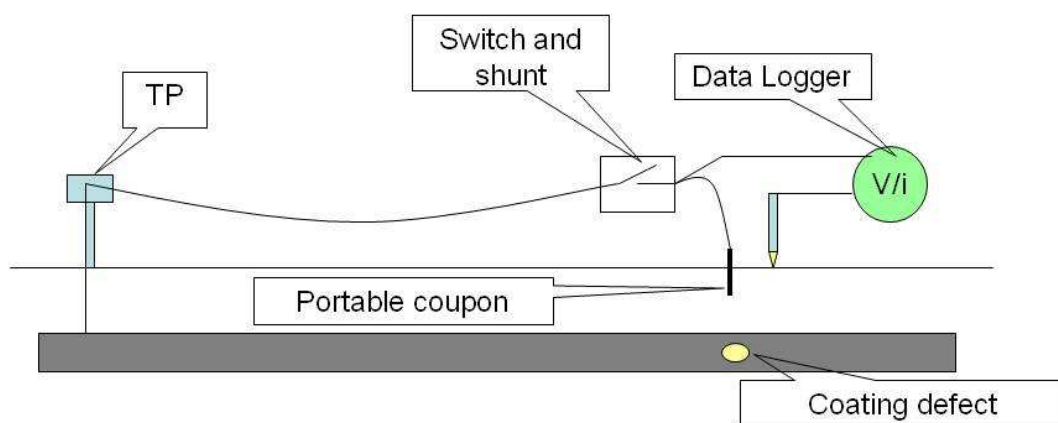


Figure 16

Finalement on peut aussi faire des mesures en surface avec un coupon sous forme de piquet qu'on installe provisoirement pour faire les mesures avec une électrode de référence portable. Voir Fig 17

ON OFF Measurements based on portable coupons



After a coating defect research, ON OFF potential and current measurements can be done using a portable probe

Figure 17

Nous n'avons pas assez d'expérience en ces différentes méthodes et nous pensons qu'il serait intéressant si différentes compagnies peuvent collaborer sur ce point, par exemple sous la forme d'un Groupe de Travail du CEOCOR

Nous pensons qu'il s'agit de comparer des mesures du potentiel OFF réalisées sur :

- des coupons enterrés en permanence à la profondeur du tube avec une électrode de référence permanente installée aussi en profondeur et difficile de contrôler. Voir Fig 8
- des coupons enterrés en permanence près de la surface du sol avec une électrode de référence, située près du coupon à l'aide d'un tube en plastique, qu'on peut contrôler facilement Voir Fig 16
- des coupons plantés à la surface du sol de mode provisoire avec une électrode de référence portable Voir Fig 17

Ces mesures devraient se réaliser aux mêmes endroits et préférentiellement de mode synchronisé.

7. TELESURVEILLANCE DE LA PROTECTION CATHODIQUE.

Un système correct de télésurveillance de la protection cathodique, présente d'après notre avis des avantages importants que nous pouvons résumer ici :

- Information journalière qui permet découvrir rapidement les possibles problèmes du système de protection cathodique, tant les jours de travail comme les jours fériés, le jour ou la nuit.
- Information journalière à distance de l'efficacité du fonctionnement de la protection cathodique
- Possibilité de faire à distance une étude supplémentaire devant l'apparition de certaines alarmes
- Réduction des coûts nécessaires pour surveiller de façon suffisante la protection cathodique avec des déplacements sur le terrain

Avec plus de détail, et avec le système de contrôler la protection cathodique à l'aide de coupons, nous précisons les points suivants du système de télésurveillance :

- Il doit contrôler journalièrement les redresseurs et les drainages, en déclenchant des alarmes si c'est nécessaire
- Il doit pouvoir mesurer de façon automatique, plusieurs fois par jour, la tension alternative et le potentiel ON et OFF des coupons sélectionnés, ainsi que le courant, et envoyer cette information, en déclenchant des alarmes si les valeurs ne sont pas celles qu'on a prévu.
- On ne doit pas analyser les données des redresseurs, des drainages et des points de mesure, sauf si on veut le faire à cause de l'apparition d'alarmes.
- Le système doit pouvoir synchroniser automatiquement tous les interrupteurs des redresseurs et des coupons
- Si des alarmes apparaissent, on doit pouvoir faire de façon efficace et rapide une étude approfondie de la situation pour éviter normalement des déplacements sur le terrain

- A volonté on doit pouvoir faire des enregistrements de longue durée des paramètres principaux.

La synchronisation est pour nous très importante pour les raisons suivantes :

- La synchronisation à distance, des interrupteurs des différents redresseurs qui affectent une partie du réseau, nous permet de faire des mesures ON OFF sur le pipe pendant la journée en absence de courants vagabonds ou pendant la nuit si c'est nécessaire. Sans cette synchronisation on serait obligé à faire des déplacements sur le terrain.
- La synchronisation des mesures sur différents points et coupons, nous permet de voir l'effet simultané de la protection cathodique ou des courants vagabonds a différents points et cela a niveau de mesures ON ou OFF
- La synchronisation des interrupteurs des redresseurs et des coupons, nous permet de voir les différences entre le potentiel OFF du pipe mesuré en ouvrant l'interrupteur du redresseur et en ouvrant en même temps aussi l'interrupteur du coupon. Voir Fig 19
- La synchronisation nous permet de faire à distance des études approfondis devant de l'apparition d'incidences.
- Possibilité de synchroniser les mesures sur des coupons plus ou moins profonds, enterrés en permanence ou provisoires.
- Possibilité de synchroniser le redresseur de l'installation de protection cathodique de tiers avec nos mesures, pour détecter des influences.

Après quelques essais, nous avons trouvé toutes ces conditions avec le système MiniTrans de Weilekes. Voir Fig 18



Figure 18

A la Fig 19 on peut voir un point de mesure ou la protection cathodique était correcte pendant la semaine et insuffisante le weekend. Cela était à cause des courants vagabonds et très difficile à découvrir sans télésurveillance, puisque normalement on ne fait pas des mesures sur le terrain le weekend.

Insufficient OFF potential in coupon during the weekend



Figure 19

On peut apprécier a la Fig 20 trois enregistrements réalisés au même point avec la télésurveillance. Le système faisait trois mesures par jour, deux pendant le jour et une pendant la nuit.

La ligne inférieure, de couleur bleu, nous indique le potentiel ON, et a des valeurs compris entre -2,4 et -3,1 V.

La ligne située au milieu, de couleur rouge, donne les mesures de potentiel réalisées avec l'interrupteur du redresseur ouvert en position OFF et l'interrupteur du coupon fermé en position ON et les valeurs sont compris entre -1,25 et -2,1V. C'est pourtant ce qu'on appelle des potentiels OFF classiques et nous lisons le potentiel mixte du coupon, relié au pipe et des défauts du revêtement situés a une certaine proximité. Evidemment nous avons l'erreur due aux courants de compensation, et a certaines heures a cause des courants vagabonds.

La ligne supérieure, de couleur brun, est obtenue après la synchronisation des interrupteurs du redresseur et du coupon, et pourtant c'es le plus proche du potentiel IR_{free} et nous donne des valeurs compris entre -1 et -1,2 V. On peut apprécier, que même à la lecture réalisée pendant la nuit, avec des courants vagabonds négligeables, on a une importante différence entre les deux lignes supérieures.

OFF potential on pipe and OFF potential on coupon

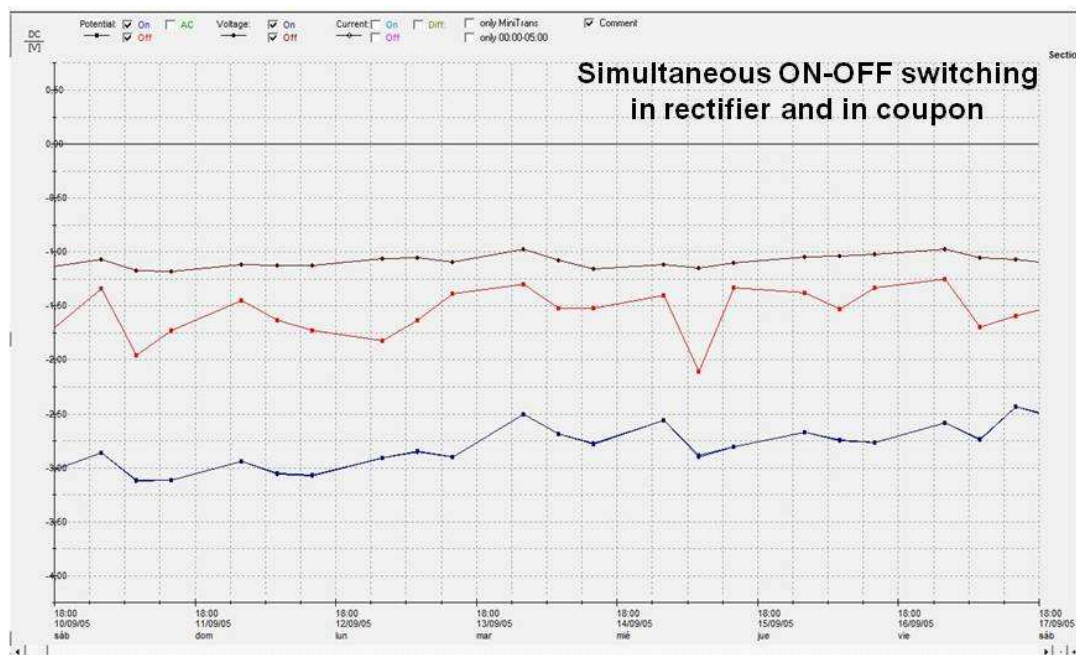


Figure 20

8. CONCLUSIONS

En zones soumises à des courants vagabonds intenses, la méthode que mieux nous a permis de vérifier l'efficacité de la protection cathodique est l'installation de coupons et des électrodes de référence enterrés en permanence près du pipe à des endroits sélectionnés.

Les mesures du potentiel OFF du coupon, réalisées en ouvrant l'interrupteur situé entre le pipe et le coupon, nous donnent une information très bonne du potentiel IR free du coupon.

Nous croyons qu'il faut compléter cette information par des mesures ON OFF réalisées directement sur le pipe pendant la nuit, quand les courants vagabonds sont négligeables. Ces mesures se font avec les interrupteurs situés aux redresseurs qui affectent la partie du pipe étudiée, qui doivent être synchronisés.

Il serait intéressant de comparer des mesures de potentiel OFF réalisées sur des coupons installés à différentes profondeurs dans le sol et de mode permanent ou non.

Nous avons adopté le système de télésurveillance MiniTrans de Weilekes qui est celui qui s'adapte mieux à nos conditions de travail.

La télésurveillance adoptée, équipée de synchronisation, nous permet des études très intéressantes qui peuvent se faire en grande partie sans aller sur le terrain.