

RECOMMANDATION PCRA 011

Juin 2016 – Rev. 0



Commission Protection Cathodique et Revêtements Associés

Méthodes de mesures électriques pouvant être effectuées sur les ouvrages dans le domaine de la protection cathodique en complément des standards existants

AVERTISSEMENT : La présente recommandation a été établie par consensus par les membres de la commission Protection Cathodique et Revêtements Associés du CEFACOR. Elle représente l'avis général de la profession et peut donc être à ce titre utilisée comme une base reflétant au mieux l'état de l'art au moment de sa publication. Elle ne saurait néanmoins engager de quelque façon que ce soit le CEFACOR et les membres de la Commission d'étude qui l'ont établie.

1 Objet

Ce document décrit les différentes méthodes de mesures électriques qui peuvent être effectuées sur les ouvrages dans le domaine de la protection cathodique en complément des standards existants.

2 Domaine d'application

Les méthodes de mesure et de contrôle décrites dans ce document sont applicables sur toutes les structures métalliques à terre, qu'elles soient enterrées ou immergées.

3 Sommaire

6.1	Généralités	5
6.2	Éléments perturbateurs R et I.....	5
6.2.1	Résistance R	5
6.2.2	Courant I.....	6
6.2.2.1	- Courants propres à la canalisation	6
6.2.2.2	- Courants extérieurs à la canalisation transitant ou non dans l'ouvrage	6
6.3	Résistance interne des appareils de mesure	7
7.1	Mesure « ON » avec Électrode de référence posée au sol.....	8
7.1.1	Description de la méthode / Schéma de principe	8
7.1.2	Intérêts de la méthode	8
7.1.3	Limites de la méthode.....	8
7.2	Mesure « ON » avec Électrode de référence enterrée	9
7.2.1	Description de la méthode / Schéma de principe	9
7.2.2	Intérêts de la méthode	9
7.2.3	Limites de la méthode.....	9
8.1	Description de la méthode / Schéma de principe	10
8.2	Intérêts de la méthode.....	10
8.3	Limites de la méthode	11
9.1	Introduction.....	12
9.2	Conditions d'utilisation.....	12
9.2.1	Mise en place.....	12
9.2.2	Représentativité du témoin	12
9.2.3	Préconisations d'emploi des témoins	13
9.3	Mesures de courant sur témoin métallique (TM).....	14
9.3.1	Description de la méthode / Schéma de principe	14
9.3.2	Influence du mode opératoire	14
9.3.3	Intérêts de la méthode	14
9.3.4	Limites de la méthode.....	14
9.3.5	Applications de cette méthode.....	15
9.4	Positionnement de l'Électrode de référence pour la mesure de potentiel sur un témoin	15
9.5	Mesures de potentiel E_{ON} sur témoin	15
9.5.1	Description de la méthode	15
9.5.2	Influence du mode opératoire	15
9.5.3	Intérêts de la méthode	15
9.5.4	Limites de la méthode.....	15
9.6	Mesures de potentiel ON/OFF sur témoin avec synchro rupteur(s) sur soutirage(s)	15
9.6.1	Description de la méthode / Schéma de principe	16
9.6.2	Intérêts de la méthode	16
9.6.3	Limites de la méthode.....	16
9.7	Mesures E_{OFF} sur témoin (a courant coupé sur liaison conduite témoin).....	17
9.7.1	Description de la méthode / Schéma de principe	17
9.7.2	Influence du mode opératoire	18
9.7.2.1	La mesure sur témoin permanent	18
9.7.2.2	La mesure sur témoin temporaire	18

9.7.2.3	La mesure sur témoin déporté	18
9.7.2.4	Utilisation de cette méthode pour évaluer l'efficacité de la protection cathodique au droit d'un défaut de revêtement (localisé lors d'une mesure électrique de surface).....	18
9.7.2.5	Délai d'acquisition du potentiel OFF après la coupure	19
9.7.3	Intérêts de la méthode	19
9.7.4	Limites de la méthode.....	19
9.8	Mesures sur témoins encapsulés dans un Électrolyte spécifique	20
9.9	Mesure de potentiel par compensation de la chute ohmique sur un témoin	20
10.1	Description de la méthode / Schéma de principe	21
10.1.1	Le contrôle du niveau de protection cathodique sur le tracé de l'ouvrage	21
10.1.2	La détection des zones d'anomalies de potentiel	21
10.1.3	La détection des défauts de revêtement.....	22
10.2	Intérêts de la méthode	22
10.3	Limites de la méthode	22
11.1	Principe.....	23
11.2	Repérage des défauts de revêtement	24
11.3	Calcul du potentiel sans chute de tension RI	24
12.1	technique d'atténuation de signaux	25
12.1.1	Description de la méthode / Schéma de principe	25
12.1.2	Intérêts de la méthode	25
12.1.3	Limites de la méthode.....	25
12.2	technique Pearson.....	26
Description de la méthode / Schéma de principe	26	
12.2.1	Intérêts de la méthode	27
12.2.2	Limites de la méthode.....	27
12.3	Méthode de recherche de défauts de revêtement par la technique des gradients de potentiels continus (DCVG).....	28
12.3.1	Description de la méthode / Schéma de principe	28
12.3.2	Intérêts de la méthode	29
12.3.4	Évaluation du défaut	29
12.3.4.1	Principe d'évaluation par le %IR (ou %RI)	29
12.3.4.2	Évaluation du défaut par comparaison des gradients	30
13.1	Description de la méthode	32
13.2	Intérêts et limites de la méthode.....	32
14.1	barre magnétomètre	32
14.1.1	Description de la méthode / Schéma de principe	32
14.1.2	Méthode d'analyse statique	33
14.1.3	Méthode d'analyse dynamique	33
14.1.4	Intérêts de la méthode	33
14.1.5	Limites de la méthode.....	33
14.2	Clamp de mesure ou pince ampéremétriques.....	33
15.1	INTRODUCTION	34
15.2	Mesure de la résistance d'isolement par variation de l'intensité	34
15.2.1	Principe de la mesure	34
15.2.2	Valeurs retenues pour la validation de la mesure.....	35
15.2.3	Procédure des mesures/ Schéma de principe	35
15.3	Limites de la méthode	36

4 Documents / Références associés

Référence	Titre ou Sujet
PCRA 001	Recommandations pour les mesures d'influence en protection cathodique des canalisations enterrées. Charte de voisinage pour mesures consensuelles.
PCRA 002	Recommandations pour la recherche après enfouissement et la réparation des défauts du revêtement des canalisations enterrées.
PCRA 005	Recommandations pour la vérification des électrodes de référence.
PCRA 008	Recommandations pour la définition des appareils de mesures utilisés en protection cathodique.
NF EN 12954	Protection cathodique des structures métalliques enterrées ou immergées. Principes généraux et application pour les canalisations.
NF EN 13509	Techniques de mesures applicables en protection cathodique.
NF EN 15280	Évaluation du risque de corrosion occasionné par les courants alternatifs des canalisations enterrées protégées cathodiquement.
Guide GESIP 07.01	Canalisation de transport : méthodologie pour la réalisation d'un plan de surveillance et d'intervention sur une canalisation de transport (PSI) - Guide ayant reçu la reconnaissance de l'Administration.
Guide GESIP 07.05	Surveillance, maintenance, inspection et réparations des canalisations de transport. Tome II.

5 Définitions/abréviations

ddp : différence de potentiel.

E_{ON} : mesure du potentiel de la structure par rapport au sol, comportant une chute ohmique (voir paragraphe 6.2).

E_{OFF} : mesure du potentiel de la structure par rapport au sol, sans chute ohmique (voir paragraphe 6.2).

Électrode de mesure : voir NF EN 13509.

E_{CSE} : Electrode de référence au cuivre sulfate de cuivre saturé.

m : mètre.

mV : millivolt.

MΩ : méga Ohm.

RI : terme signifiant chute ohmique ou chute de tension dans le sol (voir paragraphe 6.2)

TM : témoin métallique ou coupon métallique.

s : seconde.

synchro rupteur ou **chrono rupteur** ou **coupeur** ou **topeur** : interrupteur cyclique, synchronisé par quartz ou gps introduit dans un soutirage pour réaliser des mesures ON/OFF, du DCVG,...

6 Mesure de potentiel

6.1 GENERALITES

Toute mesure de potentiel nécessite un contact électrique franc sur la canalisation qui peut être une prise de potentiel avec un câble soudé sur la conduite, ou par contact direct sur une bride et tout élément conducteur non isolé électriquement de la conduite,.....

Elle nécessite aussi la présence d'un contact électrolytique entre l'acier de l'ouvrage et le milieu environnant : pour un ouvrage ne présentant pas de défaut de revêtement (parfaitement isolé et qui se comporte donc comme « un conducteur en l'air ») ; la mesure de potentiel de cet ouvrage par rapport au sol (avec une électrode de référence) n'a aucune signification (mesure erratique). Pour être significative, elle ne peut être réalisée que si on a recours à un artifice de mesure comme un témoin métallique.

6.2 ELEMENTS PERTURBATEURS R ET I

La mesure du potentiel d'une structure métallique par rapport à une électrode de référence inclut systématiquement un terme perturbateur que constitue la chute ohmique « RI » engendrée par la circulation des courants **I** dans le sol **R**.

6.2.1 Résistance R

R comprend les résistances de contacts des défauts de revêtements environnants ou les plus proches du poreux de l'électrode de référence en contact avec le sol (et/ou la résistance de contact du témoin métallique relié électriquement à l'ouvrage), la résistance transversale du revêtement, la résistance de contact de l'interface électrode de référence/sol (contact poreux/sol). Ces résistances sont fonction notamment de la résistivité de l'électrolyte environnant.

La position de l'électrode de référence par rapport à la canalisation a une influence sur la résistance du circuit de mesure.

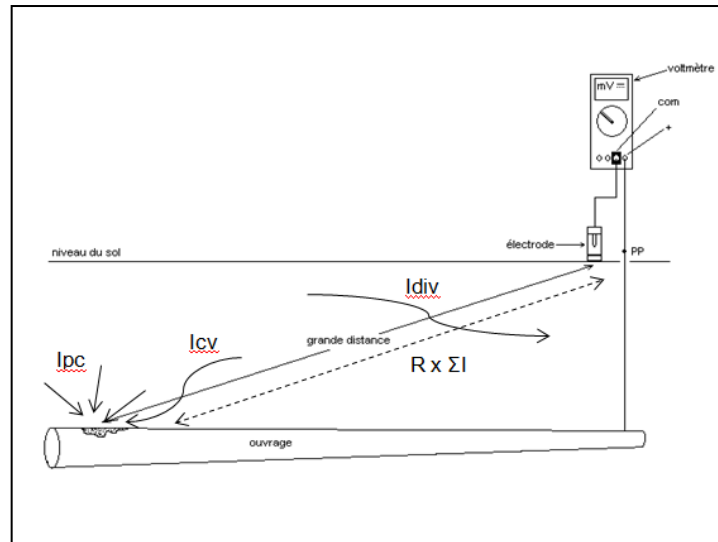


Figure 1 : Mesure "On" et chute ohmique

Chute ohmique : $\Sigma R \times \Sigma l$

I_{pc} = courants de protection cathodique I_{cv} = courants vagabonds I_{div} = courants divers transitant dans le sol

Remarque : Le point de mesure est l'emplacement défini par la position de l'électrode de référence (contact poreux/sol). Le point de mesure doit être judicieusement choisi par l'opérateur.

6.2.2 Courant I

I représente le flux de courant circulant dans le « volume du sol » compris entre l'interface métal/sol et le contact poreux de l'électrode de référence/sol.

C'est au plus proche de l'interface métal/sol (contact du métal avec le sol) que se situe la plus forte concentration de courants dans le milieu, générant la chute ohmique la plus importante.

Les courants peuvent être de différentes origines :

6.2.2.1 - Courants propres à la canalisation

1. Courant de protection cathodique de l'ouvrage considéré (I_{pc}),
2. Courant d'égalisation ou de compensation (lors de coupures des sources de protection cathodique (cf paragraphe 8),
3. Courant des piles géologiques,
4. Courant de couples galvaniques.

6.2.2.2 - Courants extérieurs à la canalisation transitant ou non dans l'ouvrage

5. Courant de protection cathodique d'ouvrages tiers,
6. Courants vagabonds continus (I_{dc}) ou alternatifs (I_{ac}) : voies ferrées électrifiées, industriels, ligne HT,....,
7. Courant tellurique,
8. Courant du circuit de mesure (voir paragraphe suivant).

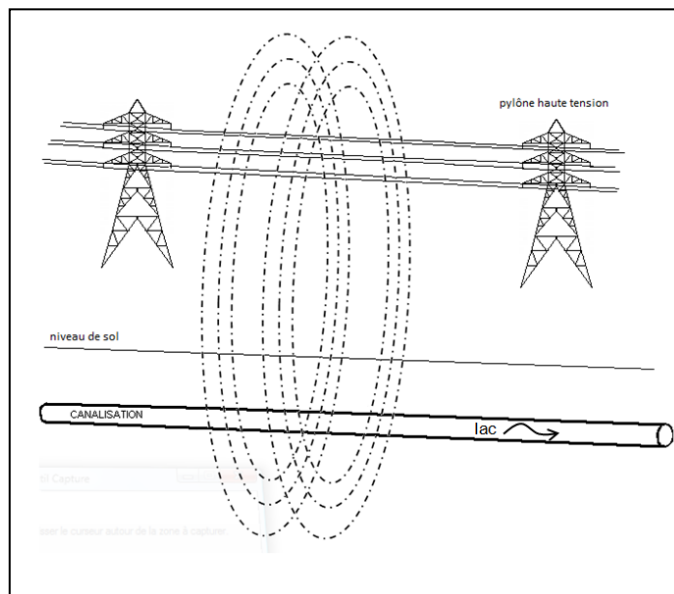


Figure 2 : Courant alternatif induit

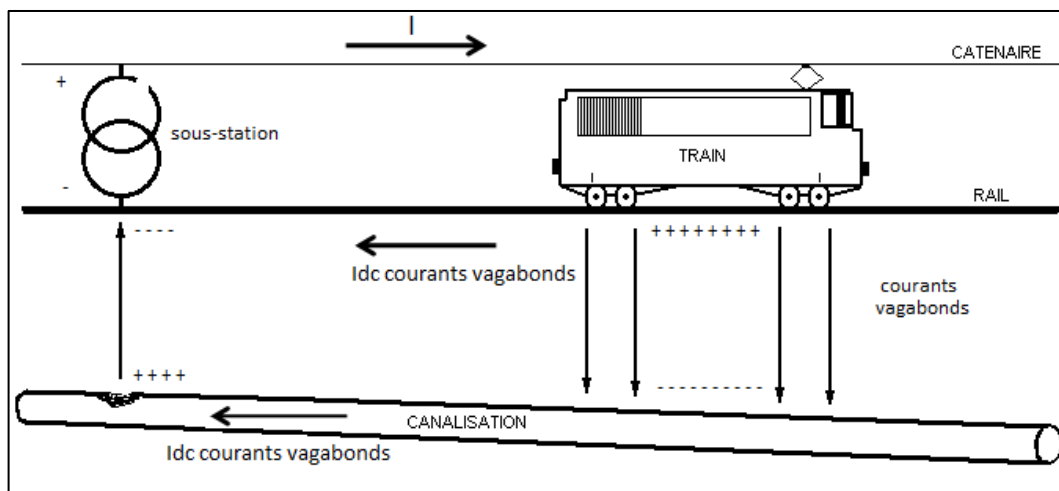


Figure 3 : Courants vagabonds DC

6.3 RESISTANCE INTERNE DES APPAREILS DE MESURE

Voir la Recommandation PCRA 008.

Pour minimiser l'influence des différentes résistances intervenant dans la chaîne de mesure sur la valeur mesurée du potentiel, il est recommandé d'utiliser des voltmètres ou enregistreurs de potentiel avec des impédances d'entrées au moins égales à 10 MΩ.

Ce problème est d'autant plus important en présence :

- d'un sol ayant une résistivité très élevée (>1000 Ohm.m),
- de défauts de revêtement dont la surface est très faible (de quelques mm²),
- d'une électrode de référence dont le poreux est de très petite surface,
- d'un mauvais contact entre le poreux de l'électrode de référence et le sol.

Remarque : plus la résistance interne de l'appareil de mesure est élevée, plus faible sera le courant transitant dans le circuit de mesure (mais l'appareil sera également plus sensible aux effets électromagnétiques perturbateurs).

7 Mesures « ON » ou à « courant établi »

7.1 MESURE « ON » AVEC ÉLECTRODE DE REFERENCE POSEE AU SOL

7.1.1 Description de la méthode / Schéma de principe

Il s'agit de la méthode la plus simple sur le plan opératoire pour évaluer le niveau de protection cathodique d'un ouvrage enterré. Il s'agit d'une mesure en dynamique, c'est-à-dire d'un dispositif de protection cathodique en service.

Elle nécessite un équipement réduit, à savoir :

- Un voltmètre présentant une résistance interne supérieure à 10 M Ω (cf. Recommandation PCRA 008).
- Une électrode de référence en contact électrolytique avec le sol.

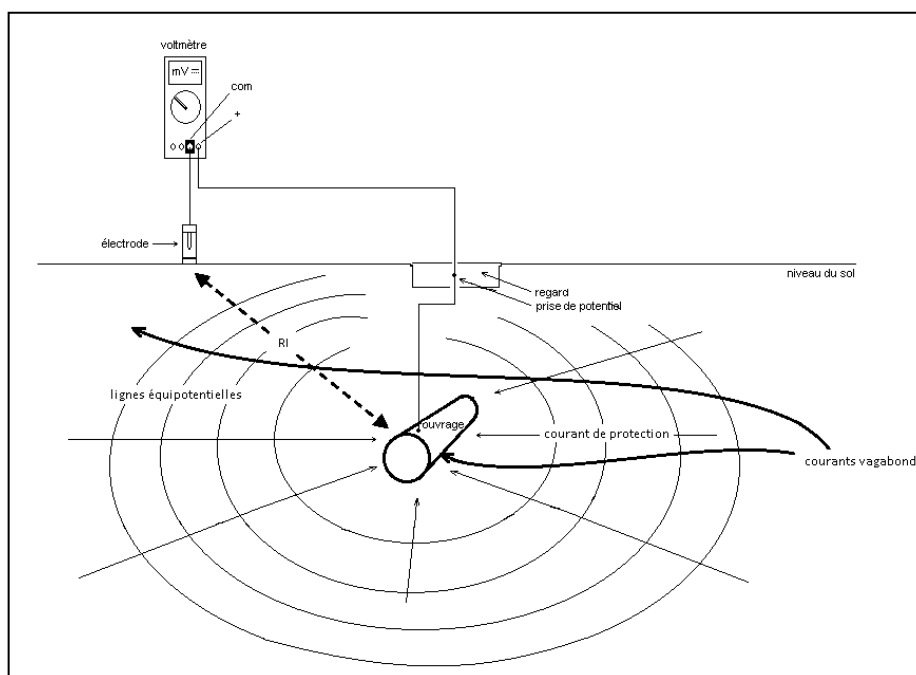


Figure 4 : Incidence des courants dans le sol sur la mesure « On »

7.1.2 Intérêts de la méthode

C'est une mesure simple et rapide, citée par la norme EN 12954 pour «Une évaluation générale de la protection cathodique ».

- Elle permet de s'assurer du fonctionnement de la protection cathodique.
- Elle permet de suivre les variations dans le temps (avec des mesures ponctuelles ou des enregistrements de longue durée) du potentiel mesuré d'un ouvrage. Ces variations sont dues aux éventuelles modifications électriques et physiques du système de protection cathodique et de l'environnement (influences électriques d'une protection cathodique tiers, courants vagabonds, etc.).

7.1.3 Limites de la méthode

La mesure intègre systématiquement une composante de "chute ohmique" variable **RI**, ce qui conduit, sur une zone cathodique, à un potentiel mesuré plus négatif que celui lié à la polarisation du métal. C'est la raison pour laquelle, selon la norme EN 12954, cette mesure ne permet pas de statuer sur l'efficacité de la protection cathodique de l'ouvrage.

Il est tout à fait possible de mesurer des potentiels « ON » très électronégatifs (plus négatifs que -3,0 V/ E_{CSE} dans un sol résistif par exemple) alors que l'ouvrage peut ne pas être protégé efficacement contre la corrosion.

7.2 MESURE « ON » AVEC ÉLECTRODE DE REFERENCE ENTERREE

7.2.1 Description de la méthode / Schéma de principe

Cette méthode est très proche de la précédente. Seule la position de l'électrode de référence change, le principe de la mesure reste identique.

L'électrode de référence peut être installée au voisinage proche de l'ouvrage (quelques centimètres si possible et sans contact direct avec le métal) :

- à demeure (électrode de référence enterrée permanente),
- introduite par l'intermédiaire d'un puits de mesure (électrode de référence amovible).

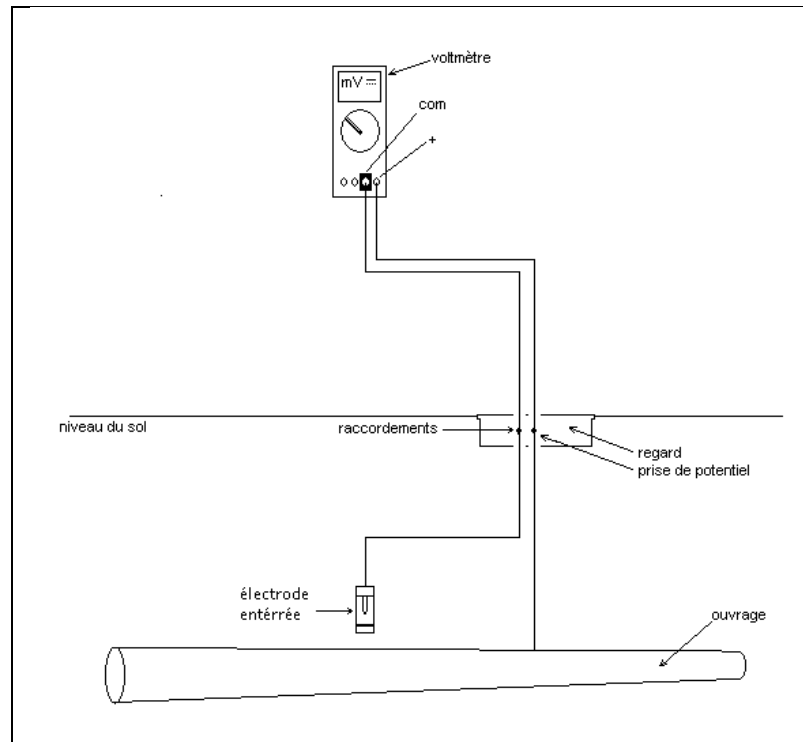


Figure 5 : Mesure "On" avec électrode enterrée

7.2.2 Intérêts de la méthode

Dans le cas d'ouvrages revêtus de produits poreux peu isolants ou à proximité immédiate d'un défaut de revêtement, le positionnement de l'électrode à proximité de l'ouvrage réduit le R de la chute ohmique.

7.2.3 Limites de la méthode

Dans le cas d'ouvrages revêtus de produits très isolants, le positionnement de l'électrode de référence à proximité de l'ouvrage ne permet pas de réduire significativement la composante de la chute ohmique dans la mesure du potentiel, si ce n'est dans le cas d'un défaut de revêtement proche.

Même en réduisant la distance électrode de référence – ouvrage à quelques centimètres, ceci est toujours insuffisant pour annuler la chute ohmique.

8 Mesures ON/OFF : courant coupé sur les sources de courant de protection cathodique

8.1 DESCRIPTION DE LA METHODE / SCHEMA DE PRINCIPE

La valeur du potentiel E_{ON} intègre une différence de potentiel due à la chute ohmique RI .

On supprime la chute ohmique du courant de protection cathodique en coupant les différentes sources de protection cathodique.

Le principe est de mesurer le potentiel immédiatement après la coupure des postes à courant imposé (soutirage) pour annuler la chute ohmique tout en conservant la polarisation de l'ouvrage sous protection cathodique. Il est recommandé d'effectuer la mesure dans la première seconde suivant la coupure. Plus le temps de réalisation de la mesure après la coupure est long, plus le résultat de la mesure est conservatif par rapport à une éventuelle insuffisance du niveau de la protection cathodique.

La valeur obtenue est notée potentiel à courant coupé ou E_{OFF} . Elle est réalisée en coupant de façon synchronisée et régulière **toutes** les sources de courant de protection cathodique susceptibles d'influencer la mesure au point considéré. Le temps de coupure doit être court pour éviter toute dépolarisation. A titre d'exemple, le cycle ON/OFF de 57s / 3 s peut être retenu.

En cas de liaison avec des tiers possédant leur propre système de protection cathodique, il est préférable d'installer des synchro rupteurs sur les redresseurs tiers et non pas simplement sur les liaisons avec ces tiers.

Cela permet de supprimer les chutes ohmiques engendrées par les courants de ces installations.

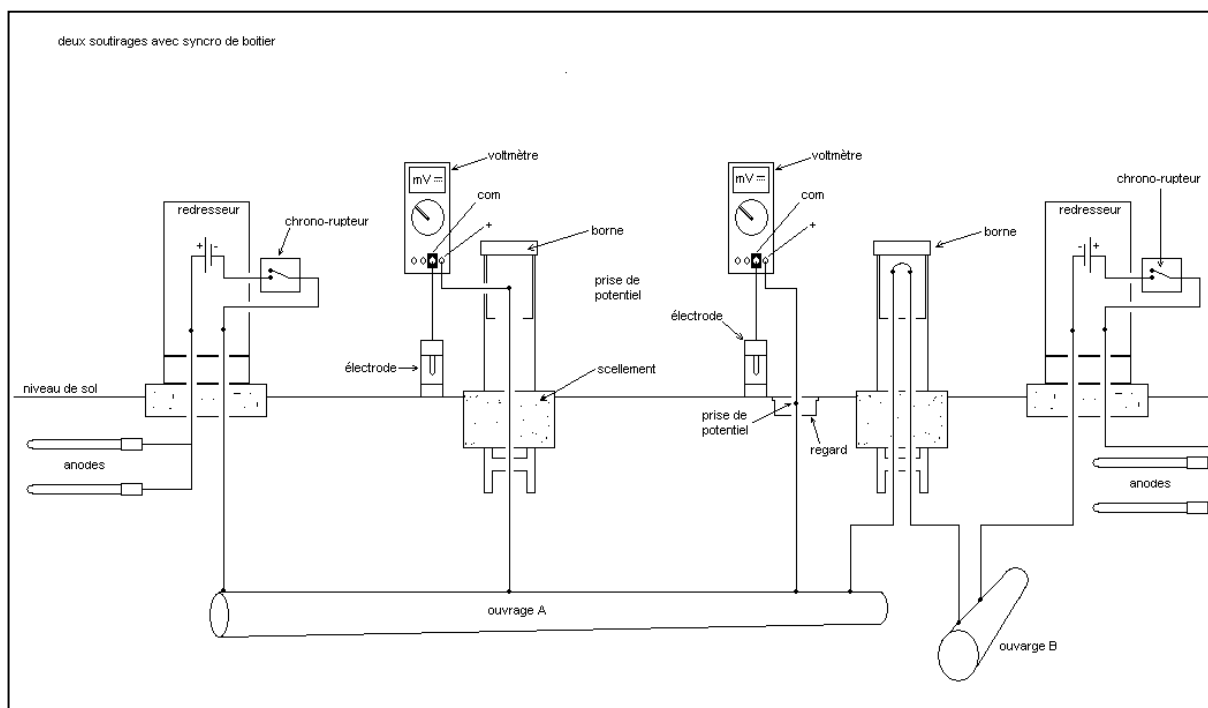


Figure 6 : Mesures "On/Off" avec coupures sur redresseurs

8.2 INTERETS DE LA METHODE

Extrait de la norme NF EN 13509 : « La technique de mesure du potentiel à la coupure du courant peut être utilisée afin d'éliminer les chutes de tension RI provoquées par les courants de protection (voir paragraphe 6.2.2.16.2.2) en l'absence de courants d'égalisation, de courants de couple galvanique générés par des anodes ou des cathodes étrangères, et de courants vagabonds. Les valeurs ainsi obtenues sont appelées potentiels à courant coupé, E_{OFF} . »

Si la canalisation contrôlée n'est pas sujette à ces influences électriques il est donc possible de comparer les potentiels E_{OFF} résultant de mesures ON/OFF aux critères de protection définis dans les normes.

8.3 LIMITES DE LA METHODE

- Cette méthode demande du temps sur des réseaux comportant de nombreux soutirages pour la gestion des synchro-rupteurs.
- Cette méthode est difficilement réalisable sur des réseaux comportant de nombreuses liaisons avec des tiers.
- En présence de perturbations ou d'influences électriques extérieures (courants 2 à 6 du paragraphe 6.2.2), des courants circulent dans le sol et peuvent fausser cette mesure E_{OFF} . Cette méthode n'est donc pas applicable dans ces cas.
- A la coupure de courant de protection cathodique, un courant de compensation peut être généré naturellement entre les zones qui seraient polarisées à des niveaux de potentiel différents sur le réseau protégé. Sur un réseau comportant de fortes disparités entre ces zones, ou sur un réseau très long, ces courants de compensation peuvent fausser significativement cette mesure E_{OFF} dans un sens ou dans l'autre.
- Une cause importante d'erreur dans l'interprétation de la mesure de potentiel réside dans la distance qui sépare l'électrode de référence de l'acier nu (défaut de revêtement). Cette distance peut atteindre des kilomètres sur des ouvrages bien revêtus (fort isolement).
- La conduite peut être si bien isolée qu'une mesure conduite-sol n'est pas représentative du potentiel électrochimique de l'acier.

9 Mesures de potentiel et de courant sur témoin métallique

9.1 INTRODUCTION

L'une des causes de la chute ohmique « RI » est la position relativement éloignée du défaut de revêtement (soit à l'interface acier/sol) par rapport à l'électrode de référence utilisée pour la mesure.

Les objectifs de l'utilisation d'un témoin désigné par témoin métallique (TM) sont :

- Créer en un lieu déterminé une interface acier/sol en plaçant une surface d'acier nu (de même nature que celui de la conduite), et de surface connue en contact franc avec le sol.
- Permettre le positionnement d'une électrode de référence au plus près de cette interface pour améliorer la mesure du potentiel (réduction du R).
- Mesurer le courant (sens et intensité) sur une surface métallique calibrée.
- Mesurer le potentiel naturel du témoin seul et avant mise sous protection cathodique.

Il est admis que le témoin utilisé est représentatif (en surface et nature du sol en contact) d'un défaut de revêtement de l'ouvrage à contrôler sur lequel il est raccordé. On évalue ainsi l'aptitude du dispositif de protection cathodique à assurer la protection d'une surface d'acier (d'un défaut de revêtement) comparable à celle choisie pour le témoin.

9.2 CONDITIONS D'UTILISATION

9.2.1 Mise en place

Ce témoin est positionné dans la mesure du possible au plus proche de la canalisation et dans la même nature de terrain.

Lors de la mise en place, le témoin doit être propre sans contaminant ni oxyde. Il doit avoir un état de surface avec une faible rugosité : il est suggéré d'effectuer un ponçage avec du papier abrasif supérieur ou égal au grain 150.

Le témoin est raccordé à la canalisation via une prise de potentiel par un câble différent des câbles de puissance : soutirage, drainage,...).

Le témoin utilisé peut être :

- relié en permanence à la canalisation : témoin permanent.
- relié provisoirement à la canalisation : témoin temporaire.

Ce témoin peut être posé, enterré, disposé dans un puits de mesure de surface ou profond et/ou dans un regard.

9.2.2 Représentativité du témoin

Il est difficile de définir un coupon représentatif de tous les défauts rencontrés.

En général, pour les revêtements polyéthylène ou polypropylène on préconisera des TM de petites surfaces, et pour les revêtements hydrocarbonés des aires plus importantes. Ces surfaces peuvent aller de 5 à 100 cm².

Remarque : l'évaluation des influences par les courants alternatifs nécessite l'utilisation d'un TM de 1 cm² selon la norme européenne NF EN 15280.

La forme et la dimension du TM influencent les mesures de potentiel et de courant. Il sera choisi pour être représentatif d'un défaut réel de revêtement.

Il est préférable d'utiliser un TM dont la forme n'induit pas d'effet de bord ou de pointe engendrant des zones préférentielles de passage de courant.

Les formes les plus couramment utilisées sont :

- Témoin plaque : rectangulaire, oblong.

- Témoin circulaire disque plein.
- Témoin couronne avec emplacement central pour une électrode de référence.
- Témoin cylindrique annulaire.
- Témoin piquet.

Ces témoins peuvent être associés à différents dispositifs pour améliorer la mesure :

- Témoin associé à une électrode de référence.
- Témoin associé à un puits de mesure.
- Témoin associé à une électrode de référence, l'ensemble piégé dans un électrolyte spécifique.

9.2.3 Préconisations d'emploi des témoins

Pour que les mesures relevées sur un témoin soient représentatives, il est nécessaire d'effectuer ces mesures sur un TM raccordé à la structure sous protection cathodique depuis un temps suffisant jusqu'à obtenir un potentiel quasi stable (hors courants vagabonds) pour atteindre la même polarisation que la structure.

Lorsque le témoin est éloigné de la conduite (plus d'un mètre), l'environnement immédiat du TM peut différer de celui de la canalisation (hétérogénéité de sol, d'humidité,...).

En présence de champ électrique parasite (courants vagabonds, courants telluriques,...) il est préférable d'effectuer des mesures par enregistrement pendant plusieurs heures (généralement une journée ou plus si nécessaire) pour une meilleure représentativité des influences électriques externes.

Il est nécessaire pour la comparaison de mesures successives que ces dernières soient toujours effectuées :

- en positionnant témoin **et** électrode de référence aux mêmes emplacements,
- sur des témoins métalliques identiques,
- avec des conditions environnementales similaires,

Remarque : l'utilisation de témoin type piquet avec son effet de pointe, génère des chutes ohmiques d'autant plus importantes que le poreux de l'électrode de référence est distant de la pointe.

9.3 MESURES DE COURANT SUR TEMOIN METALLIQUE (TM)

9.3.1 Description de la méthode / Schéma de principe

Sur la liaison TM/ouvrage, accessible dans un coffret, on intercale un ampèremètre ou un shunt de mesure pour contrôler le sens et la valeur du courant consommé par ce coupon.

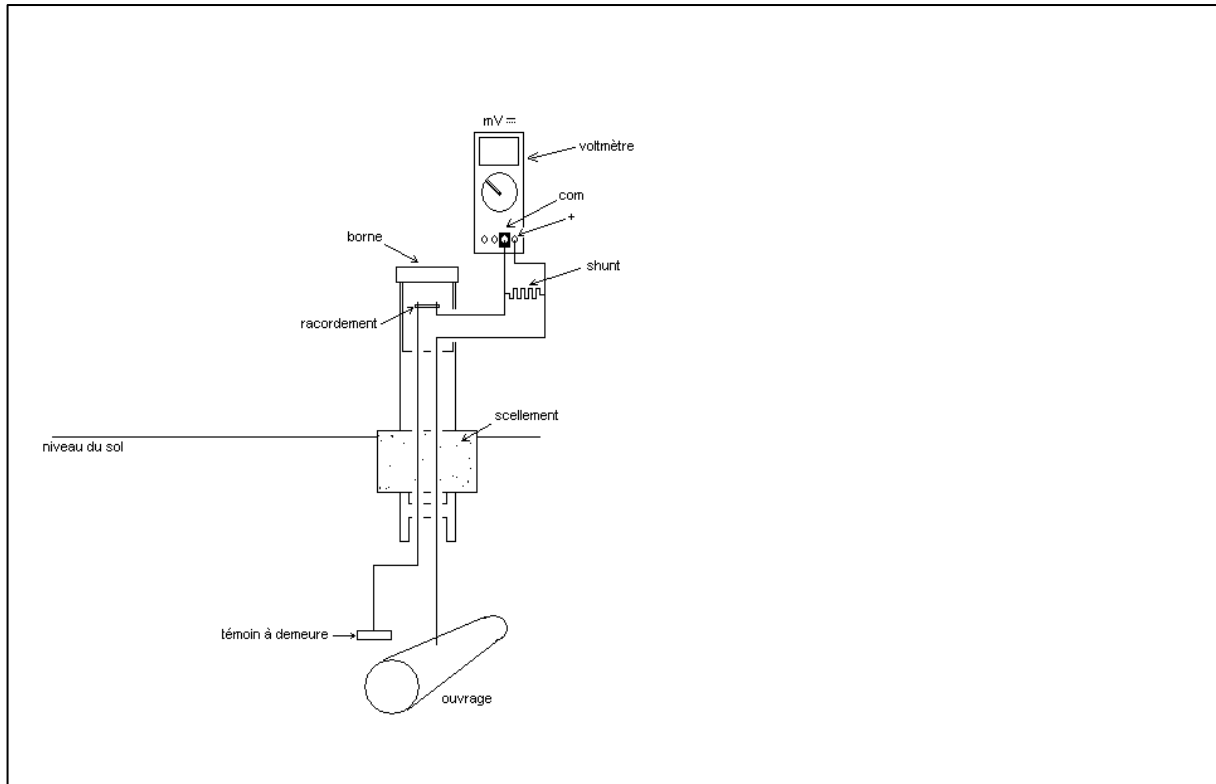


Figure 7 : Mesure du courant sur un témoin permanent (avec shunt de mesure calibré)

9.3.2 Influence du mode opératoire

Pour la mesure sur un témoin qui vient d'être raccordé à l'ouvrage sous protection cathodique, la densité de courant mesurée (sans courant vagabond) est plus importante que pour un même témoin raccordé en permanence.

L'intensité du courant du témoin est influencée par la valeur de la résistance introduite dans la liaison témoin-ouvrage (présence éventuelle d'un shunt, qualité des connexions, câble ayant une résistance élevée,...).

L'introduction d'un témoin dans le sol modifie les lignes de courant et par conséquent les courbes équipotentielles, pouvant perturber l'environnement électrique de la canalisation.

9.3.3 Intérêts de la méthode

- L'intérêt d'un témoin est de contrôler le sens du courant qui circule dans la liaison coupon-ouvrage, ce qui permet notamment de s'assurer que le courant rentre bien dans le coupon (courant cathodique) ou à défaut de mettre en évidence un courant qui sort du témoin (courant anodique) et d'en mesurer l'intensité.
- La connaissance de la surface du témoin permet de calculer la densité du courant (mA/m²).

9.3.4 Limites de la méthode

Le courant doit être mesuré après la stabilisation de la polarisation du TM (voir paragraphe 9.3.2).

9.3.5 Applications de cette méthode

- dans le cas d'un ouvrage sous fourreau dont l'espace annulaire est rempli d'un électrolyte : contrôle du courant sur un témoin placé dans ce milieu.
 - .mesure de courant ac.
- mesure d'influence entre structures.
- ...

9.4 POSITIONNEMENT DE L'ÉLECTRODE DE RÉFÉRENCE POUR LA MESURE DE POTENTIEL SUR UN TÉMOIN

L'objectif de la méthode de mesure sur TM étant de minimiser la chute ohmique, il est primordial de réduire la distance entre le poreux de l'électrode de référence et l'interface acier/sol du témoin (réduction de R). **Malgré une distance réduite a minima, la chute ohmique reste la plus importante au plus près du témoin du fait de la concentration des lignes de courant (en mesure ON).**

La position axiale de l'électrode de référence par rapport à un témoin couronne ou cylindrique, permet de réduire les influences des courants parasites et permet à l' E_{CSE} d'être localisée au plus près de l'interface métal/sol.

9.5 MESURES DE POTENTIEL E_{ON} SUR TÉMOIN

9.5.1 Description de la méthode

Cette technique permet d'améliorer la perception des potentiels ON en connaissant la localisation de l'interface acier/sol.

Cette technique peut être utilisée dans les cas suivants :

- Mesurer la variation de potentiel entre le potentiel naturel du TM et son potentiel avec courant de protection cathodique.
- Étudier les influences électriques entre structures (cf. ex norme NF A05-615).

9.5.2 Influence du mode opératoire

Cf. paragraphe 9.4

9.5.3 Intérêts de la méthode

Les mesures sur un témoin sont particulièrement recommandées pour compléter les mesures de potentiels sur les structures ayant un revêtement à forte résistance d'isolement.

Les mesures sur TM sont la base des mesures d'influence recommandées dans les normes.

9.5.4 Limites de la méthode

La mesure de potentiel ON sur témoin ne permet pas une réduction suffisante de la chute ohmique, du fait de la concentration des courants sur le témoin.

9.6 MESURES DE POTENTIEL ON/OFF SUR TÉMOIN AVEC SYNCHRO RUPTEUR(S) SUR SOUTIRAGE(S)

Voir le paragraphe 9 pour le descriptif de la mesure sur témoin.

9.6.1 Description de la méthode / Schéma de principe

Les synchro-rupteurs sont placés sur toutes les sources de courant de protection cathodique portant dans la zone étudiée.

On mesure les potentiels E_{ON} et E_{OFF} sur les témoins raccordés aux prises de potentiel de l'ouvrage par rapport à une électrode de référence.

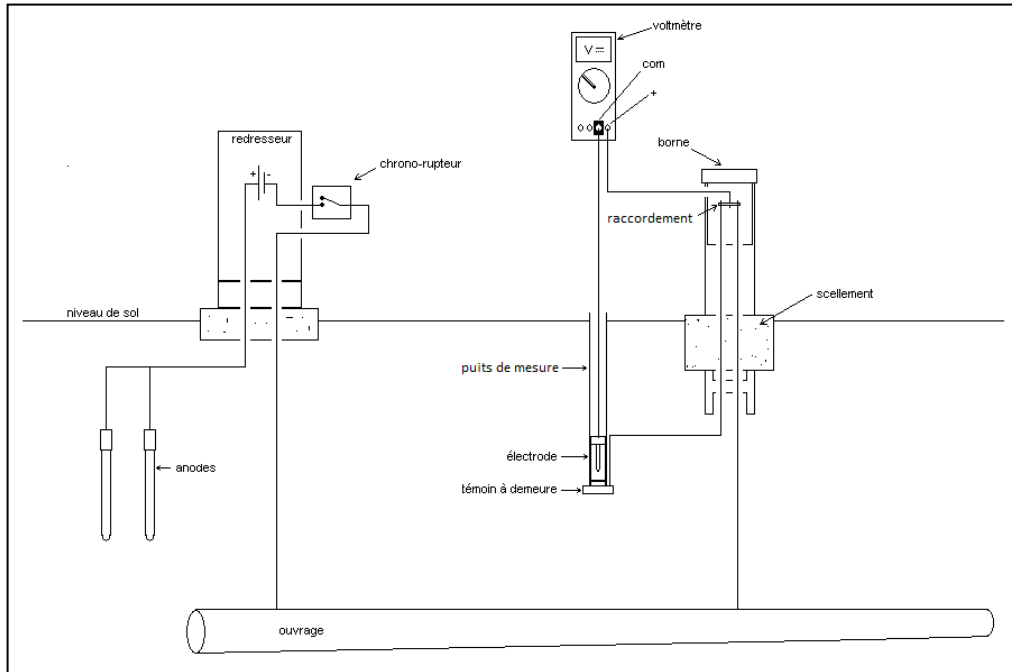


Figure 8 : Mesures "ON/OFF" sur témoin avec coupures sur sources

9.6.2 Intérêts de la méthode

Amélioration de la méthode décrite dans le paragraphe 8 par le rapprochement de l'électrode de référence de la surface métallique.

9.6.3 Limites de la méthode

Voir les limites du paragraphe 8.3

Malgré l'amélioration citée précédemment, la chute ohmique provoquée par les courants de compensations et/ou les courants vagabonds peut avoir un effet significatif sur la mesure E_{OFF} .

9.7 MESURES E_{OFF} SUR TEMOIN (A COURANT COUPE SUR LIAISON CONDUITE TEMOIN)

Pour la technique de mesure du potentiel E_{OFF} sur témoin, les appareils dédiés à cette méthode de mesure (échantillonneur-bloqueur, analyseur "ON/OFF" cf. PCRA008) délivrent simultanément les valeurs des potentiels E_{OFF} et E_{ON} ainsi que celle du courant du témoin.

9.7.1 Description de la méthode / Schéma de principe

La technique consiste à mesurer le potentiel (E_{OFF}) d'un témoin par rapport à une électrode de référence en effectuant une coupure sur la liaison « structure sous protection cathodique – témoin » pendant un bref instant sur un cycle déterminé (pour éviter la dépolarisation du TM).

Cette méthode peut être réalisée de différentes manières :

1. Utilisation de matériel dédié : L'échantillonneur-bloqueur analyseur ON/OFF est inséré dans la liaison conduite-témoin. Il réalise des coupures cycliques et permet de restituer et/ou enregistrer automatiquement les valeurs des potentiels E_{OFF} et E_{ON} ainsi que le sens et la valeur du courant transitant dans la liaison, avec filtration 50 Hz éventuelle (analogique et/ou numérique).
2. Au moyen d'un enregistreur numérique et d'un interrupteur cyclique (ou par le biais de coupures manuelles) : pour tracer la courbe de dépolarisation, il faut que le pas de mesure de l'enregistreur permette l'acquisition du potentiel E_{OFF} avant la dépolarisation du témoin.
3. Lecture visuelle au multimètre : Après ouverture de la liaison témoin conduite (manuellement ou automatiquement), le potentiel E_{OFF} est relevé au multimètre 0,5 à 1 seconde après la coupure. Cette troisième méthode est très conservatrice, car elle peut inclure la dépolarisation du témoin au-delà du critère de protection, ou ne pas révéler une « sur polarisation ». Pour ces raisons elle n'est utilisable qu'en cas de dépolarisation lente du témoin.

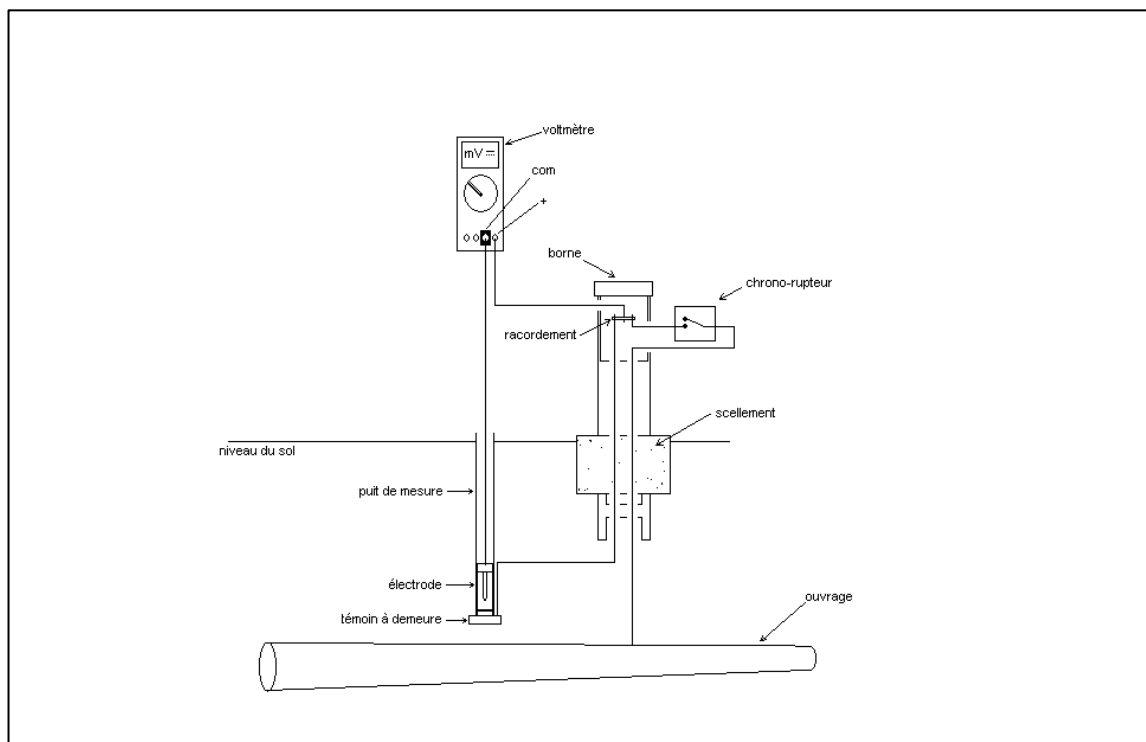


Figure 9 : Principe de la mesure de potentiel à courant coupé sur liaison conduite témoin

9.7.2 Influence du mode opératoire

Plusieurs facteurs peuvent modifier les valeurs mesurées :

- homogénéité / hétérogénéité des terrains.
- position du témoin.
- position de l'électrode de référence.
- ...

Compte tenu de la précision de la mesure, les résultats obtenus dépendent des courants présents et également de :

- La forme et la surface du témoin (cf. paragraphe 9.1).
- la proportion de la surface du TM réellement en contact avec le sol.
- la durée de polarisation du TM.

9.7.2.1 La mesure sur témoin permanent

La pratique de cette méthode sur des témoins connectés en permanence à la structure sous protection cathodique, avec l'étude et l'analyse des valeurs mesurées et leur évolution au fil du temps, permet :

- une évaluation immédiate de la protection cathodique.
- une visibilité sur l'historique du potentiel de protection cathodique depuis le raccordement du TM à l'ouvrage.
- une interprétation de l'état de surface du témoin (dépôt de calco-magnésien, d'oxydes,...).

Ces témoins « vivent et se comportent » comme l'acier de la structure sous protection cathodique sur laquelle ils sont connectés.

9.7.2.2 La mesure sur témoin temporaire

Appliquée sur un témoin temporaire, la mesure de potentiel à courant coupé sur liaison conduite témoin permet de connaître rapidement et avec précision la capacité du dispositif de la protection cathodique à « protéger » localement le témoin à l'instant de la mesure et, par extrapolation, de « protéger » l'acier au droit d'un nouveau défaut de revêtement sur l'ouvrage relié (avec des conditions d'interface métal/sol proches).

Cette méthode permet d'analyser l'évolution de la polarisation d'un témoin et éventuellement d'évaluer le temps nécessaire à cette polarisation. Ce temps peut varier de quelques minutes à quelques heures voire plusieurs jours.

9.7.2.3 La mesure sur témoin déporté

Certaines contraintes ne permettent pas la mise en place d'un TM au plus près de la structure étudiée, et obligent l'exploitant à le positionner à quelques mètres ou dizaines de mètres de l'ouvrage. La mesure réalisée sur le témoin peut être considérée comme étant représentative de la polarisation de la canalisation, exception faite des sols localement très hétérogènes (remblais, canalisations enterrées en ville...).

9.7.2.4 Utilisation de cette méthode pour évaluer l'efficacité de la protection cathodique au droit d'un défaut de revêtement (localisé lors d'une mesure électrique de surface)

La difficulté de cette technique réside dans la longueur du câble nécessaire pour établir la liaison entre le témoin et la prise de potentiel la plus proche. Cette longueur et la section du câble engendrent dans la liaison témoin canalisation une résistance pouvant être préjudiciable à la polarisation du témoin équivalente à ce qu'elle peut être sur le tube (donc plus conservative).

Cette technique peut être utilisée lors d'excavation de défauts de revêtement, en créant une liaison locale provisoire sur la canalisation (attention à la qualité de la connexion). On s'affranchit alors de la chute ohmique

dans le câble.

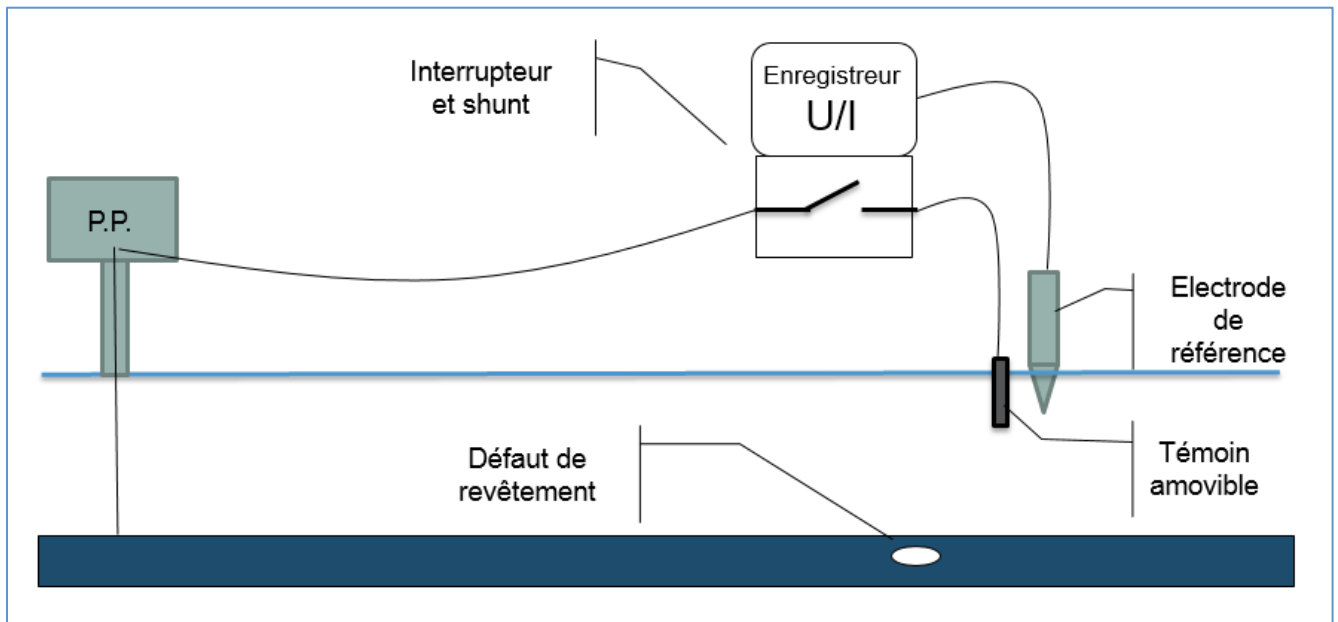


Figure 10 : Utilisation de la mesure sur témoin pour juger de l'efficacité de la PC au droit d'un défaut de revêtement

9.7.2.5 Délai d'acquisition du potentiel OFF après la coupure

Les délais d'acquisition sont généralement paramétrés entre 1 et 20 ms. Ces temps peuvent être paramétrés suivant l'environnement électrique, la présence éventuelle de dépôt calco-magnésien (lorsque le témoin est permanent) et peuvent être étendus à plusieurs centaines de millisecondes. La valeur du potentiel E_{OFF} peut être instantanée ou moyennée.

En présence d'influences de courants alternatifs, il est recommandé de prendre la moyenne des valeurs E_{OFF} pour lisser les variations engendrées.

9.7.3 Intérêts de la méthode

- La mesure s'effectuant sur le témoin, lorsque ce dernier est isolé (liaison ouverte) plus aucun courant ne transite dans celui-ci, le « I » de la chute ohmique due aux courants transitant par le témoin est nul.
- Lorsque le poreux de l'électrode E_{CSE} est coaxial et à quelques millimètres de l'interface acier/sol le « R » de la chute ohmique est minimisé.
- Aucune installation d'interrupteur cyclique n'est nécessaire sur les sources de protection cathodique pour obtenir un E_{OFF} puisque la coupure périodique s'effectue sur la liaison structure / témoin.
- Les mesures se font en conservant la configuration normale du système de protection cathodique (réseaux complexes avec liaisons...).
- La connaissance de l'intensité et du sens du courant transitant dans le témoin.
- La grande facilité de mise en œuvre avec le matériel dédié.
- La réalisation des mesures de E_{OFF} en présence de courants vagabonds importants.
- La réalisation des mesures E_{OFF} sans perturbation d'éventuels courants d'égalisation.
-

9.7.4 Limites de la méthode

- L'influence de la position de l'électrode de référence par rapport au coupon, sur la mesure (leur rapprochement intime est indispensable).

- L'interprétation plus délicate en présence d'influences de courants alternatifs.
- La difficulté d'interprétation des valeurs pour les témoins permanents, notamment en présence de dépôts calco-magnésien ou d'oxydes.
- Dans le cas d'utilisation de témoins temporaires, il peut être nécessaire d'attendre plusieurs heures avant d'atteindre la polarisation stabilisée (cette durée est fonction des sols de la surface du témoin et des courants de protection cathodique disponibles localement).

9.8 MESURES SUR TEMOINS ENCAPSULES DANS UN ÉLECTROLYTE SPECIFIQUE

Il existe des sondes de mesure, comportant un témoin et une électrode de mesure enfermée dans un environnement spécifique, Ces sondes permettent de mesurer le potentiel du témoin en minimisant soit le « R » dû à l'électrolyte, soit le « I » (courants définis au paragraphe 6.2.2).

Toutefois le témoin de ces sondes n'est pas plongé dans le milieu naturel de l'ouvrage.

9.9 MESURE DE POTENTIEL PAR COMPENSATION DE LA CHUTE OHMIQUE SUR UN TEMOIN

A partir d'un témoin métallique raccordé à la conduite, on détermine la résistance d'électrolyte R_e (voir 6.2.1) environnant ce témoin en injectant un courant alternatif de fréquence donnée.

$$R_e = U_{ac} / J_{ac}$$

- U_{ac} : potentiel ac témoin/sol.
- J_{ac} : densité de courant ac.

Il faut ensuite calculer la chute ohmique en utilisant le courant de protection cathodique (I_T) traversant le témoin. La chute ohmique est retranchée du potentiel E_{ON} pour en déduire le potentiel sans chute ohmique, soit :

$$E_{OFF} = E_{ON} - R_e \cdot I_T$$

10 CIPS (Close Interval Potential Survey)

10.1 DESCRIPTION DE LA METHODE / SCHEMA DE PRINCIPE

Le CIPS est une méthode de relevé du potentiel à intervalles de distance réguliers sur une structure métallique enterrée. Un enregistrement en continu permet la réalisation d'une cartographie des potentiels le long de l'ouvrage ou par positionnement GPS à chaque point de mesure relevé.

Dans cette partie, les mesures sont réalisées avec la protection cathodique en mode ON/OFF.

Elle consiste à mesurer la différence de potentiel entre une électrode de référence posée à la surface du sol et l'ouvrage à contrôler. Pour la mesure, l'électrode est déplacée à intervalles réguliers (par exemple tous les mètres) suivant le linéaire de la conduite. La liaison (à la canalisation) est réalisée par du fil de cuivre isolé appelé « fil perdu » (à récupérer après usage !).

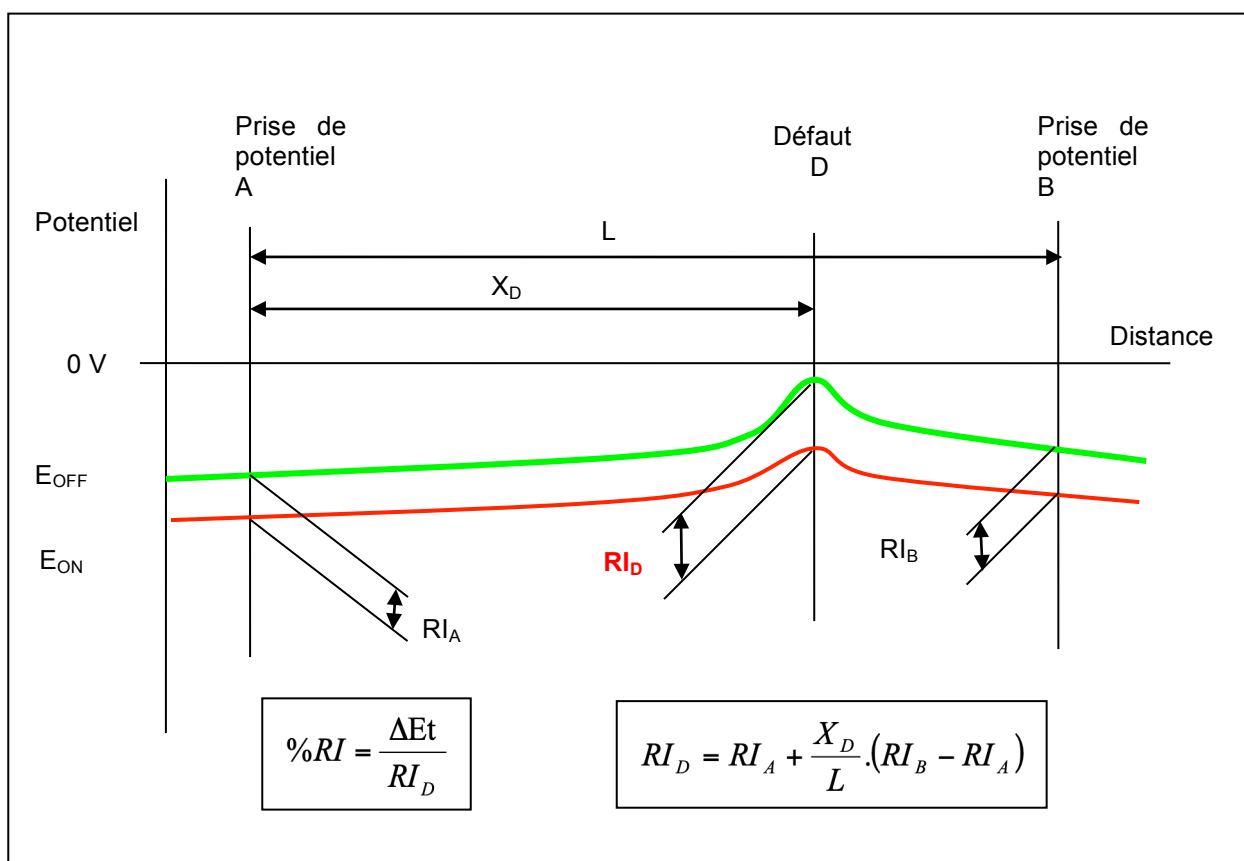


Figure 11 : Profil des potentiels On et Off au niveau d'un défaut de revêtement (sol homogène)

Le défaut se trouve au point de RI minimum d'où l'intérêt de tracer aussi le ON/OFF.

10.1.1 Le contrôle du niveau de protection cathodique sur le tracé de l'ouvrage

L'objectif premier de la méthode CIPS est de contrôler en mode ON/OFF le potentiel de l'ouvrage sur son linéaire entre deux prises de potentiel.

Avec ces mesures, on établit un profil de potentiels développé sur le linéaire de l'ouvrage contrôlé.

10.1.2 La détection des zones d'anomalies de potentiel

L'analyse des graphiques résultant d'un CIPS permet de repérer d'éventuelles zones de l'ouvrage, peu ou mal protégées lorsque les profils de potentiel OFF ne respectent pas le critère de protection cathodique, et des zones de fortes entrées de courant (cathodique) en visualisant des profils de potentiels ponctuellement très négatifs.

10.1.3 La détection des défauts de revêtement

La présence d'un creux de potentiel sur les profils obtenus par la méthode CIPS, peut correspondre à la présence d'un défaut de revêtement. Couplé à la méthode de DCVG, celle-ci peut confirmer ou pas la présence réelle de ce défaut.

10.2 INTERETS DE LA METHODE

Cette méthode permet :

- Le contrôle du niveau de protection cathodique sur le tracé de l'ouvrage.
- La détection des zones d'anomalies de potentiel.
- La détection des défauts de revêtement.

10.3 LIMITES DE LA METHODE

Les résultats de mesure peuvent être perturbés par les éléments suivants :

- le « RI » créé par la circulation du courant dans le sol : courants 2 à 7 du paragraphe 6.2.2.
- les variations de résistivité du sol.
- les variations brutales de profondeur de la canalisation (exemple baïonnette).

La méthode CIPS n'est pas pertinente en présence de courants vagabonds.

La mise en œuvre sur le terrain présente certaines difficultés dans la gestion :

- du fil de mesure (problème des coupures du câble cuivre aux traversées de route, les engins agricoles, la présence de bétail, etc.).
- de la synchronisation des coupures, dans le cas de plusieurs redresseurs à gérer.

11 Technique de mesure intensive et calcul du potentiel sans chute de tension RI (extrait NF EN 13509)

11.1 PRINCIPE

La technique de mesure intensive implique la mesure simultanée avec deux ou trois électrodes E_{CSE} , l'une placée au-dessus de la structure et une ou deux autres éloignées. Cette technique peut à la fois fournir l'emplacement des défauts du revêtement et la mesure du potentiel sans chute de tension RI.

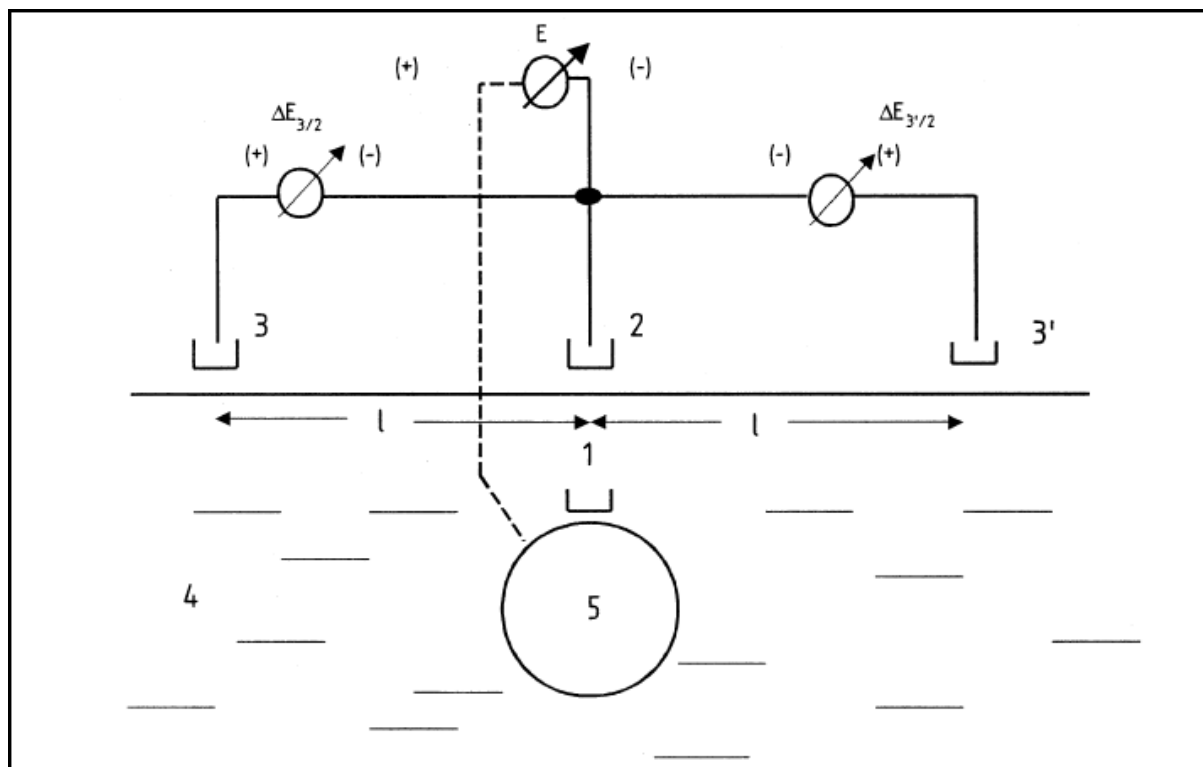


Figure 12 : Schéma de principe de la méthode de mesure intensive. (extrait de la norme NF EN 13509)

Emplacement (1), (2), (3) et (3') des électrodes de référence pour la mesure des potentiels de la structure par rapport à un électrolyte et des gradients de potentiels d'une canalisation enterrée, par la technique de mesure intensive

Légende

- 1, 2, 3, 3' Emplacement des électrodes de référence.
- 4 Sol.
- 5 Conduite.

Cette technique ne peut être utilisée que si la structure se trouve dans la partie linéaire du gradient de potentiel occasionné par la source de courant étrangère (lointaine), c'est-à-dire quand les gradients de potentiels sont constants quel que soit l'éloignement par rapport à la source.

La technique de mesure intensive est également mise en œuvre pour déterminer le potentiel sans chute de tension RI ($E_{IR Free}$) au niveau des défauts de revêtement détectés par d'autres méthodes (voir § 12).

La technique consiste à mesurer les potentiels de la conduite par rapport à un électrolyte, E_{on} et E_{off} , entre la conduite et une électrode de référence située à l'emplacement (2) de la Figure 12, et à mesurer également les gradients de potentiels ΔE_{on} et ΔE_{off} , qui sont les différences de potentiels relevées entre les électrodes de référence situées aux emplacements (2) et (3). Les valeurs relevées à des distances appropriées le long de la canalisation, permettent de déterminer le potentiel sans chute de tension RI.

Si le potentiel de protection, E_p , est atteint au droit des défauts de revêtement les plus importants, on peut généralement estimer qu'il en est de même pour l'acier situé au droit des défauts de revêtement voisins.

NOTE L'emplacement 3' est utilisé pour vérifier si les gradients de potentiels autour de la conduite ne sont pas symétriques, ce qui peut alors indiquer la présence d'une source de courant étrangère et/ou l'hétérogénéité du sol.

11.2 REPERAGE DES DEFAUTS DE REVETEMENT

L'utilisation de cette méthode permet de détecter les défauts dans le revêtement, là où les plus fortes valeurs ($\Delta E_{ON} - \Delta E_{OFF}$) sont mesurées tout au long d'une canalisation.

La valeur absolue de $\Delta E_{ON} - \Delta E_{OFF}$ dépend de beaucoup de facteurs et, dans les mêmes conditions, elle est proportionnelle à l'importance du défaut de revêtement. Habituellement, ces mesures sont effectuées le long de la conduite tous les 5 mètres.

11.3 CALCUL DU POTENTIEL SANS CHUTE DE TENSION RI

Pour $\Delta E_{ON} >$ environ 20 mV, les valeurs de mesure obtenues permettent en général de calculer la chute RI dans le sol entre les emplacements (1) et (2) repérés sur la Figure 12. L'équation pour déterminer le potentiel sans chute de tension RI est donc :

Équation 1

$$E_{IR \text{ free}} = E_{off} - \frac{\Delta E_{off}}{\Delta E_{on} - \Delta E_{off}} \cdot (E_{on} - E_{off})$$

— **En présence de courants d'égalisation et de courants de couple galvanique avec des électrodes étrangères lointaines.**

Les gradients de potentiels sont sensiblement symétriques autour de la canalisation. Il sera donc suffisant de déterminer la différence de potentiel entre les électrodes de référence aux emplacements (2) et (3) d'une part ou (2) et (3') d'autre part pour déterminer les valeurs ΔE .

— **En présence de courants provenant de sources étrangères lointaines (et fluctuant ou non avec le temps).**

Les gradients de potentiels ne sont plus symétriques. Les gradients de potentiels occasionnés par des trous de revêtement sont alors les valeurs moyennes des potentiels entre les électrodes de référence aux emplacements (2) et (3) et aux emplacements (2) et (3'), disposées symétriquement à une même distance « l », comme indiqué à la Figure 12, de part et d'autre de la canalisation.

Équation 2

$$\Delta E = \frac{1}{2} \cdot (\Delta E_{3/2} + \Delta E_{3'/2})$$

— **En présence de «courants provenant de sources étrangères lointaines, fluctuants dans le temps, par exemple les systèmes de traction à courant continu, les sites industriels, les courants telluriques ».**

Les valeurs E et ΔE doivent être relevées simultanément, à la fois pour les périodes à courant établi et à courant coupé.

Par rapport à l'équation 1, il convient de noter que des potentiels d'électrodes de référence dissymétriques peuvent conduire à des erreurs pour la détermination des potentiels sans chute de tension RI .

12 Méthodes de recherche de défauts de revêtement

12.1 TECHNIQUE D'ATTENUATION DE SIGNAUX

12.1.1 Description de la méthode / Schéma de principe

La méthode d'atténuation est une méthode d'évaluation de l'isolement d'un tronçon donné qui dépend de la surface cumulée de défauts de revêtement et de la résistivité du sol environnant. Elle utilise la détection de l'intensité du champ magnétique généré localement par une source de courant alternatif de fréquence réglable.

Un signal spécifique alternatif est injecté dans la conduite, soit par l'intermédiaire d'une prise de terre et d'une prise de potentiel, soit par induction avec un cadre posé au sol. Ce signal crée dans la conduite un courant qui peut être mesuré depuis la surface par un récepteur adapté. L'existence de pertes capacitives entraîne une atténuation régulière du signal en fonction de la distance de la source. On trace la courbe d'atténuation en dB (ou mA) du champ en fonction de la distance ; la pente régulière est caractéristique des pertes capacitives, les variations de pente traduisent les pertes de courant aux droits des défauts de revêtement.

Généralement les mesures d'atténuation sont effectuées tous les 200 à 500 mètres linéaires de l'ouvrage, et dans les deux sens pour croiser les résultats obtenus.

12.1.2 Intérêts de la méthode

C'est une méthode de recherche globale qui permet de localiser rapidement :

- les zones à faible isolement.
- des contacts avec un réseau tiers.
- des contacts avec des fourreaux aciers.

Elle est très pertinente sur les conduites revêtues brai pour localiser des « zones » de défauts.

Elle est utile sur les conduites comportant des zones de défauts de revêtement.

C'est une méthode de caractérisation rapide et économique de l'isolement de tronçons d'une conduite.

12.1.3 Limites de la méthode

Elle ne détecte que les défauts débouchant c'est-à-dire les zones où les courants de protection cathodique atteignent la surface de l'acier.

Il est important d'utiliser des fréquences très basses pour limiter l'effet capacitif. Il existe également un effet de peau (effet Kelvin) si on utilise des hautes fréquences, effet lié à l'isolement de la canalisation et à son diamètre qui engendre une perte plus rapide du signal injecté.

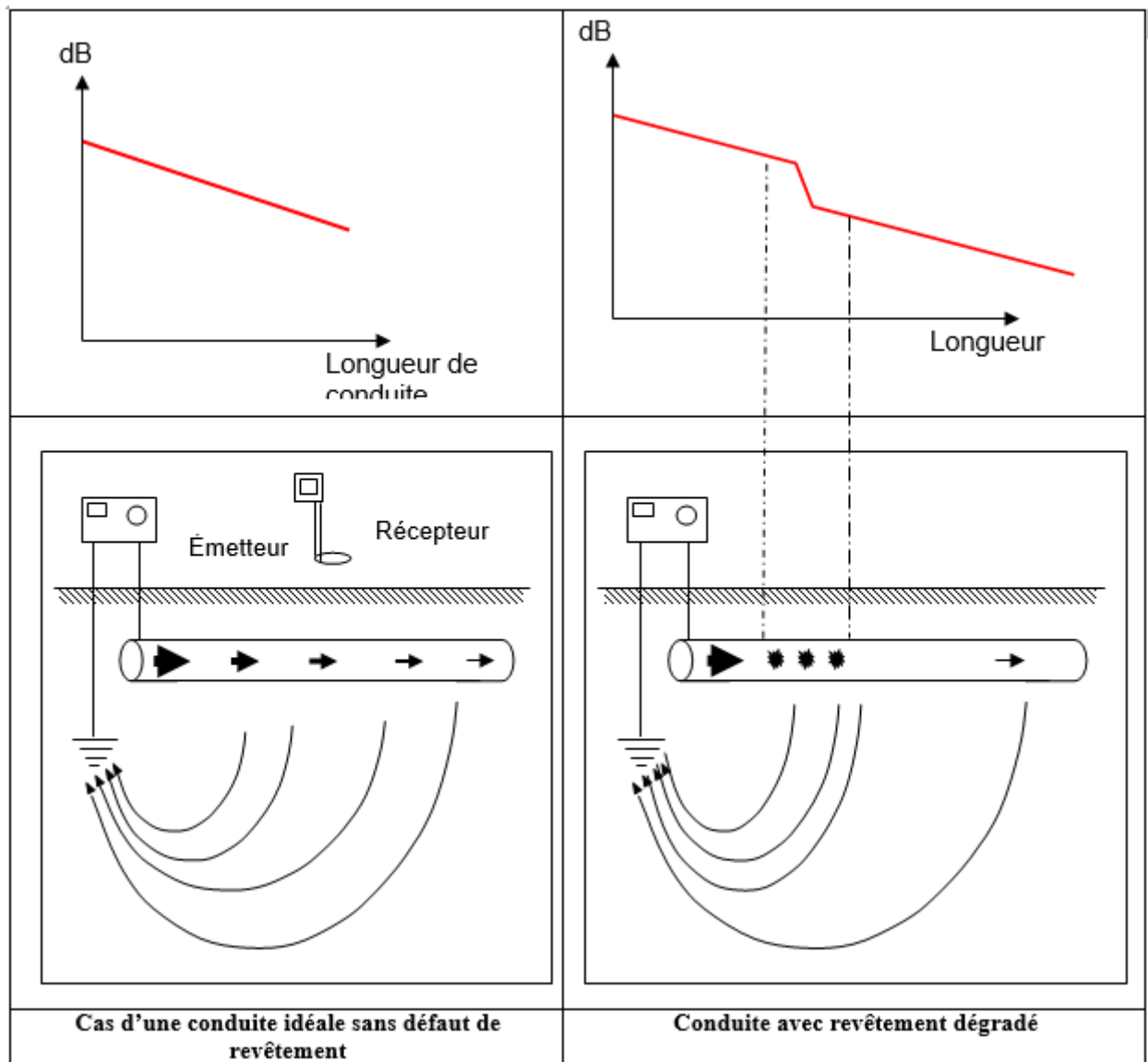


Figure 13 : Exemples de courbes d'atténuation

12.2 TECHNIQUE PEARSON

Description de la méthode / Schéma de principe

La méthode Pearson consiste à injecter un courant alternatif dans l'ouvrage et à rechercher les gradients de potentiels ainsi créés dans le sol au voisinage des défauts de revêtements.

Les gradients de potentiels peuvent être captés en surface par un couple de 2 pointes de touche raccordé à un galvanomètre.

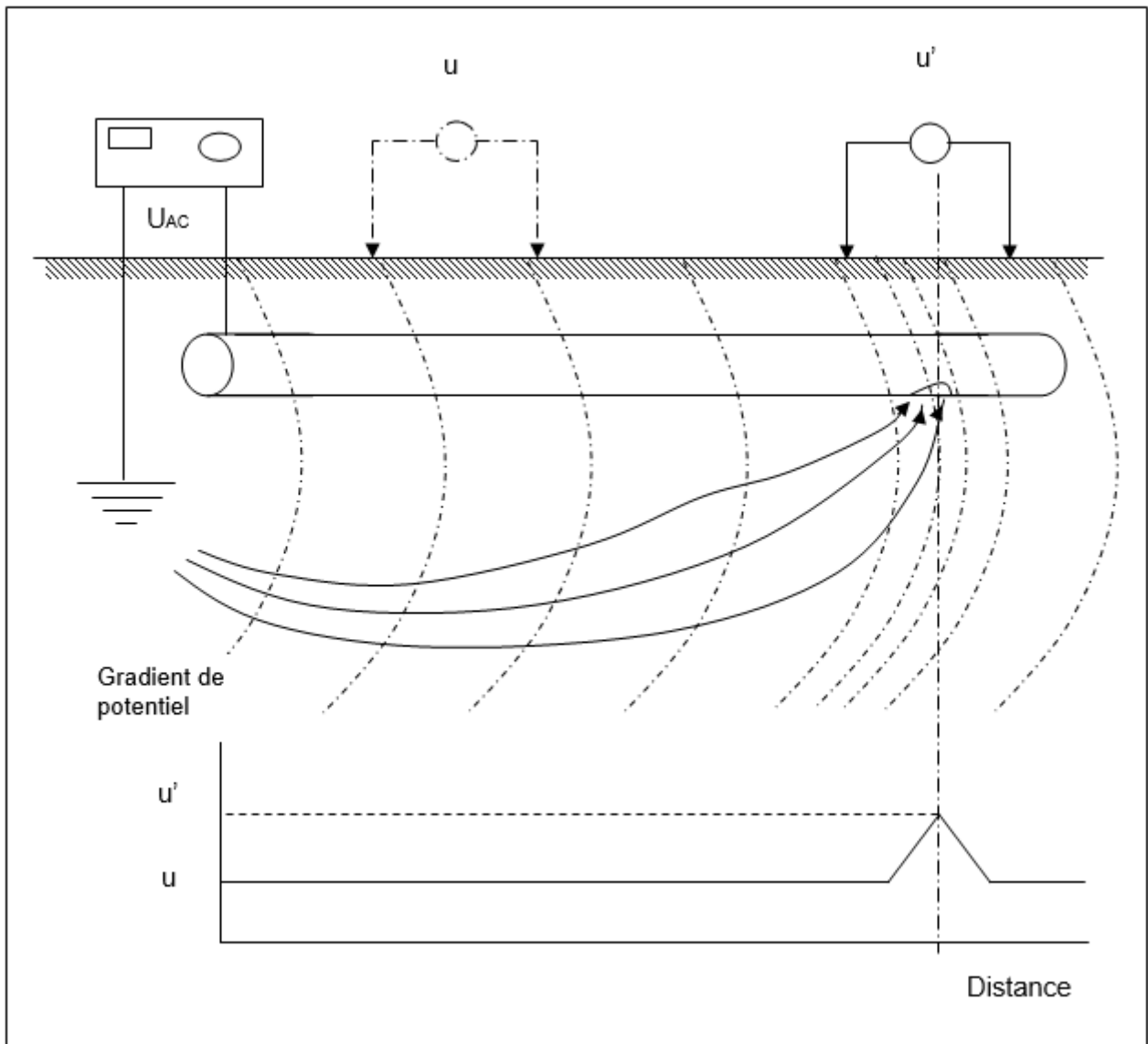


Figure 14 : Principe de la méthode Pearson

12.2.1 Intérêts de la méthode

Cette méthode de recherche de défauts de revêtement utilisant les courants alternatifs donne de meilleurs résultats que la technique DCVG dans le cas de conduites soumises à l'influence importante de courants vagabonds continus issus des voies ferrées électrifiées.

Ne seront détectés que les défauts de revêtement débouchant permettant un contact de l'acier avec l'électrolyte.

12.2.2 Limites de la méthode

Les générateurs de tensions ac utilisés ont généralement une puissance limitée ne permettant pas une portée importante du signal, notamment sur des conduites anciennes comportant des revêtements détériorés.

12.3 METHODE DE RECHERCHE DE DEFAUTS DE REVETEMENT PAR LA TECHNIQUE DES GRADIENTS DE POTENTIELS CONTINUS (DCVG)

12.3.1 Description de la méthode / Schéma de principe

Le courant de protection cathodique entrant dans la conduite par un défaut de revêtement génère dans le sol une différence de potentiel que l'on peut mesurer avec un voltmètre et 2 électrodes de mesure espacées et posées en parallèle de la conduite à la surface du sol.

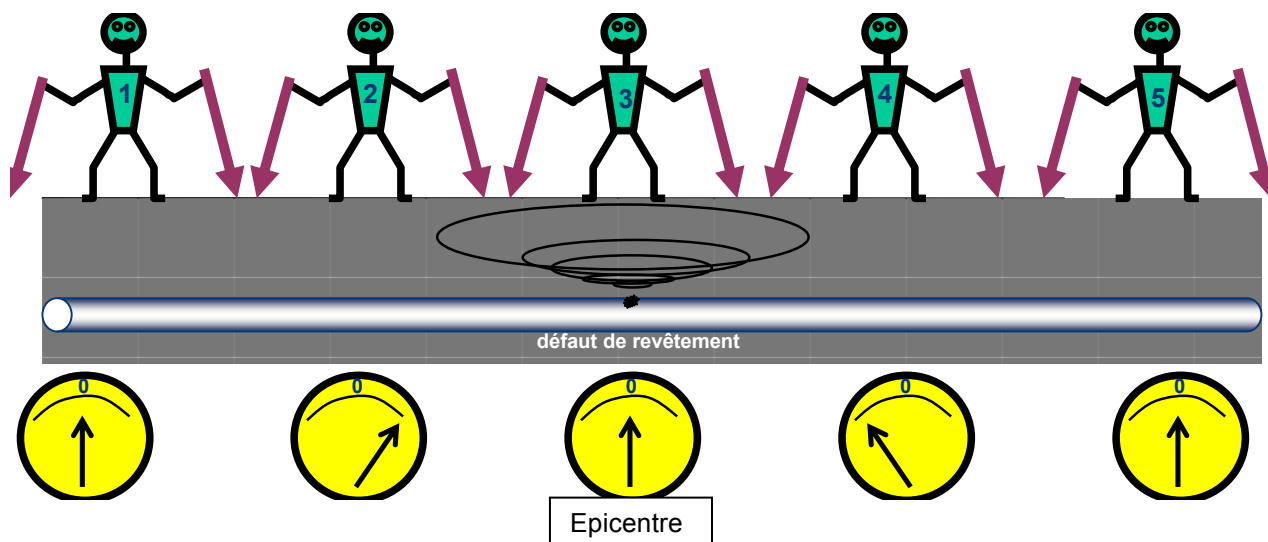


Figure 15 : Principe de la méthode "DCVG "

La recherche de défaut de revêtement par cette méthode consiste à mesurer, le long de la conduite en continu, la différence de potentiel entre deux électrodes de mesure distantes d'environ deux mètres (écartement des bras de l'opérateur).

En coupant cycliquement les sources de courant de protection cathodique (topeur, coupeur), la différence de potentiel au droit du défaut oscille périodiquement et est identifiée par le battement de l'aiguille du galvanomètre de l'appareil de lecture. Le sens de la déviation indique la direction du défaut.

La détection s'effectue en se déplaçant sur le linéaire de la canalisation avec les « cannes électrodes » disposées de préférence en parallèle à l'ouvrage.

L'opérateur identifie la présence d'un défaut de revêtement, en visualisant des battements (d'aiguille sur un galvanomètre ou du « bargraph » sur un afficheur numérique) ; sa localisation correspond à l'épicentre sur Figure 15

L'épicentre du défaut est le point de convergence de tous les courants de protection de surface, là où les gradients de potentiels s'annulent.

Pour une recherche plus efficace, il est préconisé d'augmenter la puissance de la source de courant cathodique sur laquelle est positionné le coupeur cyclique pour permettre d'obtenir un $\Delta E(EON-EOFF)$ significatif situé entre 100 et 500 mV sur la prise de potentiel en extrémité de la zone de recherche.

Remarques :

- La différence de potentiel (ddp) entre électrodes à la coupure de courant est corrigée (mise à zéro, offset) soit manuellement soit automatiquement selon l'appareil utilisé.
- Si besoin, plusieurs sources de courant peuvent être utilisées simultanément avec des coupeurs synchronisés.

12.3.2 Intérêts de la méthode

- La méthode DCVG permet la localisation et une estimation de la surface de métal en contact avec le sol.
- Dans le cadre d'un diagnostic de l'état de la canalisation, cet outil constitue une aide au choix des investigations complémentaires à mener et/ou des actions correctives à mettre en œuvre.
- Cette méthode permet de détecter les défauts isolés de très petites surfaces (« tête d'épingle ») pour des revêtements très résistants en bon état.

12.3.3 Limites de la méthode

- Cette technique est soumise aux mêmes contraintes que les mesures de potentiel en surface : il est nécessaire que le métal soit parfaitement en contact avec le sol pour détecter les défauts. Ainsi les défauts non débouchant de type décollement ne peuvent pas être détectés.
- Une recherche de défaut de revêtement nécessite un sol conducteur, et un bon contact sol/électrode : la recherche de défaut sur sol type bitume nécessite un « mouillage » préalable.
- Un petit défaut peut être masqué par un gros situé à proximité.
- Au droit d'un poste de soutirage, l'influence du déversoir peut perturber la détection des défauts. Dans ce cas, on arrête le poste et on installe une source de courant auxiliaire sur une prise de potentiel un peu éloignée de la zone de travail.
- Les courants vagabonds, en se superposant au signal de protection cathodique, peuvent engendrer une chute ohmique dans la lecture et ainsi gêner la détection d'un défaut.
- Lors des passages sous fourreau métallique, les signaux détectés localisent les entrées de courant sur le fourreau, et non sur l'ouvrage inspecté.
- Cette méthode ne permet pas de juger de l'efficacité de la protection cathodique au droit du défaut de revêtement détecté.

12.3.4 Évaluation du défaut

12.3.4.1 Principe d'évaluation par le %IR (ou %RI)

Lorsque, pendant la campagne de recherche, un défaut a été précisément localisé, il sera procédé à une mesure transversale. Ceci consiste à mesurer la chute ohmique générée par la coupure cyclique de la source de courant entre l'épicentre et la terre lointaine, à la perpendiculaire du tracé de la canalisation : ΔE_t , voir Figure 13.

La distance latérale à prendre en compte entre la canalisation et la terre lointaine peut varier de quelques mètres à plusieurs dizaines de mètres. La terre peut être considérée comme lointaine lorsque le gradient de potentiel (en mV/m) est devenu négligeable, par exemple inférieur à 5% de ce qu'il est au premier mètre en partant du défaut.

La mesure de la différence de potentiel peut être réalisée en déplaçant les électrodes pas à pas du défaut jusqu'à la terre lointaine et en additionnant les différences de potentiel mesurées. Il est également possible de faire une seule mesure entre le défaut et la terre lointaine en connectant l'électrode latérale avec un fil prolongateur (voir Figure 16).

Il est préférable de réaliser une mesure de chaque côté de la canalisation et d'en faire la moyenne.

Les unités pour les calculs suivants sont : R (ohm), I (ampère), ΔE et E (volt), RI (volt), X_D et L (mètre).

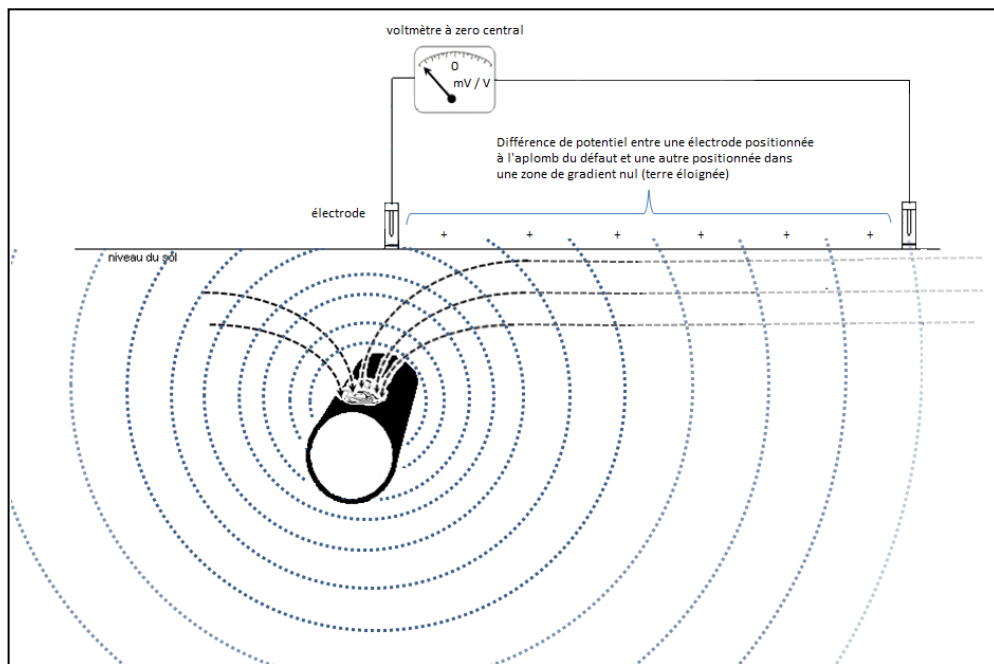


Figure 16 : Mesure de la différence de potentiel transversale ΔE_t au droit du défaut de revêtement

La chute RI peut être mesurée directement à l'endroit du défaut par la méthode CIPS (voir Figure 11) ou peut être calculée par interpolation entre les mesures réalisées aux deux prises de potentiel situées de part et d'autre du défaut (ΔE_I - voir Figure 16 – mesuré au niveau des prises de potentiel).

Enfin, le %IR est égal au quotient de la mesure transversale sur la chute ohmique au droit du défaut.

Pour le calcul de la chute ohmique à partir des mesures aux prises de potentiel voir la Figure 11

Une recherche de défaut peut être combinée avec un CIPS pour évaluer le potentiel de l'ouvrage au niveau du défaut de revêtement.

La différence de potentiel mesurée entre le défaut et la terre lointaine est utilisée pour calculer le %IR qui est considéré comme représentatif de la dégradation du revêtement.

La base de ce calcul est la chute RI incluse dans la mesure du potentiel de la canalisation à l'endroit du défaut.

Dans les rapports d'analyse des résultats, les indications de défaut peuvent être classées en catégories selon le %IR .

A titre d'information, l'inventeur de la méthode propose les quatre catégories ci-après pour classer les défauts par niveau de criticité :

1. 0-15 %IR
2. 16-35 %IR
3. 36-70 %IR
4. 71-100 %IR

Le %IR croît avec la surface du défaut sans que cela soit directement proportionnel.

12.3.4.2 Évaluation du défaut par comparaison des gradients

Une estimation de la surface du défaut sur la conduite peut être faite par comparaison des ΔE_t du défaut réel par rapport à celui d'un témoin d'aire connue positionné au niveau d'une prise de potentiel. Celui-ci est enterré et raccordé électriquement à la canalisation depuis un temps ayant permis au minimum la stabilisation de sa polarisation.

Un témoin connecté à l'ouvrage depuis plusieurs années permet une meilleure représentativité qu'un témoin provisoire même polarisé depuis quelques jours.

Il est important de noter que les comparaisons des mesures de chute ohmique ne sont pas souvent en rapport avec les tailles réelles des défauts de revêtement, car l'environnement électrique du défaut et son milieu sont rarement identiques à celui du témoin qui sert de référence. Cette méthode donne une indication empirique de la surface réelle du défaut de revêtement, tout en permettant une comparaison entre différents défauts dans un environnement similaire.

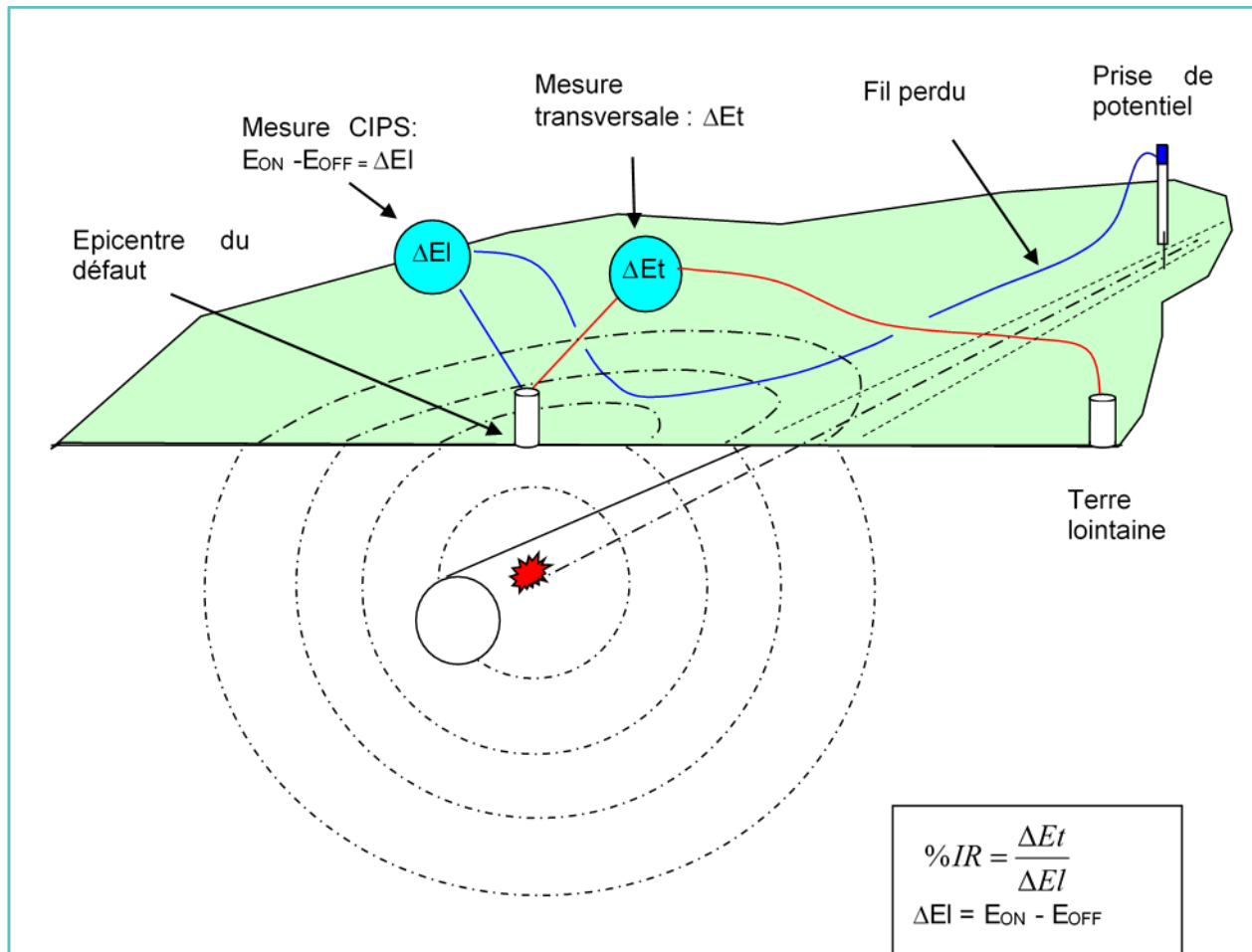


Figure 17 : Mesure transversale et CIPS pour calcul du %IR

Autres paramètres à prendre en compte pour l'évaluation de la sévérité du défaut mis en évidence par la méthode :

- état de surface du métal (présence éventuelle de dépôts).
- revêtement de la canalisation (type, état).
- résistivité du sol : elle peut jouer sur le %IR si elle n'est pas homogène entre les deux prises de potentiel adjacentes.
- caractéristiques du sol : composition chimique, pH, hydratation, homogénéité (sols homogènes, remblais).
- présence de courants vagabonds (continus, alternatifs).
- ...

13 Témoins de corrosion / sondes à résistance électrique

13.1 DESCRIPTION DE LA METHODE

Cette méthode permet, en utilisant des témoins enterrés, d'évaluer la corrosion éventuelle d'un milieu, d'un environnement sur un ouvrage avec ou sans protection cathodique. L'objectif étant de comparer la résistance électrique d'un témoin calibré, soumis à l'environnement étudié, à celle d'un témoin identique encapsulé (pour ne pas être soumis à la corrosivité du milieu), et d'en calculer une vitesse de corrosion instantanée, la résistance électrique du témoin variant en fonction de son niveau de corrosion.

Selon le type de matériel utilisé, et à l'aide d'une électrode de référence associée et d'interfaces électroniques il est possible d'obtenir diverses mesures supplémentaires :

- la densité de courant dc.
- le potentiel « ON ».
- le potentiel « IR Free » (potentiel sans chute de tension RI).
- le potentiel ac.
- la densité de courant ac.

13.2 INTERETS ET LIMITES DE LA METHODE

Cette méthode permet de contrôler des vitesses de corrosions dans le cas d'environnements perturbant les mesures de potentiels, comme des zones fortement perturbées par des courants vagabonds.

Elle constitue aussi une aide au diagnostic sur la cause de la corrosion notamment par les courants a.c. et d.c. puisque que les sondes permettent d'analyser la vitesse de corrosion avec les paramètres électriques (potentiel, densités de courant, résistance de dispersion, ...). Ainsi il devient possible de savoir sur quel(s) paramètre(s) agir pour réduire la vitesse de corrosion.

14 Mesure de courant sur canalisation

La norme NF EN 13509 décrit différentes techniques de mesure de courant :

- avec un ampèremètre.
- en appliquant la méthode ohmique sur un tronçon de canalisation.
- avec un shunt électrique.
- à l'aide d'une pince ampéremétrique (clamp).

En complément de ces techniques de mesures il est possible de mesurer le courant avec une barre électromagnétique (magnétomètre) depuis la surface du sol.

14.1 BARRE MAGNETOMETRE

Le « récepteur » magnétomètre est une « barre » en métal, possédant des bobines pour détecter le champ électromagnétique généré par le courant continu dans la conduite. Il est équipé d'un « datalogger » et d'une interface exploitable par l'intermédiaire d'un ordinateur.

14.1.1 Description de la méthode / Schéma de principe

Ce magnétomètre spécialisé pour la cartographie des courants vagabonds, permet de d'analyser des variations de courants continus présents sur une conduite enterrée. L'appareil détecte le champ magnétique généré par le passage du courant dans la conduite, une variation de ce courant entraîne une variation du champ. Cette variation de champ est mesurée par magnétométrie et permet le calcul du courant dans la conduite.

La variation du courant continu mesurée est engendrée par la présence de courants vagabonds continus, ou par l'insertion d'un synchro-rupteur au niveau d'un ou plusieurs soutirage(s) de courant.

Pour être identifiés sur les enregistrements de courants, ces synchro-rupteurs (synchronisés par GPS), doivent avoir une signature temporelle différente (décalage de la coupure les uns par rapport aux autres), sur la coupure de courant.

Lors de son utilisation, le magnétomètre doit être posé perpendiculairement à la conduite. La localisation précise préalable de la conduite est donc nécessaire. Dans le cadre de l'utilisation d'un ou plusieurs synchro rupteurs, l'interface permet de visualiser la localisation de la conduite étudiée (par rapport à la position de la barre) et d'en donner sa profondeur.

14.1.2 Méthode d'analyse statique

Les objectifs de cette méthode sont :

- de définir la zone d'influence d'une ou plusieurs source(s) de courant continu sur une conduite,
- de confirmer ou d'infirmer l'influence d'une source de courant sur une structure.

Pour analyser une situation selon cette méthode on utilise une barre réceptrice et un ou plusieurs synchro rupteurs.

14.1.3 Méthode d'analyse dynamique

L'objectif de cette méthode est de définir les différentes zones d'influences électriques des courants vagabonds, en aidant à localiser les « zones d'entrées » et les « zones de sorties » de courants sur une conduite étudiée.

Pour analyser une situation selon cette méthode on utilise trois barres réceptrices réparties géographiquement sur l'ouvrage à expertiser, de manière à localiser par recoupement les zones d'entrée et de sortie des courants. Généralement on commence par des écartements conséquents entre barres sur des zones suspectées d'entrée et de sortie de courant, puis on procède en réduisant les écarts, par étapes successives, pour déterminer plus finement les zones d'entrées et de sorties de courant.

14.1.4 Intérêts de la méthode

Permet la mesure de courant sur une canalisation enterrée depuis la surface du sol.

14.1.5 Limites de la méthode

L'appareil mesurant des fluctuations de champ magnétique il est perturbé par les champs engendrés par :

- La circulation de véhicules à moteur ;
- la circulation de trains ;
- les lignes électriques HT,...

14.2 CLAMP DE MESURE OU PINCE AMPEREMETRIQUES

Par opposition à la mesure sur shunt ou avec un ampèremètre, cette mesure est réalisée sans ajout de résistance en série dans le circuit de mesure. Elle est basée sur la mesure du champ électromagnétique généré par le courant à mesurer par effet HALL.

Cette mesure nécessite un accès physique à la conduite pour positionner la bobine de mesure (clamp ou pince ampèremétrique adapté au diamètre de la conduite) autour de l'ouvrage.

La mesure peut être perturbée par d'autres champs magnétiques générés au voisinage de la conduite.

15 Mesure de la résistance d'isolement d'une canalisation

15.1 INTRODUCTION

La présence du revêtement appliqué sur une structure lui confère une résistance d'isolement électrique par rapport à son milieu environnant.

Cette résistance dépend essentiellement :

- du nombre, de la taille des défauts liés aux conditions de pose.
- de la nature du revêtement appliqué et à son vieillissement.
- des dimensions de la structure.
- de la conductibilité de l'électrolyte en contact avec la structure.

La résistance d'isolement est exprimée en Ohm.m².

15.2 MESURE DE LA RESISTANCE D'ISOLEMENT PAR VARIATION DE L'INTENSITE

Cette mesure permet d'estimer la résistance moyenne d'isolement de la structure (Ri).

15.2.1 Principe de la mesure

La résistance de terre de l'ouvrage (Rt) inspecté est obtenue par des essais d'injection de courant. Cette résistance de terre est rapportée à la surface développée par l'ouvrage (S_{ouvrage}).

Par l'intermédiaire d'un déversoir provisoire situé au moins à 50 mètres de la structure à étudier, on procède à plusieurs (x) injections brèves de courant par paliers successifs I₁ à I_x et l'on mesure, les potentiels E₁ à E_x engendrés.

Ces essais d'injection permettent de tracer la courbe de polarisation de la structure inspectée.

La résistance d'isolement du tronçon inspecté (Ri) est obtenue par la formule :

$$R_t = \Delta E / \Delta I \text{ (pente de la partie linéaire de la courbe)}$$

$$R_i = R_t \times S_{\text{ouvrage}}$$

avec :

- R_t : résistance de terre du tronçon, en ohm (Ω).
- E_x mesure de potentiel à courant établi.
- ΔE et ΔI, variations de E en volt (V) et I en ampère (A)
- S_{ouvrage}, surface développée du tronçon, en mètre carré (m²).
- R_i, résistance d'isolement du tronçon, en ohm mètre carré (Ω.m²).

Tracer la courbe de résistance d'isolement et en déduire la valeur de R_t puis de R_i.

Les valeurs à considérer pour le calcul doivent être prises dans la partie linéaire de la courbe de polarisation.

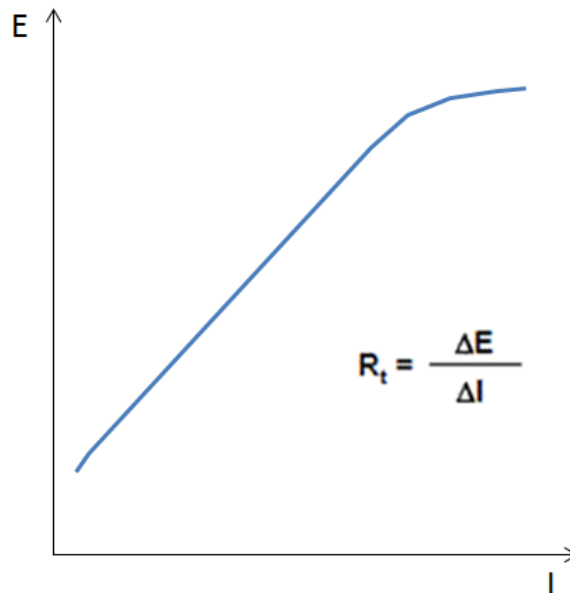


Figure 18 : courbe de détermination de R_t

15.2.2 Valeurs retenues pour la validation de la mesure

Les valeurs seuils étaient définies dans l'ex norme NF A05-655, selon le type de revêtement étudié, ces valeurs sont régulièrement utilisées dans la pratique.

Type de revêtement	Résistance d'isolement ($\Omega.m^2$)
Conduite en acier nu dans un sol argileux	20
Conduite d'acier avec revêtement brai de houille type C	5 000 à 100 000
Conduite d'acier revêtue de polyéthylène bande	10^4 à plus de 10^5
Conduite d'acier revêtue de polyéthylène ou polypropylène tri-couches	10^5 à plus de 10^6

15.2.3 Procédure des mesures/ Schéma de principe

Les extrémités du tronçon sont dégagées de tout contact (sol, eau, terre électrique, cale en bois humide,...).

Si la structure a une longueur inférieure à 5 km, on effectue cet essai en un seul point de l'ouvrage.

Pour des conduites de longueur supérieure à 5 km, l'essai est reproduit en un autre point et au moins tous les 10 km.

L'électrode de référence est positionnée dans une zone à gradient nul (le déplacement de l'électrode dans la zone ne donne lieu à aucune variation du potentiel mesuré supérieure à 5 mV/m sous l'influence du courant d'essai).

Le temps d'injection du courant d'essai est choisi de façon à ne pas provoquer une polarisation irréversible de l'acier :

- courant d'essai maintenu trois (3) secondes maximum.
- courant d'essai coupé cinquante-sept (57) secondes minimum.

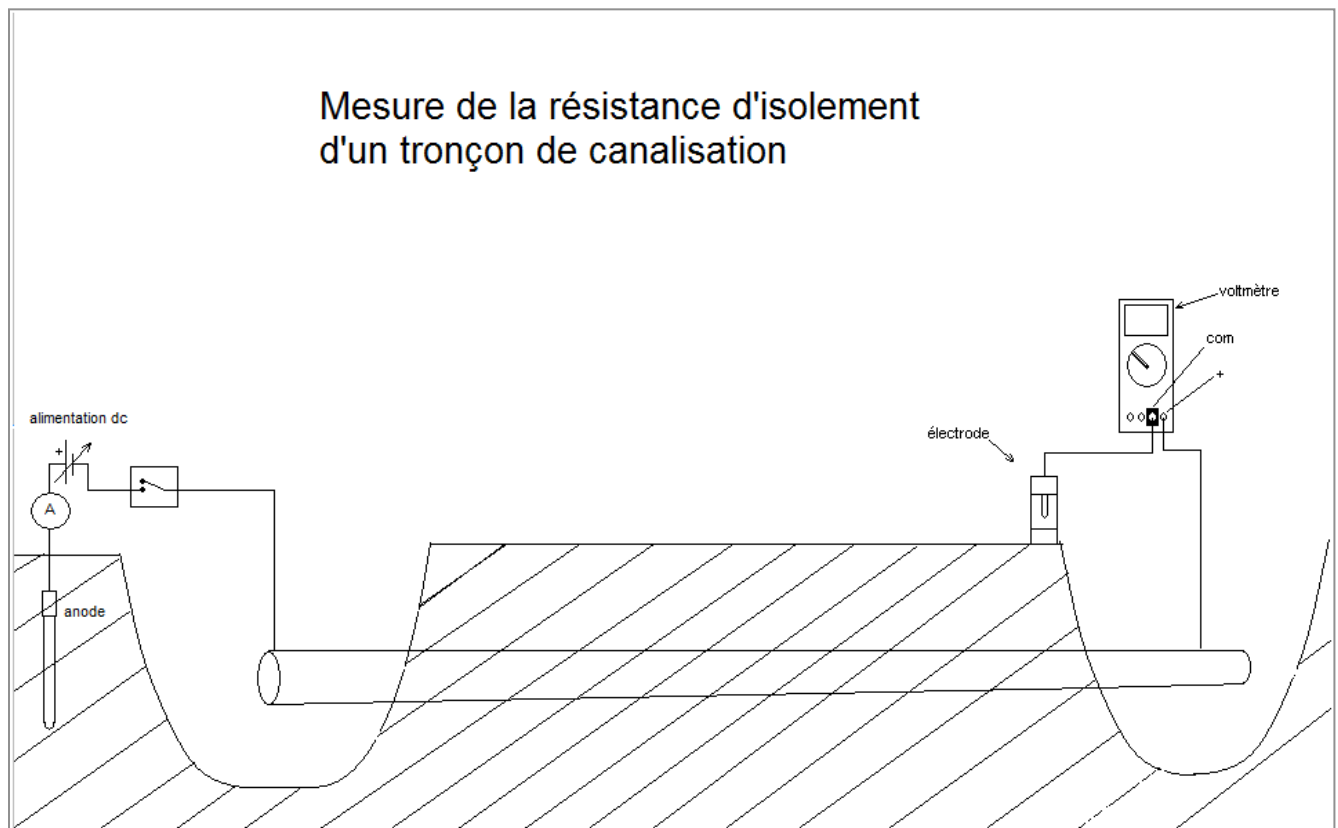


Figure 19 : Principe de mesure de la résistance d'isolement d'une canalisation

15.3 LIMITES DE LA METHODE

Si la structure à mesurer possède un revêtement en très bon état, les injections de courant doivent être très brèves et de très faibles intensités (typiquement quelques μA). Il est donc nécessaire d'avoir une source de courant pouvant générer aisément sur site ce courant. L'exigence est inverse si la structure à contrôler possède un revêtement très dégradé, car cela nécessitera de créer un déversoir anodique capable de générer un courant « important ».