

RECOMMANDATION PCRA 010

Juin 2013 – Rev.0

Protection contre la corrosion des canalisations aux passages en fourreaux - Prévention et contrôle

AVERTISSEMENT : La présente recommandation a été établie par consensus entre les membres de la commission Protection Cathodique et Revêtements Associés du CEFRACOR. 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 CEFRACOR et les membres de la Commission d'étude qui l'ont établie.

1 OBJET

Ces dernières années le retour d'expérience a montré que le passage d'une conduite dans un fourreau peut présenter quelques risques. Ce document traite de l'ensemble des problèmes techniques rencontrés sur les canalisations en fourreaux enterrés ou aériens, ou dans des caniveaux. Il propose des méthodes d'inspection, de mesures électriques et quelques solutions palliatives pour une meilleure maîtrise de ces points spéciaux.

Par ailleurs ce document propose des recommandations pour la pose de nouvelles canalisations en fourreaux ou en caniveaux.

Sont exclus du présent document les lestages posés autour des conduites, les canalisations noyées dans du béton ou installées en galerie visitable.

2 DEFINITIONS

Fourreau, Gaine :

Dispositif de protection de forme tubulaire à travers lequel une canalisation est introduite notamment au droit d'un croisement

Buse :

Élément constitutif de gaines en béton

Espace annulaire :

Espace délimité par le fourreau, la canalisation et les obturateurs

Electrolyte :

Liquide ou matériau solide non métallique comme la terre, dans lequel le courant électrique circule par le déplacement des ions présents

Event, Reniflard :

Elément de tuyauterie permettant par la mise à l'air de l'espace annulaire permettant la détection et/ou l'évacuation d'une éventuelle fuite vers le fourreau du fluide contenu dans la canalisation. Note : En pratique les reniflards peuvent être obturés en fonctionnement normal. En fonction de leur diamètre, ils peuvent être utilisés pour le remplissage du fourreau.

Collier de centrage :

Equipement annulaire isolant, permettant le supportage la canalisation dans le fourreau en assurant l'intégrité du revêtement

Obturateur :

Dispositif de fermeture des extrémités de fourreau pour éviter des mouvements de matière entre l'intérieur de l'espace annulaire et l'extérieur

Caniveau :

Ouvrage maçonné et couvert dans lequel passent une ou plusieurs canalisations

Galerie :

Tunnel souterrain généralement bétonné dans lequel passent une ou plusieurs canalisations et assez grand pour qu'on puisse la ou les visiter

Isolant :

Se dit d'un matériel ou matériau qui s'oppose au passage du courant électrique en créant une discontinuité électrique entre deux parties conductrices

3 RISQUES DE CORROSION

La problématique du passage des canalisations en fourreaux vient du fait que l'espace annulaire étant généralement vide, la protection cathodique ne peut y protéger d'éventuels défauts du revêtement de la canalisation. Avec le temps, l'étanchéité des obturateurs peut se dégrader, ce qui permet des entrées d'eau chargée de matières en suspension provenant des sols environnants. Selon les conditions hydrologiques locales, il peut alors apparaître des phénomènes de marnage propices à l'occurrence de corrosion accélérée de l'acier au niveau de défauts de revêtement.

En présence de contact franc gaine acier / canalisation, le courant de protection cathodique va se trouver court-circuité par ce contact ce qui empêche sa circulation à travers l'espace annulaire depuis la surface interne du fourreau vers les éventuels défauts de revêtement de la canalisation. De ce fait il n'y a plus possibilité de protection cathodique de la canalisation dans le fourreau. De plus, si le fourreau est en acier nu la protection cathodique peut se trouver perturbée sur des distances variables de part et d'autre du fourreau, selon la nature et l'état du revêtement de la conduite.

D'une manière générale, les fourreaux sont des points particuliers au droit desquels l'intégrité de l'ouvrage protégé peut être affectée. En particulier, sur les canalisations enterrées, les problèmes ci-après peuvent être rencontrés et nécessitent d'être pris en compte :

- Inefficacité de la protection cathodique,
- Défauts de revêtement,
- Décollement de revêtement.

Ainsi, eu égard à ces risques, il convient d'évaluer l'intégrité des tronçons de canalisation en fourreau conformément à la réglementation et en particulier selon les Guides Gesip 2007/ 04 et 05 « Surveillance, Maintenance et Réparations des Canalisations de Transport ». Dans le cadre du projet « JIP¹ », un document est en cours de préparation dans le but de définir un outil de hiérarchisation des fourreaux basé sur une « approche risques », en considérant plusieurs paramètres.

¹ Projet conjoint (Transporteurs et Ministère de l'Industrie et de l'Environnement) de R&D pour évaluation de l'aptitude au service des canalisations de transport

4 REVETEMENTS DE CANALISATION

Les revêtements anticorrosion des canalisations comprennent en particulier :

- Brai de houille,
- Bitume,
- Bandes plastiques,
- Polyéthylène (PE),
- Polypropylène (PP),
- Epoxy,
- Thermo rétractable.

Selon les retours d'expérience, la majorité des situations anormales en fourreaux a été observée sur des canalisations comportant un revêtement de type bitumineux-brai ou des bandes plastiques.

Sur des projets neufs, il est recommandé de choisir un revêtement ayant une adhérence ainsi qu'une résistance mécanique élevée. Les revêtements type PEHD (Haute Densité) et PP répondent à ces contraintes

5 TYPES DE FOURREAUX

Plusieurs configurations avec différents matériaux peuvent être rencontrées : les fourreaux enterrés, les fourreaux aériens comme des encorbellements sur ouvrages d'art, les caniveaux, les fourreaux ou gaines techniques :

Fourreaux non isolants :

- Gaine en acier nu intérieur et extérieur,
- Buse béton : buse âme tôle, buse béton de fonçage (armée ou non armée),
- Gaine acier plus tubage fibrociment,
- Buse fibrociment.

Fourreaux isolants :

- Gaine en PVC,
- Gaine en PE,
- Et tout autre matériau isolant (PRV, ...),
- Gaine acier revêtu intérieur et /ou extérieur.

Il est impossible d'utiliser ce type de fourreau isolant lorsque l'on souhaite assurer la continuité de la protection cathodique sauf à installer un système spécifique dans l'annulaire. En revanche, s'il est procédé à un remplissage de l'espace annulaire avec un matériau isolant, leur utilisation est possible. Néanmoins les fourreaux en acier revêtus extérieurement peuvent être utilisés lorsqu'ils sont connectés à une plaque en acier enterrée et de dimensions suffisantes ce qui permet alors à un courant de protection de circuler, si besoin, dans l'espace annulaire entre fourreau et défauts du revêtement de la canalisation.

Caniveaux :

Les caniveaux ne sont pas des fourreaux mais peuvent présenter, selon leur type de construction et environnement, certains problèmes similaires.

Ils peuvent être enterrés ou aériens et être constitués de :

- Pierre,
- Béton,
- Matériau isolant.

Ces installations peuvent comporter des événements et/ou reniflards, permettant de détecter la présence de fuite ou de ventiler l'espace annulaire. Cet espace annulaire peut être rempli avec différents matériaux (voir paragraphe 8).

6 COLLIERS DE CENTRAGES

Les colliers centreurs sont destinés à éviter tout endommagement du tube revêtu lors de son introduction dans le fourreau ainsi que tout contact tube/fourreau durant la durée d'exploitation.

Le principe de maintien et de serrage du collier doit être en adéquation avec le revêtement de la canalisation, pour éviter de l'endommager.

Une des fonctions de ces colliers étant d'isoler électriquement le tube par rapport au fourreau, l'emploi des systèmes centreurs comportant des pièces métalliques est vivement déconseillé.

Les colliers de centrage doivent être fixés de manière à ne pas riper sur la canalisation lors de son enfilage dans le fourreau. On utilise fréquemment de la bande d'enrobage haute résistance pour maintenir les colliers à assembler (la bande est positionnée derrière ou sous le collier).

Il est conseillé de doubler les colliers en entrée et sortie de gaine. La pose de collier centreur sur le revêtement de joints de soudure (type bande ou gaine thermo rétractable) doit être évitée.

Il est recommandé de faire un calcul pour déterminer le nombre, le type et la répartition des colliers.

Les types de colliers connus en fonction de leur ancienneté sont :

- Bourrelets de Brai,
- Lattis de bois (bacula),
- Colliers métalliques avec patins bois,
- Colliers plastiques avec visserie métallique,
- Colliers plastiques avec visserie plastique,
- Colliers plastiques sans visserie,
- Colliers moulés en PP ou PU sur le revêtement existant,
- Rouleaux de téflons,
- ...

7 OBTURATEURS

Généralement les fourreaux comportent des obturateurs à chaque extrémité soit pour empêcher un remplissage fortuit de l'espace annulaire soit au contraire pour contenir un remplissage volontaire.

Les obturateurs rencontrés sont typiquement :

- Manchons en matériaux thermo rétractables,
- Obturateurs caoutchouc,
- Obturateurs en tissus (fibre de verre),
- Plâtre,
- Rouleaux de feutre anti roche + mousse PU,
- Plaques de bois,
- ...

Pour des raisons évidentes, l'emploi de plaques métalliques (ou systèmes agressifs par rapport au revêtement ou à la conduite) est à proscrire. Le plâtre étant agressif pour l'acier, il est déconseillé de l'utiliser.

Les propriétés de l'élément choisi doivent répondre aux paramètres suivants :

- Tenue à la température d'exploitation,
- Flexibilité par rapport aux éventuels mouvements de terrain et/ou du tube,
- Etanchéité,
- Tenue à la pression en cas de remplissage,
- Tenue à la poussée du sol,
- Durabilité.

Le choix d'un obturateur se fait selon plusieurs critères en fonction du résultat recherché :

- Étanchéité à l'eau ou simple aptitude à empêcher le remblai de pénétrer dans le fourreau,
- Si un remplissage de gaine est prévu (permanent ou provisoire pour un contrôle), la tenue à la pression et à la température doit être prise en compte.

Les obturateurs sont en général disponibles en deux versions :

- Pour les chantiers neufs : obturateur à enfiler sur la canalisation puis à fixer,
- Pour les chantiers de réhabilitation : obturateur à enrouler autour de la canalisation et de la gaine.

La compatibilité entre le revêtement de la canalisation et l'obturateur doit être prise en compte, tout particulièrement si l'étanchéité à l'eau est recherchée.

Il est important de noter les contraintes techniques qui peuvent être liées au choix de certains obturateurs comme le parfait centrage du tube dans la gaine.

Le remblai autour des obturateurs doit être fait avec précaution.

8 REMPLISSAGE DE L'ESPACE ANNULAIRE

8.1 Principes généraux

Il est recommandé de vérifier l'isolement entre la canalisation et la gaine préalablement à tout remplissage, et d'éliminer tout contact éventuel entre l'acier de la canalisation et la gaine. Le remplissage de l'espace annulaire peut être fait avec un matériau conducteur (électrolyte) ou au contraire avec un matériau isolant :

- Dans le premier cas, l'électrolyte permet à la protection cathodique d'être active sur un défaut de revêtement présent sur la conduite située dans un fourreau non isolant,
- Dans le second cas, le système permet d'accroître la protection passive du tube.

L'éventuelle extraction du tube en cas de besoin doit être prise en compte dans le choix du matériau de remplissage. Ce produit doit répondre aux exigences environnementales applicables sur le site du chantier. Le produit de remplissage et la température d'injection doivent être compatibles avec le revêtement existant sur la conduite. La température de fusion du produit de remplissage doit en outre être supérieure à la température de fonctionnement normale de la canalisation.

Le processus de pose est spécifique à chaque produit/fournisseur et à chaque configuration de fourreau.

Il est nécessaire de formaliser le mode opératoire de pose et de contrôle afin de garantir un remplissage complet et pérenne. En fin d'opération, il est nécessaire de contrôler le volume de produit injecté par rapport au volume théorique à remplir.

Même si il est important de remplir en totalité l'espace annulaire, ce résultat est parfois difficile à obtenir, suivant le cas rencontré. Il est recommandé d'injecter un volume de produit supérieur au volume théorique.

Le remplissage du fourreau ne garantit pas l'élimination d'un contact fourreau/tube.

8.2 Précautions en présence de tension alternative induite

Les produits alcalins utilisés pour le remplissage de l'espace annulaire présentent, en général, les caractéristiques suivantes :

- Résistivité faible (typiquement inférieur à 50 Ω .m),
- pH basique (de l'ordre de 12).

Ces deux caractéristiques sont antagonistes vis-à-vis de la corrosion de l'acier. Un milieu de faible résistivité est considéré comme "corrosif". Cependant, tant que le pH reste supérieur à environ 10, le caractère passivant du milieu sera prédominant et les risques de corrosion seront minimisés. En cas d'activation de la corrosion due à la diminution du pH, la présence de la protection cathodique maintiendra l'acier de la canalisation à un potentiel de protection.

Toutefois, en présence d'influences par des courants alternatifs sur la canalisation, la corrosion peut être activée dans ces milieux alcalins et peut atteindre des vitesses significatives malgré une protection cathodique apparemment satisfaisante.

L'utilisation d'un produit alcalin de remplissage ne permet pas de prévenir le risque spécifique de corrosion auquel sont exposées les canalisations soumises à des courants alternatifs induits.

Dans ce cas, l'utilisation de ces produits alcalins n'est pas recommandée quel que soit le type de gaine (acier, béton). Lorsque le remplissage est une obligation pour l'exploitation de l'ouvrage, il peut être utilisé :

- du sable de rivière (les caractéristiques du sable utilisé sont à considérer),
- des produits isolants qui peuvent être injectés afin d'isoler et d'enrober les éventuels défauts survenus pendant l'enfilage.

En dehors des influences par courants alternatifs (cf. prEN 15280) le remplissage avec des produits alcalins est tout autant possible qu'avec d'autres produits.

8.3 Remplissage avec un matériau conducteur

Lorsque le fourreau est en matériau conducteur, le remplissage de gaine avec un électrolyte a pour but premier d'assurer la continuité de la protection cathodique dans le fourreau en remplissant l'espace annulaire avec un produit de faible résistivité électrique.

Lorsque le fourreau est en matériau isolant il est nécessaire de l'équiper d'un dispositif permettant une entrée de courant dans l'électrolyte pour assurer la protection cathodique. Une fois la gaine remplie, la canalisation est calée dans le fourreau, le matériau développant une résistance mécanique. Il est recommandé d'installer un témoin métallique, raccordé au tube, dans l'électrolyte afin de vérifier que le courant de protection atteint le métal.

Selon le produit utilisé et le remplissage effectué, l'eau et l'air peuvent plus ou moins pénétrer dans l'espace annulaire. Par exemple certains produits sont entièrement imperméables à l'eau.

La mise en place d'un électrolyte dans l'espace annulaire assure la continuité électrique permettant la protection cathodique de la conduite dans le fourreau.

Les propriétés recherchées au travers des produits utilisés sont les suivantes, sachant qu'elles sont différentes pour chaque produit :

- Calage de la canalisation dans le fourreau (dépendant de la résistance mécanique et la stabilité dans le temps du matériau de remplissage. A noter: le sable, par exemple, a une faible résistance mécanique),
- Continuité de la protection cathodique dans l'espace annulaire (dépendant de la résistivité du matériau de remplissage),
- Etanchéité à l'air et/ou à l'eau,
- Produit pouvant être retiré ou non.

Par expérience, le sable présente les deux inconvénients suivants :

- Difficulté accrue de remplissage de l'espace annulaire à 100% par rapport à d'autres matériaux (risque de discontinuité de la protection cathodique),
- Matériau meuble ne contribuant pas au calage de la canalisation.

8.4 Remplissage avec un matériau isolant

Le remplissage de gaine avec un matériau isolant a pour but d'isoler la canalisation de son environnement en remplissant totalement l'espace annulaire avec un produit non conducteur de courant électrique.

Il s'agit de compléter le revêtement existant du tube en comblant tout l'espace annulaire. Cette méthode permet de réparer les éventuels défauts de revêtement présents sur la canalisation, et de résorber les contacts électrolytiques entre la gaine et la canalisation.

Le matériau utilisé est, soit à base de cire, soit à base d'un composant semi solide. Il doit répondre à plusieurs critères pour assurer la pérennité du système :

- Il doit être flexible,
- Il ne doit pas craqueler (dans le temps ou sous contrainte mécanique),
- Il doit être isolant électrique,
- Il ne doit pas être soluble dans l'eau,
- Il doit être adapté à la température d'exploitation.

En fonction des produits choisis et de la configuration de la gaine, il existe des solutions de pose à chaud ou à froid. Pour les injections de plus de 1500 litres, on utilise souvent les injections à chaud.

Le processus de pose doit tenir compte des paramètres suivants :

- Tenue mécanique des obturateurs à la pression,
- Présence et position des événements,
- Pente du fourreau,
- Longueur du fourreau,
- Position de la conduite dans le fourreau,
- Ecartement annulaire minimal,
- Propreté de l'espace annulaire,
- ...

9 METHODES D'INSPECTION

9.1 Généralités

Un certain nombre de mesures et de techniques est disponible pour établir un plan d'inspection permettant un diagnostic des canalisations en fourreau. Parmi celles-ci, on peut lister :

- Des mesures permettant d'évaluer les risques de corrosion,
- Des mesures permettant d'évaluer l'état du revêtement du tube à l'intérieur du fourreau,
- Et enfin des inspections permettant d'évaluer l'intégrité du métal du tube,

Les techniques de mesure sont ici listées sans ordre hiérarchique. Les Guides Gesip 2007/ 04 et 05 définissent leur mise en œuvre.

9.2 Mesures permettant d'évaluer les risques de corrosion

L'objectif de ces mesures est de sélectionner des canalisations et/ou de classer les canalisations en fonction du risque de corrosion qu'elles encourent, ceci en vue de programmer des inspections complémentaires ou des analyses plus approfondies. Ces mesures électriques s'appliquent uniquement aux fourreaux métalliques.

Ces mesures comprennent :

9.2.1 Mesure du potentiel de la canalisation

Des mesures de potentiel selon les normes en vigueur permettent de déterminer l'efficacité de la protection cathodique dans l'environnement du fourreau. A moins de garantir la présence d'un électrolyte dans tout l'espace annulaire, cette évaluation n'est valable que pour la canalisation à l'extérieur du fourreau et en contact avec le sol.

Des mesures comparatives du potentiel ON de la canalisation et du potentiel du fourreau permettent de vérifier leur isolement.

9.2.2 Mesure du niveau de la nappe phréatique au droit de la gaine

L'installation d'un puits de mesure à côté du fourreau contribue à :

- suivre l'évolution du niveau de la nappe phréatique,
- vérifier si la conduite dans le fourreau est soit toujours immergée, jamais immergée, partiellement ou temporairement immergée.

9.2.3 Test d'isolement fourreau/canalisation

Préalablement au test, une détection de gaz est recommandée aux sorties des événements. En l'absence de détection de gaz réalisé au préalable, ce test n'est pas recommandé dans le cas de transport de gaz inflammable ou comburant.

Ce test permet de mettre en évidence un contact entre le fourreau et la canalisation.

Au moyen d'une batterie, une tension est appliquée entre le câble connecté sur le fourreau d'une part et celui connecté à la canalisation d'autre part.

AVERTISSEMENT : Par mesure de sécurité, le courant doit être limité en mettant une résistance en série dans le circuit de manière à éviter tout arc électrique préjudiciable entre le fourreau et la canalisation (dégradation de l'acier).

Le courant mesuré est comparé avec le courant débité sur la résistance seule (tension de réglage identique dans les deux essais) pour confirmer ou non un contact métallique ou électrolytique fourreau/conduite.

Des mesures spécifiques complémentaires permettent de localiser un éventuel contact. Pour plus de détails sur ces mesures, voir Annexe 1 « Mesures électriques sur gaine acier ».

9.2.4 Vérification de l'isolement fourreau/canalisation par analyse de polarisation de témoin

Cette méthode consiste à comparer le comportement d'un témoin métallique dans le sol lorsqu'il est connecté à la gaine par rapport à son comportement lorsqu'il est relié à la canalisation. L'annexe 2 donne une description plus détaillée de cette méthode.

9.2.5 Vérification de l'isolement fourreau/canalisation par analyse de polarisation de gaine

Le but de cet essai est d'injecter sur la gaine métallique un courant de protection cathodique afin d'analyser le comportement en potentiel de la gaine et de la conduite dans la gaine.

A cet effet, il est nécessaire de créer localement, à proximité de la gaine à tester, un soutirage de courant avec déversoir provisoire. Il est ensuite connecté uniquement à la gaine métallique.

Soutirage en service, avec une électrode de mesure placée au-dessus de la gaine, on enregistre l'évolution simultanée du potentiel de la gaine et celui de la conduite.

L'interprétation des résultats de ces tests est simple :

- s'il y a un contact électrique franc entre la gaine et le pipeline : les deux potentiels vont évoluer dans le même sens et devenir plus électronégatifs,
- s'il n'y a pas de contact franc entre la gaine et le pipeline : le potentiel de la gaine évolue sans modifier le potentiel du pipeline,
- si il y a un contact électrolytique entre la gaine et le pipeline : un défaut de revêtement étant présent sur le tronçon de conduite compris dans la gaine, il y aura influence, et les deux potentiels vont s'opposer, l'un devenant positif (cas généralement pour la conduite), l'autre devenant négatif (cas généralement pour la gaine).

9.2.6 Mesure d'isolement fourreau/canalisation par mesure capacitive

Cette technique consiste à appliquer une tension continue à travers un système capacitif, formé par l'ensemble « fourreau métallique / revêtement / canalisation » pour générer une charge capacitive. Cela revient à charger un condensateur avec une source de courant continu. En position « CHARGE », le galvanomètre, permet de contrôler, l'injection du courant et, en position « TEST », la « capacité » du système :

- Si l'ensemble « fourreau métallique / revêtement / canalisation » est parfaitement isolé, il est considéré comme un condensateur parfait (aiguille du galvanomètre au maxi),
- Si l'ensemble « fourreau métallique / revêtement / canalisation » est en court-circuit, il est considéré comme un conducteur (aiguille du galvanomètre au mini),
- Si l'ensemble « fourreau métallique / revêtement / canalisation » n'est pas parfaitement isolé (beaucoup de défauts de revêtements et espace annulaire rempli d'électrolyte), il est considéré comme un conducteur ionique (l'aiguille du galvanomètre en position médiane).

9.3 Mesures de l'état du revêtement du tube

9.3.1 Différentes techniques de mesure

De nombreuses techniques sont disponibles pour contrôler l'intégrité du revêtement des sections de canalisations en fourreau. Ces techniques nécessitent la présence d'un électrolyte dans l'espace annulaire.

La seule connaissance de l'existence de défauts de revêtement (présence de poinçonnement, de fluage, de décollement du revêtement, défauts d'application, ...) ne permet pas de conclure quant à l'état du métal ; il est en effet nécessaire de savoir si ces défauts présentent un risque réel pour les canalisations.

Certaines techniques de contrôle décrites sommairement ci-après utilisent les mesures de gradient de potentiel issues des courants électriques circulant entre la canalisation et le sol au travers de défauts du revêtement. Seuls les défauts qui permettent un échange de courant entre l'électrolyte du terrain et l'acier peuvent être détectés.

Les différentes techniques suivantes peuvent être utilisées :

- Contrôle de revêtement par la technique d'atténuation,
- DCVG (Voir guide Gesip 2007/ 05),
- Pearson (Voir guide Gesip 2007/ 05),
- Mesure de courant (Clamp),
- Magnétomètre.

9.3.2 Contrôle de revêtement par la technique d'atténuation

Objet

Après s'être assuré que l'espace annulaire est entièrement rempli d'un électrolyte, la technique d'atténuation permet de déterminer si, dans le fourreau, la conduite a une perte d'isolement.

Particularité de la technique

L'atténuation du courant mesuré entre les deux extrémités du fourreau indique la présence d'un ou plusieurs défauts de revêtement à l'intérieur du fourreau.

Remarque : Au droit du fourreau la puissance du signal de réception diminue par l'effet d'écran, qu'il y ait ou non un défaut ou un contact fourreau/conduite. Les mesures du signal à chaque extrémité doivent être prises légèrement éloignées du fourreau du fait de cette perturbation.

9.3.3 Recherche de défaut de revêtement par la technique PEARSON ou la technique DCVG

Les techniques Pearson et DCVG permettent seulement la détection d'entrée ou de sortie de courant sur le fourreau mais ne permettent pas la localisation précise de défaut de revêtement sur la canalisation à l'intérieur du fourreau. La valeur du gradient mesurée est une indication de l'importance du ou des défauts.

9.3.4 Mesure avec une pince ampèremétrique (clamp)

Cette méthode nécessite une excavation de part et d'autre du fourreau pour installer la pince ampèremétrique autour de la conduite.

La méthode est similaire à la mesure par magnétomètre ; il n'est toutefois pas nécessaire de signer le courant.

9.3.5 Mesure par magnétomètre

L'objectif de cette méthode est d'évaluer l'intensité du courant circulant dans la canalisation au niveau du fourreau.

Cette méthode permet, en signant le courant de protection cathodique, de déterminer les entrées de courant au niveau du fourreau en mesurant le champ électromagnétique généré. Deux cas sont à considérer :

- En l'absence de courants vagabonds, la même barre (magnétomètre) peut être utilisée avant puis après le fourreau.
- En présence de courants vagabonds, il faut mettre simultanément une barre de mesure de part et d'autre du fourreau pour faire cette mesure.

Tableau 1 Récapitulatif de techniques de mesure électriques

Technique de mesure	Applicable sur gaine Acier (A) Béton (B)	Equipement requis localement	Objectif de la mesure	Observations commentaires
Détermination de contact				
9.2.1 Mesures comparatives de potentiel ON	A	Prise de potentiel sur fourreau et canalisation	Vérification de l'isolement	Peu précis (sauf en cas de contact franc)
9.2.4 Mesures d'analyse de polarisation de témoin	A	Prise de potentiel sur fourreau et canalisation	Détermination de contact franc, pas de contact ou contact électrolytique	
9.2.5 Mesures d'analyse de polarisation de gaine	A	Prise de potentiel sur fourreau et canalisation	Détermination de contact franc, pas de contact ou contact électrolytique	
9.2.6 Mesures capacitives	A	Prise de potentiel sur fourreau et canalisation	Détermination de contact franc, pas de contact	
9.2.3 et Annexe A.1 Test d'isolement fourreau/canalisation	A	Prise de potentiel sur fourreau et canalisation	Détermination de contact franc, pas de contact ou contact électrolytique	Détection de gaz préalable nécessaire. Maitrise du courant débité nécessaire
Localisation de contact				
9.2.3 et Annexe A.1.2.1 Test d'isolement fourreau/canalisation Méthode 1	A	1 Prise de potentiel sur fourreau et 2 sur canalisation à chaque extrémité	Permet de calculer (en mètres) la localisation du contact	
9.2.3 et Annexe A.1.2.2 Test d'isolement fourreau/canalisation Méthode 2	A	Prises de potentiel sur fourreau et canalisation à chaque extrémité	Permet de calculer (en mètres) la localisation du contact	Si nécessaire prendre en compte la résistance des câbles
Evaluation d'importance de défaut de revêtement				
Atténuation de courant	A et B		Mesure de la perte éventuelle de courant dans le fourreau	Significatif si atténuation importante, car un fourreau atténué les signaux par cette méthode
DCVG	A et B		Détection des entrées de courant sur le fourreau	Peu concluant si pas de comparaison avec défaut artificiel
Pearson	A et B		Détection des entrées de courant sur le fourreau	Peu significatif car pas de comparaison possible
Magnétomètre	A et B		Mesure d'un gain éventuel de courant dans le fourreau	Permet de réaliser la mesure sans accès à l'ouvrage
Mesure de courant (Clamp)	A et B		Mesure d'un gain éventuel de courant dans le fourreau	Nécessite une excavation de part et d'autre du fourreau

9.4 Inspections de l'état de la canalisation

9.4.1 Contrôle des événements

La présence d'événements sur un fourreau permet de faire une détection d'une éventuelle fuite sur la conduite à l'intérieur de l'espace annulaire.

Les moyens de détection sont spécifiques au produit transporté.

Ce contrôle ne permet pas de démontrer le bon état de la canalisation mais met en évidence un défaut de la canalisation lorsqu'une fuite est détectée.

9.4.2 Racleur instrumenté

Le passage d'un racleur instrumenté dans toute la canalisation permet d'inspecter le métal du tube notamment dans les passages sous fourreau. Pour plus d'information voir Guide Gesip 2007/05.

9.4.3 Test en pression

Afin de démontrer l'intégrité de la canalisation à l'intérieur d'un ou des fourreaux, un test en pression peut être réalisé. Ce test est réalisé par tronçon isolé.

Pour plus d'information sur les conditions d'un test en pression, il convient de se référer au guide Gesip 2007/04.

9.4.4 Technique des ondes ultrasonores à « longue portée » dites ondes guidées

La technique consiste à envoyer des ondes ultrasonores basses fréquences (typiquement de 15 à 70 kHz) le long de la canalisation et analyser les réflexions provenant des hétérogénéités structurales (perte d'épaisseur, présence d'une soudure, ...). Les ondes ultrasonores se propagent si la section totale du tube est égale à leur longueur d'onde ou à un multiple de celle-ci produisant un effet de résonance. Les ondes peuvent se propager sous différents modes : longitudinal (L), de flexion (F) et de torsion (T).

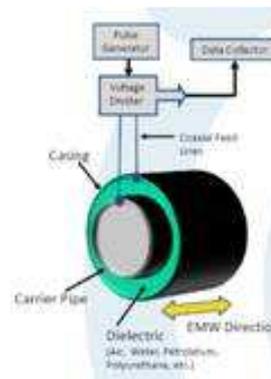
Au stade actuel de leur développement, les ondes guidées doivent être considérées comme une technique uniquement qualitative de détection des pertes de métal significatives affectant la section d'un tube. La sensibilité de détection généralement annoncée est de l'ordre de 3 % de réduction de l'aire de la section du tube mais cette valeur est à relativiser en fonction de nombreux paramètres liés à la canalisation (distance de l'anomalie par rapport au capteur, nature et épaisseur du revêtement, type de substance dans l'espace annulaire du fourreau, nature du fluide transporté, présence éventuelle de soudures longitudinales ou hélicoïdales, présence d'accessoire sur la canalisation et parties cintrées). En pratique, et notamment pour des revêtements brai, la distance d'inspection s'avère être extrêmement réduite.

Dans le cadre du projet « JIP », un document est en cours de préparation avec le but d'établir une évaluation de performance de ces outils.

9.4.5 Technique des ondes guidées électromagnétiques

La technique des ondes guidées électromagnétiques consiste faire propager une onde électromagnétique (d'un même type qu'une onde émise par un radar) dans l'espace annulaire entre le fourreau métallique et la canalisation.

Un générateur est relié électriquement à la canalisation et au fourreau métallique. Des ondes électromagnétiques sont générées et propagées dans l'espace annulaire. Les modifications du diélectrique dans l'espace annulaire par la présence de rouille, d'eau, de contact métal/métal et de variation d'épaisseur, conduisent à des modifications de l'amplitude et de la polarité des réflexions. La distance d'inspection serait d'une trentaine de mètres.



9.4.6 Contrôle visuel de l'espace annulaire

9.4.6.1 Endoscopie

La technique consiste à introduire une mini-caméra endoscopique dans l'espace annulaire afin de détecter visuellement l'état général du revêtement et des colliers de centrage et éventuellement la présence d'eau ou de boue. La caméra peut être introduite par les extrémités du fourreau après excavation ou par les événements, si leur configuration le permet. Cette technique se limite à un contrôle visuel non exhaustif.

9.4.6.2 Contrôle direct

Dépose du fourreau

Lorsqu'une excavation de l'ensemble du fourreau est possible, le fourreau peut être déposé afin de réaliser un examen complet de la canalisation dégagée. Cet examen peut être réalisé visuellement ou par des techniques d'inspection non destructives. Lors de la découpe du fourreau, des précautions doivent être prises pour éviter d'endommager la canalisation.

Dépose du tube

A l'occasion de travaux nécessitant le remplacement d'un tronçon comportant un fourreau, la dépose et le contrôle visuel de l'état du tube contribue à établir un retour d'expérience.

10 CRITERES D'EVALUATION DE DEFAUTS

Les éventuels défauts de corrosion identifiés seront évalués selon les méthodes répertoriées dans le guide Gesip 2007/ 05.

11 POSE DE NOUVELLES CANALISATIONS

En général, la pose en fourreau doit si possible **être évitée** (par exemple pose à ciel ouvert avec protection mécanique ou forage dirigé).

Dans le cas où un fourreau est nécessaire et lorsque des risques de corrosion sont à craindre, notamment dans le cas où le fourreau se situe dans une zone de marnage, il est recommandé de faire un remplissage de l'espace annulaire.

Il est recommandé de prévoir des événements lors de la construction d'un fourreau. Ces événements seront situés de préférence près des extrémités, un en partie basse et l'autre en partie haute de la gaine. Ces événements pourront permettre le contrôle d'une éventuelle fuite ainsi que le remplissage du fourreau. Il convient que leur diamètre ne soit pas inférieur à 40 mm (cf. projet de norme ISO n°CD 16440).

L'utilisation des fourreaux isolants est déconseillée. Toutefois, dans le cas particulier où un fourreau isolant est utilisé, il est préférable de remplir l'espace annulaire avec un matériau isolant. Si le remplissage se fait avec de l'électrolyte, on peut y associer un système complémentaire de protection cathodique dans cet électrolyte (câble galvanisé dans l'espace annulaire, anodes galvaniques, ...).

Dans le cas d'un fourreau en acier revêtu extérieurement, il est possible d'ôter une partie du revêtement ou d'y connecter une cathode en acier pour permettre une entrée de courant de protection cathodique.

Lors d'un remplissage en électrolyte, des précautions sont à prendre en compte en cas de présence de tension alternative induite (voir § 8).

Dans le cas d'un remplissage avec électrolyte, afin de pouvoir optimiser l'efficacité de la protection cathodique de l'ouvrage, il est recommandé de mettre en place un témoin métallique sur la canalisation, raccordé à la conduite par la prise de potentiel, et en contact avec le produit de remplissage (dans l'espace annulaire).

Mesure de résistance d'isolement

Dans le cadre d'un passage de canalisation sous fourreau, la mesure de la résistance d'isolement de la canalisation permet d'analyser expérimentalement l'intégrité du revêtement suite à l'enfilage de la conduite dans la gaine. Cette technique ne peut être mise en œuvre qu'après remplissage de l'espace annulaire avec de l'eau ou un électrolyte (voir § 8.3).

Annexe 1 Mesures électriques sur gaine acier

A1.1 Contrôle de l'isolement conduite/fourreau

Ce test permet de mettre en évidence un contact entre le fourreau et le tube.

Au moyen d'une batterie et d'une résistance de $1 \Omega/200 \text{ W}$ (valeurs données à titre d'exemple) connectée en série dans le circuit, une tension de 12 V est appliquée entre le câble connecté sur le fourreau d'une part et celui connecté au tube d'autre part (voir Figure 1).

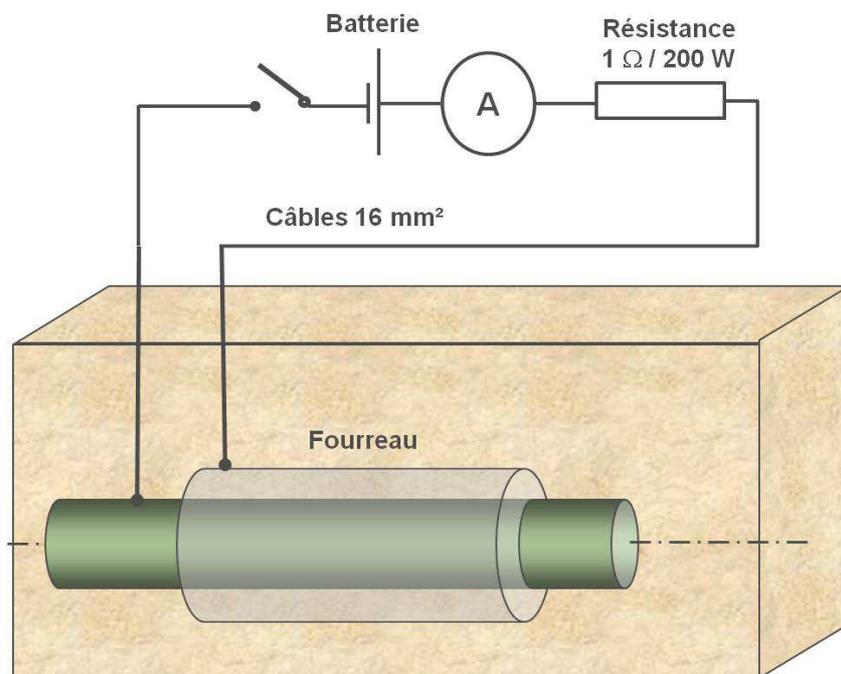


Figure 1 Contrôle de l'isolement conduite/fourreau

Suivant le résultat du courant mesuré, les conclusions à tirer sont les suivantes :

- Si le courant mesuré est supérieur à 10 A, il y a forte présomption de contact franc entre la conduite et le fourreau,
- Si le courant mesuré est compris entre 5 et 10 A, le point de mesure est à contrôler périodiquement afin de vérifier qu'il n'y ait pas évolution vers un contact franc entre la conduite et le fourreau,
- Si le courant mesuré est inférieur à 5 A, il y a forte présomption de contact électrolytique entre la conduite et le fourreau.

La mesure de courant peut être réalisée avec une pince ampèremétrique ou sur un shunt 20 A/100 mV.

A1.2 Localisation des contacts fourreau acier/conduite

A1.2.1 Méthode 1

La démarche selon la Méthode 1 est la suivante :

1. Injecter du courant avec un générateur d.c. en série avec une résistance 1 ohm 200 W, et contrôler les potentiels V , V_1 , et V_2 comme indiqué sur le schéma de la Figure 2,
2. Relever simultanément les tensions V , V_1 , et V_2 ,
3. Calculer la distance L_1 (ou L_2) recherchée :

$$L_1 = L \cdot V_1 / V \quad \text{ou} \quad L_2 = L \cdot V_2 / V$$

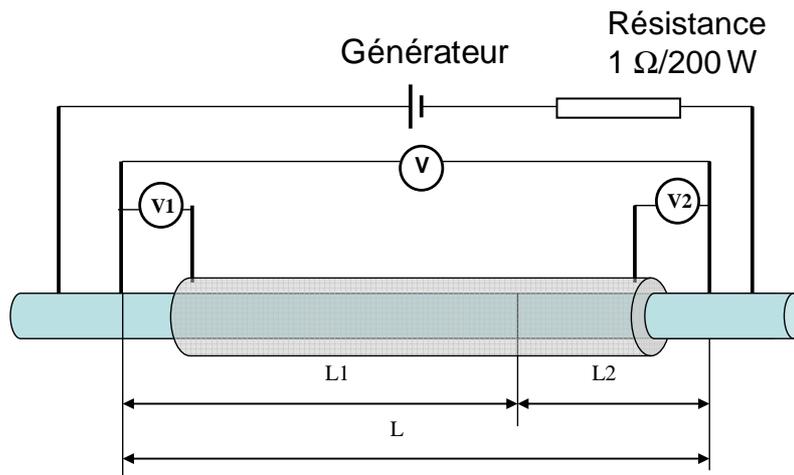


Figure 2 Schéma de principe – Méthode 1

A1.2.2 Méthode 2

La démarche selon la Méthode 2 est la suivante (voir Figure 3) :

1. Injecter avec un générateur d.c. en série avec une résistance 1 Ohm 200 W du courant côté 1. Relever le courant I_1 et la tension V_1 ,
2. Injecter avec un générateur d.c. en série avec une résistance 1 Ohm 200 W du courant côté 2. Relever le courant I_2 et la tension V_2 ,
3. Calculer les distances L_1 et L_2 à partir de :

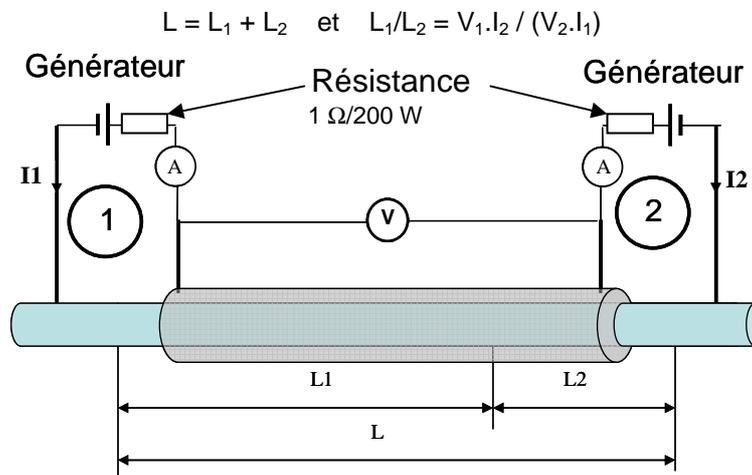


Figure 3 Schéma de principe – Méthode 2

Annexe 2 Vérification de l'isolement fourreau/canalisation par analyse de polarisation de témoin

Principe de la méthode

Cette méthode consiste à comparer le comportement d'un témoin métallique par la méthode de mesure de potentiel ON/OFF sur témoin lorsqu'il est connecté à l'ouvrage sous PC par rapport à son comportement lorsqu'il est relié à la gaine métallique.

Matériel nécessaire

- Un témoin métallique temporaire (piquet, ou autre),
- Une interface de mesure à courant coupé sur la liaison ouvrage/témoin avec système d'enregistrement,
- Une électrode Cu/CuSO₄,
- Des câbles de liaison et des pinces crocodiles.

Symboles utilisés :

- E_{on} : potentiel du témoin connecté à la structure
- E_{off} : potentiel du témoin après déconnexion de la structure,
- I_T : Courant consommé par le témoin lorsqu'il est connecté à la structure (Attention : dans ce descriptif, le courant cathodique sur le témoin est négatif [borne **négative** de l'ampèremètre côté témoin]).

Nota : les potentiels sont toujours mesurés par rapport à une électrode Cu/CuSO₄ saturé.

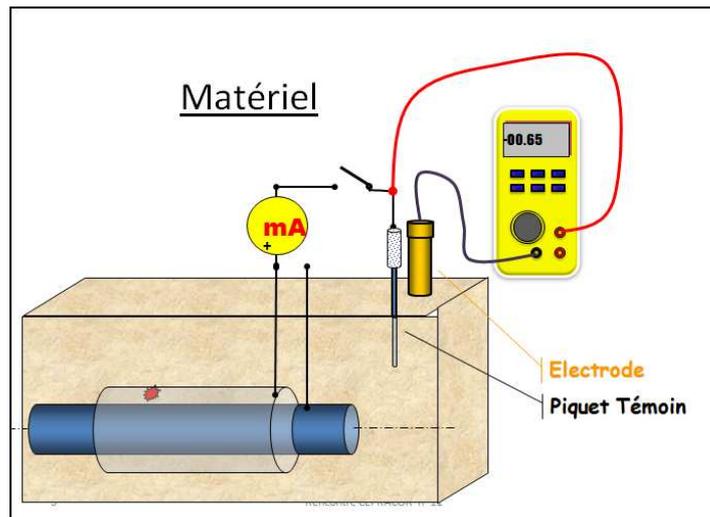
Méthodologie

Les schémas ci-dessous sont des schémas de principe, l'interface de mesure est symbolisée par l'interrupteur.

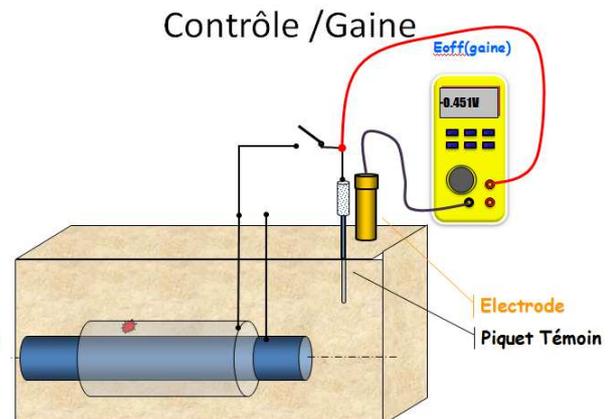
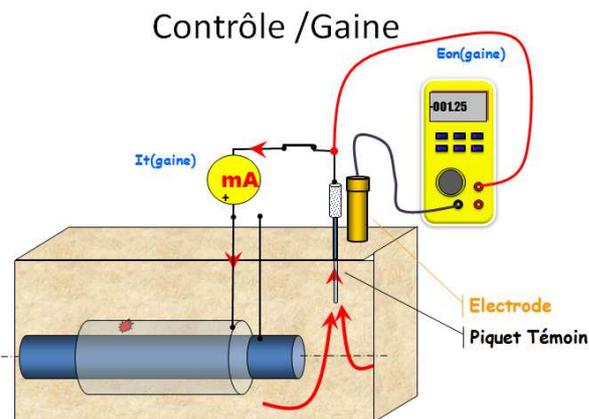
Le témoin et l'électrode associée sont placés dans le sol à proximité de l'ouvrage à contrôler et leur emplacement doit être fixe durant l'essai.

- Effectuer tous les raccordements entre les appareils de mesure, le témoin, l'électrode et réserver le câble à relier sur l'ouvrage à contrôler,
- Vérifier sur la lecture des valeurs la validité du branchement $E_{off} = E_{on} =$ potentiel naturel de l'acier du témoin dans le sol et $I_T = 0$.

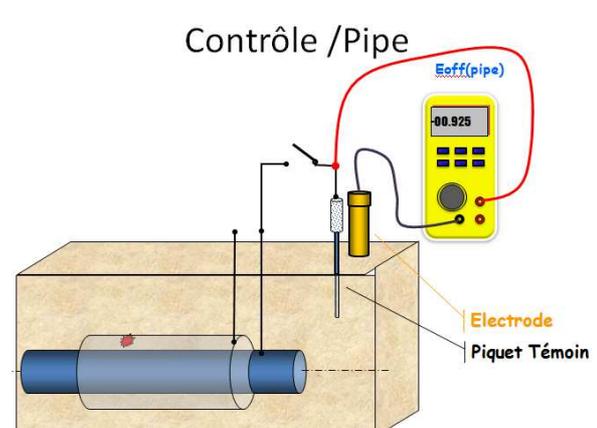
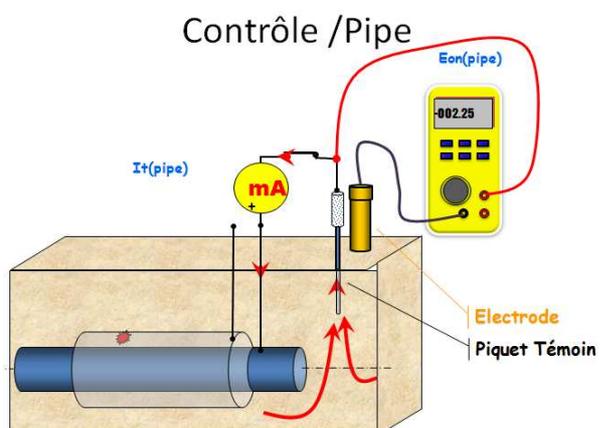
Il est conseillé de commencer par les mesures avec connexion du témoin sur le fourreau avant de le connecter sur la conduite pour éviter la polarisation du témoin en cas de bon isolement.



- Brancher la gaine métallique côté ouvrage de l'interface de mesure.
- Enregistrer le comportement électrique du témoin ainsi connecté pendant 15 mn et relever E_{off} , E_{on} et I_T à la fin de l'enregistrement.



- Brancher la canalisation côté ouvrage de l'interface de mesure.
- Enregistrer le comportement électrique du témoin ainsi connecté pendant 15 mn et relever E_{off} , E_{on} et I_T à la fin de l'enregistrement.



INTERPRETATION DES RESULTATS PAR RAPPORT AU RISQUE DE CONTACT :

	Comparaison des mesures (sur des valeurs algébriques)			Conclusion
	Eon	Eoff	It	Sens du courant It Gaine (Itg)
Cas 1	Eon Pipe = Eon Gaine	Eoff Pipe = Eoff Gaine	It Pipe = It Gaine	Contact franc
Exemple	Eon Pipe = -2,5 V Eon Gaine = -2,5 v	Eoff Pipe = -1,0 V Eoff Gaine = -1,0 v	It Pipe = -1,0 mA ItGaine = -1,0 mA	
Cas 2	Eon Pipe ≈ Eon Gaine	Eoff Pipe < Eoff Gaine	It Pipe < It Gaine	Contact électrolytique
Exemple	Eon Pipe = -2,5 V Eon Gaine = -2,0 v	Eoff Pipe = -1,0 V Eoff Gaine = -0,7 v	It Pipe = -1,0 mA ItGaine = -0,2 mA	
Cas 3	Eon Pipe < Eon Gaine	Eoff Pipe << Eoff Gaine	It(pipe) << It(gaine) et It(gaine) ≈ 0	Pas de contact
Exemple 1	Eon Pipe = -2,5 V Eon Gaine = -1,0 v	Eoff Pipe = -1,0 V Eoff Gaine = -0,5 v	It Pipe = -1,0 mA ItGaine = -0,1 mA	 Potentiel Gaine < Potentiel TM
Exemple 2	Eon Pipe = -2,5 V Eon Gaine = -0,6 v	Eoff Pipe = -1,0 V Eoff Gaine = -0,3 v	It Pipe = -1,0 mA ItGaine = +0,1 mA	 Potentiel Gaine > Potentiel TM
Légende :	 Gaine + canalisation	Témoin 	Liaison entre gaine et témoin 	

Pour la mesure du courant, la borne "-" de l'ampèremètre est connectée au témoin. **Courant cathodique = valeur négative**

Annexe 3 Exemples de produits de remplissage de gaine

A3.1 Matériau conducteur composé typiquement de liants hydrauliques

Il s'agit de constituer dans tout le volume de l'espace annulaire un milieu électrolytique constitué de matériaux naturels (minéraux) incorporés à un coulis adapté. Cette méthode permet la circulation du courant cathodique vers les éventuels défauts de revêtement de la canalisation en fourreau non isolant et assure dans un second temps le blocage de l'ensemble conduite / fourreau afin de prévenir tout contact dans le temps.

Le matériau utilisé est à base de minéraux. Il répond à plusieurs critères pour assurer la pérennité du système :

- Respectueux de l'environnement : constitué uniquement de minéraux,
- Il est injectable dans un fourreau rempli en eau (pas de lavage ni de dilution au contact de l'eau),
- Il a un pH basique (supérieur à 10) pour amener le métal au droit d'un éventuel défaut de revêtement dans la zone de passivation (Diagramme de Pourbaix) en absence de protection cathodique active,
- Il ne développe pas de résurgence d'eau après injection afin d'assurer un remplissage intégral de l'espace annulaire,
- Il développe une résistance mécanique assimilable à une marne compacte (Résistance à la compression R_c comprise entre 4 et 6 bar) pour permettre le calage de l'ensemble canalisation / fourreau,
- Le coulis durci est déposable par destruction avec un jet haute pression d'une hydrocureuse par exemple pour : inspection du passage en fourreau, dépose canalisation, ...
- Le coulis durci garde une résistivité électrique faible ($10 < R < 40 \text{ Ohm.m}$) et est stable dans le temps.

Processus de pose

- Préparation de la gaine :
 - o Création de deux tubulures d'un diamètre suffisant pour pouvoir permettre l'injection du coulis (généralement minimum 40 mm): une pour l'injection, l'autre pour l'évent,
 - o La gaine doit être obturée de façon adéquate pour résister à la pression d'injection,
 - o Il n'est pas nécessaire que la gaine soit asséchée,
 - o Il est préférable que la gaine et le tube en amont et en aval soient soigneusement remblayés avant l'injection,
 - o Préalablement à l'injection du produit, des témoins métalliques peuvent être posés dans l'espace annulaire afin d'obtenir des indications sur la protection cathodique dans l'annulaire après l'injection.
- Injection :

Le coulis préparé est injecté lentement à faible pression par la tubulure d'injection située au point bas du fourreau. Lorsque le coulis sort par l'évent opposé, il est préférable de couper la pompe pour laisser le flux se stabiliser puis reprendre l'injection au besoin dès que le niveau s'est stabilisé.
- Contrôle :

Le volume injecté est vérifié par rapport au volume théorique. Il est vérifié par les tubulures que niveau de remplissage reste stable après arrêt définitif du pompage afin d'assurer le remplissage intégral.

A3.2 Matériau isolant typiquement à base de cire

Il s'agit de remplir l'espace annulaire entre le fourreau et la canalisation à l'aide d'un produit isolant à base de cire. Le produit peut être injecté à chaud ou à froid en fonction de la configuration du chantier et du matériel utilisé (les produits injectés à froid sont très visqueux et demandent donc une pompe de forte capacité).

Le produit est isolant et génère une surépaisseur de revêtement ce qui permet d'accroître sa protection passive comme un revêtement très épais. L'injection doit être faite de manière à remplir tout l'espace annulaire afin de garantir le meilleur résultat possible.

Le produit :

Le matériau utilisé est à base de cire. Il doit répondre à plusieurs critères pour assurer la pérennité du système :

- Il doit être flexible,
- Il ne doit pas craqueler (dans le temps ou sous contrainte mécanique),
- Il doit être isolant électrique,
- Il ne doit pas être soluble à l'eau.

Les cires injectées à chaud sont liquides à la température d'injection et prennent la consistance d'une cire de bougie lors du refroidissement. Les cires injectées à froid sont visqueuses.

Le produit doit être compatible avec la température de service de la canalisation (température de liquéfaction du produit > T° de service de la canalisation).

La cire peut être complétée par un inhibiteur de corrosion injecté au préalable.

Le processus d'application :

Pour assurer un remplissage optimal, l'injection se fait en général par un évent situé en extrémité basse de la gaine sur la génératrice inférieure. L'évacuation de l'air se fait par l'évent situé à l'autre extrémité en génératrice supérieure.

Une étanchéité parfaite des obturateurs de gaines est requise pour pouvoir contrôler le niveau de remplissage.

Préparation de la gaine :

La gaine doit être équipée d'évents d'au moins 40 mm de diamètre.

On vide et on assèche l'espace annulaire. Les obturateurs doivent être vérifiés (compatibilité avec la température d'injection en cas d'injection à chaud).

On teste l'intégrité de la gaine et l'étanchéité des obturateurs en faisant un test de pression (sur 15 minutes environ).

Injection de la cire :

On connecte la pompe sur l'évent d'injection (défini par l'injecteur en fonction de la configuration du chantier).

Lorsque le volume injecté approche le volume théorique, on ralentit la vitesse d'injection pour faciliter la sortie de l'air.

On injecte jusqu'à apparition de la cire dans l'évent de sortie. Il est alors préférable d'arrêter l'injection pour laisser la cire se stabiliser puis réajuster au besoin le niveau.

On arrête définitivement l'injection lorsque l'évent de sortie est plein avec un niveau stable.

Contrôle :

On compare le volume injecté et le volume théorique. Le remplissage des événements peut être contrôlé visuellement dans le temps.