



GUIDES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES

Monitoring de la corrosion interne dans les industries pétrolières et gazières

Monitoring de la corrosion interne dans les industries pétrolières et gazières

Guide Scientifique et Technique

CEFRACOR

Commission « *Corrosion dans les Industries Pétrolières,
Gazières et Chimiques* »



17, avenue du Hoggar
Parc d'activités de Courtaboeuf, BP 112
91944 Les Ulis Cedex A, France

Cet ouvrage a été édité avec le concours de Total S.A.

Imprimé en France

ISBN : 978-2-7598-1746-7

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© EDP Sciences 2016

Sommaire

Contributions	V
Liste des figures et des tableaux	VII
Introduction à la collection « Guides Scientifiques et Techniques du CEFRACOR »	IX
Préface	XI
Introduction	1

Chapitre 1 : Définition et objectifs du monitoring

1.1. Définition	3
1.2. Objectifs	4

Chapitre 2 : Conception du monitoring de la corrosion

2.1. Démarche de conception	5
2.2. Données d'entrée	6
2.2.1. <i>Évaluation de la corrosion</i>	6
2.2.2. <i>Données opératoires et environnementales</i>	6
2.2.3. <i>Cas particulier d'une unité existante</i>	7
2.3. Programme de monitoring	8
2.3.1. <i>Paramètres à surveiller</i>	9
2.3.2. <i>Choix des méthodes, des outils et des mesures</i>	17
2.3.3. <i>Combinaison des techniques</i>	22
2.3.4. <i>Monitoring de matériaux « non corrodables »</i>	22
2.3.5. <i>Positionnement des outils</i>	22

2.3.6.	<i>Limites opératoires, limites d'intégrité, alarmes et alertes</i>	23
2.3.7.	<i>Périodicité des mesures</i>	23
2.4.	Choix du système d'acquisition, de transmission et de stockage des données	25
2.4.1.	<i>Mode d'acquisition et de transmission des mesure de corrosion / érosion</i>	25
2.4.2.	<i>Systèmes dédiés / spécifiques de stockage et d'analyse des données</i>	26
2.4.3.	<i>Système de monitoring de la corrosion</i>	26
2.5.	Documents délivrés	28

Chapitre 3 : Installation et mise en service	31
3.1. Réception du matériel	31
3.2. Vérification de la localisation et du positionnement des outils	32
3.3. Suivi de l'installation	32
3.4. Mise en service	32

Chapitre 4 : Opération	35
4.1. Organisation et ressources associées	35
4.2. Programme de monitoring	36
4.3. Gestion des outils	38
4.3.1. <i>Inspection et maintenance des outils</i>	38
4.3.2. <i>Gestion des consommables et du stock</i>	38
4.3.3. <i>Installation de nouvelles méthodes de monitoring</i>	39
4.4. Réalisation des mesures	39
4.5. Gestion des données	40
4.5.1. <i>Traitement et analyse</i>	40
4.5.2. <i>Alarmes / Fenêtres d'opération</i>	42
4.5.3. <i>Ajustement de la périodicité des mesures</i>	43
4.5.4. <i>Indicateurs de performance (KPI)</i>	44
4.5.5. <i>Reporting</i>	44
4.5.6. <i>Stockage des données</i>	45
4.6. Actions correctives	45

Annexe A :	
Définition et acronymes	47
A.1. Définition	47
A.2. Acronymes	48

Annexe B :	
Documentation	51

Annexe C :	
Mécanismes d'endommagement	
et probabilité d'occurrence	55
C.1. Exploration-Production	57
C.2. Raffinage	61

Annexe D :	
Liste des outils et méthodes de monitoring	65

Annexe E :	
Fiches techniques des outils	67

Annexe F : Localisation	
et positionnement des outils	101
F.1. Conditions d'accessibilité	101
F.2. Critères de positionnement par type de fluide	102
F.2.1. Circuits de gaz	102
F.2.2. Circuits d'hydrocarbures liquides	103
F.2.3. Circuits d'eau	103
F.2.4. Ligne horizontale avec écoulement multiphasique	103
F.3. Critères de positionnement	104
F.4. Surveillance de l'érosion	104
F.4.1. Matrice de palpeurs ultrasons (UT Mat)	104
F.4.2. Détecteur de sable acoustique (EA)	105
F.4.3. Sonde d'érosion (Er P)	105
F.5. Points d'échantillonnage	105

**Annexe G : Généralités sur
les limites/seuils opératoires, les limites
d'intégrité, les alarmes et les alertes 107**

Contributions

Auteurs

Delphine Zuili, TECHNIP France
Michel Bonis, TOTAL S.A
Marc Kamionka, TECHNIP France

et

Thierry Braisaz, TECHNIP France
Cindy Cécillon-Frossard, TECHNIP France
Catherine Cotiche, BRGM
Alexandre Didot, TECHNIP France
Benoit Duciel, DORIS ENGINEERING
Elise Duroudier-Blactot, TECHNIP France
Amélie Férey, TECHNIP France
Martial Ferrari, REP
Quentin Gausseres, TECHNIP France
Bernard Gauthier, ACME
Anass Lagrini, SAIPEM
Militza Lobaton, SHELL GLOBAL SOLUTIONS
Alain Proust, MISTRAS GROUP S.A. EURO PHYSICAL ACOUSTICS
Elias Remita, TECHNIP France
Antoine Surbled, A.S. Corr. Consult
Frédéric Wacogne, CFG SERVICES

Relecteurs

Jean Kittel, IFP ÉNERGIES NOUVELLES
Xavier Roumeau, TOTAL PETROCHEMICALS & REFINING USA, Inc.
Bernard Normand, INSA Lyon

Liste des figures et des tableaux

Figures

Figure 1 : Processus schématique de maîtrise de la corrosion	3
Figure 2 : Objectifs du monitoring de la corrosion	4
Figure 3 : Liste des informations utiles pour établir la localisation et le positionnement des outils	23
Figure 4 : Exemple de structure fonctionnelle d'un système de monitoring de la corrosion	27
Figure 5 : Produits délivrés	28
Figure 6 : Schéma d'un réseau de production pétrolière	61
Figure 7 : Exemple de positionnement d'outils pour une ligne horizontale avec écoulement multiphasique	104
Figure 8 : Exemple de positionnement pour une sonde à sable acoustique . . .	105
Figure 9 : Seuils/limites, alertes et alarmes	108

Tableaux

Tableau 1 : Étapes de conception du monitoring de la corrosion	5
Tableau 2 : Exemples d'impact de données opératoires et environnementales sur les choix de monitoring	7
Tableau 3 : Exemple de programme de monitoring de la corrosion	8
Tableau 4 : Paramètres à surveiller en <i>Exploration – Production</i>	10
Tableau 5 : Paramètres à surveiller en <i>Raffinage</i>	11
Tableau 6 : Points à considérer dans le choix de l'outil	18
Tableau 7 : Solutions de monitoring par mécanismes de corrosion pour l' <i>Exploration – Production</i>	20

Tableau 8 : Solutions de monitoring par mécanismes de corrosion pour le <i>Raffinage</i>.	21
Tableau 9 : Périodicités typiques.	24
Tableau 10 : Détail des principaux livrables	29
Tableau 11 : Classification des actions et mesures de monitoring	36
Tableau 12 : Exemples de contraintes et de précautions pour la réalisation des mesures.	39
Tableau 13 : Exemples de KPI.	44
Tableau 14 : Exemple d'actions correctives mises en œuvre.	46
Tableau 15 : Liste des mécanismes d'endommagement	55
Tableau 16 : Classification des probabilités d'occurrence de différents types d'endommagement des installations pétrolières de production.	59
Tableau 17 : Classification des probabilités d'occurrence de différents types d'endommagement en raffinerie.	62
Tableau 18 : Avantages et inconvénients des différents positionnements d'outils intrusifs	102

Introduction à la collection « Guides Scientifiques et Techniques du CEFRACOR »

Le CEFRACOR (*Centre Français de l'Anticorrosion*), association à but non lucratif régie par la loi de 1901, fédère 750 ingénieurs, chercheurs et enseignants concernés par les domaines suivants :

- l'étude des différentes formes de corrosion des matériaux,
- les méthodes de protection contre ces dégradations, qui utilisent notamment les traitements chimiques des milieux corrosifs, les revêtements divers et les protections électrochimiques,
- les méthodes de contrôle et de surveillance de leur efficacité.

Ces personnes représentent aussi bien les grands groupes industriels, des PME ou des TPE que les principales universités ou écoles et les centres de recherche spécialisés, ou encore interviennent comme spécialistes consultants.

Le CEFRACOR est partenaire de nombreuses associations et fédérations agissant dans la lutte contre la corrosion. Il est notamment un membre actif de la *Fédération Européenne de la Corrosion (EFC)*, de la *Fédération Française pour les sciences de la Chimie (FFC)*, de la *Fédération Française des Matériaux (FFM)* et de l'*Association pour la Certification et la Qualification des Peintures Anticorrosion (ACQPA)*. Il est membre de l'AFNOR, étant particulièrement actif dans sa Commission de Normalisation A05AG « *Corrosion et protection des matériaux métalliques – Revêtements métalliques et inorganiques* ».

Son département CFPC (*Conseil Français de la Protection Cathodique*) est Organisme de Certification des personnes actives en protection cathodique sous la marque *CEFACOR CERTIFICATION / Protection Cathodique* en application des normes NF EN ISO/CEI 17024 et NF EN 15257, son Accréditation ayant été prononcée par le COFRAC à compter du 1^{er} février 2014 pour les secteurs d'application Terre et Mer.

Chacune dans leur domaine, les nombreuses *Commissions d'études* du CEFRACOR agissent pour le transfert des connaissances et le rapprochement des spécialistes, contribuent aux actions normatives, organisent des manifestations de type colloques, journées d'études ou rencontres, et élaborent des documents scientifiques et techniques. Ces documents peuvent prendre la forme de recommandations diffusées gratuitement sur le site www.cefracor.org, telles les « *Recommandations PCRA* » qui sont à la disposition des spécialistes pour compléter les normes, standards et

recommandations professionnelles dans le domaine de la protection cathodique et des revêtements associés.

Lorsque les travaux des Commissions d'études conduisent à des documents plus conséquents, ils sont édités sous différentes formes. Les *Cahiers du CEFRACOR* ont constitué pendant longtemps le moyen privilégié de diffusion et certains sont encore en vente sur le site www.cefracor.org.

Dans le prolongement d'un partenariat établi depuis plusieurs années, notamment autour de la revue *Matériaux et Techniques* (rendue disponible pour les adhérents du CEFRACOR dans l'*Espace Adhérents* du site www.cefracor.org), il a été décidé de confier l'édition de *Guides Scientifiques et Techniques du CEFRACOR* aux *Éditions EDP Sciences*.

Les deux premiers documents de cette série sont les Guides techniques *Revêtements externes des canalisations enterrées ou immergées et des ouvrages connexes* et *Monitoring de la corrosion interne dans les industries pétrolières et gazières* édités en 2016. Ils seront suivis d'autres *Guides Scientifiques et Techniques du CEFRACOR* dans les prochaines années, notamment sur les thèmes *Prédiction et prévision de la corrosion interne dans les industries pétrolières et gazières* et *Traitements des circuits de refroidissement semi-ouverts*.

Marcel Roche
Président du CEFRACOR

Préface

Le Guide technique *Monitoring de la corrosion interne dans les industries pétrolières et gazières* a été préparé par un Groupe de travail de la Commission *Corrosion dans les Industries Pétrolières, Gazières et Chimiques*.

Ce guide s'adresse aux ingénieries, fournisseurs d'équipements, fournisseurs de produits et opérateurs de la surveillance de la corrosion interne et de l'érosion dans les installations pétrolières et gazières, ce que recouvre le terme « *monitoring de la corrosion* », courant dans la profession. Il a pour vocation d'être un support pour le personnel chargé de la conception, de la mise en place et du suivi de ce monitoring.

Le monitoring de corrosion est complémentaire de l'inspection. Il fournit des indications périodiques ou continues de l'action corrosive d'un fluide (soumis ou non à une action préventive) vis-à-vis de l'équipement concerné, mais n'a pas vocation à donner une indication directe sur l'état physique de l'équipement soumis à ce fluide. Les actions d'inspection et contrôles non destructifs permettent de connaître cet état physique et d'apprécier l'intégrité de l'équipement.

Ce guide a pour objectif de définir les différentes étapes clefs du monitoring de la corrosion afin d'optimiser et fiabiliser sa mise en œuvre. Il traite des pratiques et outils courants au moment de son édition.

Ce guide est structuré selon les chapitres suivants :

- présentation des différents paramètres à considérer au stade de la conception (données d'entrée, contenu du programme de monitoring, choix du système d'acquisition, nature des informations délivrées),
- aspects concernant les phases d'installation et de mise en service,
- aspects opérationnels.

Ce guide comprend 7 annexes qui précisent les aspects techniques décrits dans le texte principal.

Marcel Roche
Président du CEFACOR

Introduction

Ce guide s'adresse aux acteurs de la surveillance de la corrosion et de l'érosion dans les installations pétrolières et gazières, chargés de la conception, de la mise en place et du suivi. Les acteurs sont les ingénieries, les fournisseurs de ces équipements, les fournisseurs des inhibiteurs de corrosion, les opérateurs, etc.

Pour reprendre le vocabulaire courant de la profession pétrolière, cette surveillance sera dénommée « monitoring de la corrosion ».

Le guide a pour objectif de définir les différentes étapes clefs du monitoring de la corrosion afin d'optimiser et fiabiliser sa mise en œuvre.

Le Chapitre 2 est dédié à la présentation des différents paramètres à considérer au stade de la conception (données d'entrée, contenu du programme de monitoring, choix du système d'acquisition, nature des informations délivrées).

Le Chapitre 3 traite des aspects concernant les phases d'installation et de mise en service.

Le Chapitre 4 est relatif aux aspects opérationnels. Y sont particulièrement développés :

- les ressources humaines,
- le programme opérationnel de monitoring intégrant les contraintes de production,
- la gestion des outils en termes de maintenance, inspection et contrôle,
- la gestion des données,
- la définition des actions préventives et correctives.

Ce guide comprend 7 annexes qui précisent les aspects techniques décrits dans les différents paragraphes.

Ce guide traite essentiellement des pratiques et outils courants. Il devra être réactualisé en fonction des avancées technologiques et des retours d'expérience.

Définition et objectifs du monitoring

1.1. Définition

Le monitoring de la corrosion constitue l'une des étapes du processus complet de maîtrise de la corrosion illustré sur la Figure 1.

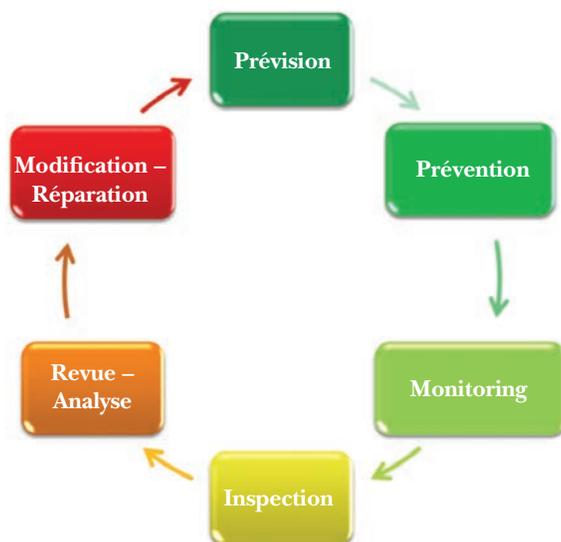


FIGURE 1. – Processus schématisé de maîtrise de la corrosion. © Total S.A.

Le monitoring de la corrosion défini dans ce guide comprend l'ensemble de l'organisation, des méthodes et des moyens mis en œuvre :

- les capteurs et instruments de mesure,
- les appareils associés,
- l'organisation et les ressources associées,
- le programme de monitoring, y compris le programme de suivi des paramètres opératoires associés à la prévention de la corrosion,
- les systèmes d'acquisition et de gestion des données.

Comme indiqué sur la Figure 1, le monitoring de corrosion est complémentaire mais clairement différencié de l'inspection. Il fournit des indications périodiques ou continues de l'action corrosive d'un fluide (soumis ou non à une action préventive) vis-à-vis de l'équipement concerné, mais n'a pas vocation à donner une indication directe sur l'état physique de l'équipement soumis à ce fluide. Les actions d'inspection et contrôles non destructifs permettent de connaître cet état physique et d'apprécier l'intégrité de l'équipement.

1.2. Objectifs

Le monitoring de la corrosion a pour objectifs (cf. Figure 2) :

- de vérifier le caractère corrosif d'un fluide de manière quantitative vis-à-vis d'un équipement, lorsque ce fluide n'est pas soumis à une action préventive de contrôle de la corrosion, ou en amont de celle-ci,
- de contrôler l'efficacité d'actions préventives de la corrosion, si celles-ci sont utilisées.

Le monitoring de la corrosion fait partie du processus de maîtrise de la corrosion décrit dans la Figure 1, et en ce sens, permet à l'*Opérateur* :

- de s'assurer que le caractère corrosif et/ou érosif du fluide considéré n'est pas susceptible de compromettre l'intégrité de l'équipement pendant sa durée prévue de service, soit du fait que sa corrosivité est suffisamment faible ou que les actions préventives sont suffisantes,
- de décider d'éventuelles actions complémentaires de prévention de la corrosion et/ou d'inspection.

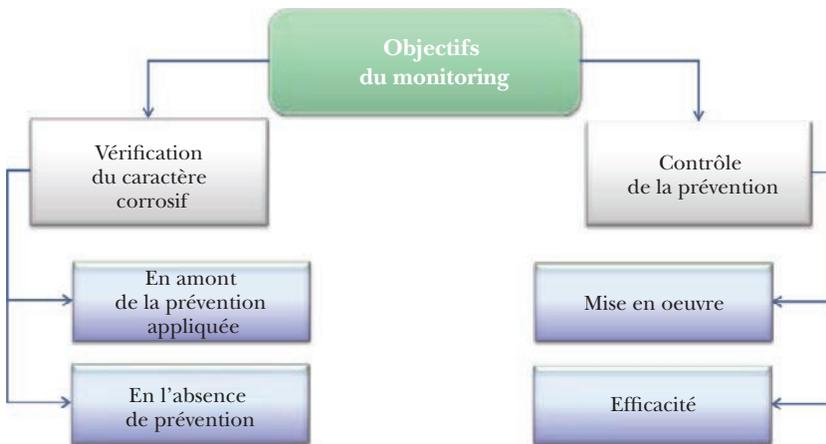


FIGURE 2. – Objectifs du monitoring de la corrosion. © Total S.A.

2

Conception du monitoring de la corrosion

2.1. Démarche de conception

Le Tableau 1 décrit les étapes d'une démarche typique de conception du monitoring de la corrosion sur une installation nouvelle ou existante.

TABLEAU 1. – Étapes de conception du monitoring de la corrosion.

Étapes	Détails de l'étape	Principales actions
Données d'entrée	Évaluation de la corrosion	Définir des boucles de corrosion sur les schémas de procédés Identifier les types de corrosion susceptibles d'affecter et endommager les équipements Identifier les paramètres importants et/ou critiques de la corrosion et de la prévention
	Choix matériaux et méthodes de prévention	Connaître les matériaux et les méthodes de prévention en place
	Données opératoires et environnementales	Définir les données déterminantes pour le choix des outils, la périodicité des mesures, etc.
Identification des paramètres à surveiller	Paramètres à surveiller	Établir, pour chaque boucle de corrosion, les paramètres indicateurs de la corrosion ou de la prévention qui doivent être surveillés
	Objectifs	Définir l'objectif de la surveillance des paramètres listés ci-dessus
	Moyens	Vérifier qu'il existe des moyens de monitoring aptes à mesurer les paramètres

23 – FE – Dosage du fer (Dissous et total)

Objectif

Le fer dissous dans l'eau est généralement le produit de la corrosion des installations situées en amont du point de prélèvement (à l'exception éventuelle du fer dissous natif dans le cas d'eaux de réservoir). Le dosage de cet élément dans les eaux sert d'indicateur de la corrosion et de sa maîtrise, sous réserve d'un suivi régulier que les variations mesurées soient représentatives du phénomène de corrosion à suivre. Ainsi, une corrosion résiduelle aussi faible que 10 à 20 $\mu\text{m}/\text{an}$ sur toute la surface mouillée par l'eau d'un pipe produit plus de fer dissous qu'une corrosion localisée de 1 à 2 mm/an qui ne touche généralement pas plus de 0,1 à 0,2 % de la surface mouillée. Dans le cas de la surveillance d'une prévention par inhibition, ce suivi du fer dans l'eau peut permettre de juger de l'efficacité de l'inhibiteur vis-à-vis de la corrosion résiduelle mais pas directement vis-à-vis du risque de corrosion localisée rapide.

Principe

Ce monitoring consiste en :

- un prélèvement représentatif de l'eau qu'il s'agit de contrôler,
- l'analyse chimique du fer dissous, après acidification éventuelle de l'échantillon,
- une analyse des résultats en fonction du temps, présentée nécessairement sous forme graphique.

L'analyse peut fournir :

- Le « fer dissous » (en réalité les cations ferreux) si aucune préparation n'est effectuée pour re-dissoudre ou prélever la partie précipitée. Dans ce cas, ce « fer dissous » risque de ne représenter que la part dissoute dans l'échantillon analysé, et non la part dissoute avant prélèvement, si une part du fer initialement dissous est précipité par aération de l'échantillon.
- Le « fer total », si l'échantillon a fait l'objet d'une acidification, soit au moment du prélèvement, soit avant transfert pour analyse (il faut en effet dissoudre la totalité des dépôts éventuellement formés à l'intérieur du conteneur de l'échantillon).

En matière d'analyse, la valeur absolue mesurée est rarement utile. En effet, selon les rapports de débit d'eau/surface mouillée, des teneurs en fer total aussi élevées que 100 à 200 mg/L peuvent être obtenues par le seul effet d'une corrosion résiduelle très modérée, sans aucune corrosion localisée significative. Seules des variations significatives (dans un facteur 2 à 4) et répétées par rapport à une « ligne de référence » doivent être retenues comme significatives d'une anomalie.

Propriétés

Mode de corrosion	Uniforme
Intrusive	Non
Milieu	Tous types
Résultats fournis	Concentration en fer dissous / fer total dans l'eau (mg/L)
Temps de réponse	Jours
Sensibilité	1 à 5 mg/L

Prérequis

Point d'échantillonnage.
Échantillonnage d'eau et bonne préservation de l'échantillon jusqu'à l'analyse.

Normes

NACE SP0192 : Il est recommandé de n'utiliser que les sections 1 et 2 de ce document mais de ne pas appliquer strictement la section 3 relative à l'analyse des résultats.

Avantages	Inconvénients
<p>Facilité de réalisation.</p> <p>Non intrusif.</p> <p>Coût modéré.</p> <p>Bien adapté à la surveillance de circuits fermés (boucles eau chaude ou eau de refroidissement, circuits glycol, etc.).</p>	<p>Faible sensibilité. Nécessité de résultats réguliers.</p> <p>Inadapté à la détection de corrosion localisée, même rapide.</p> <p>Forte sensibilité à la qualité de l'échantillonnage et à la préservation des échantillons.</p> <p>Forte dispersion des résultats malgré des conditions comparables de service.</p>
Coût	+++ (si fréquence élevée)