



LA CORROSION SOUS CALORIFUGE, LA PRÉVENIR ET LA RALENTIR

LA CORROSION SOUS CALORIFUGE, OU SOUS ISOLATION, CONCERNE L'ENSEMBLE DES INDUSTRIES, ET C'EST L'UNE DES PREMIÈRES CAUSES DE PERTE DE PRODUCTION. TROIS SPÉCIALISTES DU SUJET, ANTOINE SURBLED D'AS CORR CONSULT, VINCENT LALANNE DE TOTAL EXPLORATION PRODUCTION ET FRANÇOIS DUPOIRON DE TOTAL RAFFINAGE CHIMIE, NOUS EXPLIQUENT EN QUOI ELLE CONSISTE, LES FACTEURS DE RISQUES QUI PEUVENT L'ACCÉLÉRER ET LES MOYENS POUR LA PRÉVENIR ET LA RALENTIR TOUT AU LONG DE LA VIE DE L'OUVRAGE.

QU'EST-CE QUE LA CORROSION SOUS CALORIFUGE ET QUELLES EN SONT LES CAUSES ?

La corrosion sous calorifuge, ou CUI (Corrosion Under Insulation), est le résultat d'une réaction électrochimique entre un métal non-protégé, de l'eau et de l'oxygène. Sa particularité est qu'elle se développe sous un isolant thermique

car, après avoir traversé le calorifuge et s'être condensée sur la surface à partir d'un air humide, l'eau se trouve piégée entre cette surface métallique et l'isolant. Le mécanisme de corrosion s'avère classique. La corrosion sur les aciers au carbone et faiblement alliés est une corrosion généralisée. Sur les aciers inoxydables, ce sont des corrosions localisées et/ou des fissures que l'on peut constater. Les autres métaux et alliages

sont plus rarement calorifugés et la corrosion y prend des formes diverses. Ce type de corrosion concerne tous les secteurs industriels. On isole thermiquement les tuyauteries, les capacités ou les réservoirs de stockage pour préserver la chaleur du fluide (isolation chaude), pour éviter la formation de condensation (isolation chaude/froide) ou pour éviter le givrage quand les liquides contenus sont très



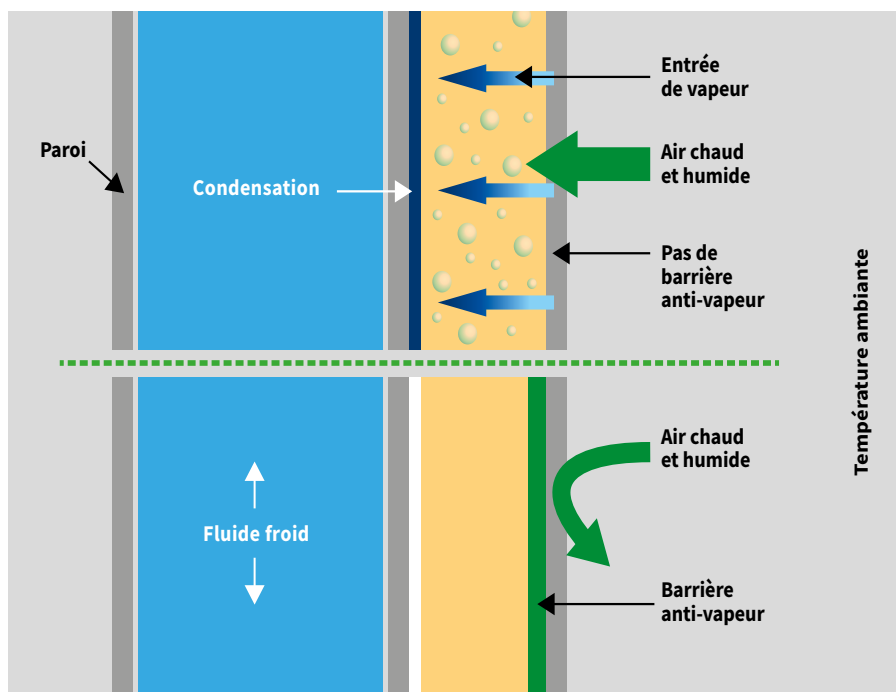
Antoine Surbled



François Dupoirion



Vincent Lalanne



Isolation thermique – cas d'un fluide froid

froids (isolation froide), la température pouvant descendre jusqu'à $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ dans des unités de Gaz Naturel Liquéfié). L'isolation thermique permet ainsi de faire des économies d'énergie et de protéger le personnel. Mais, quel que soit le système d'isolation utilisé, l'infiltration ou la condensation d'eau sont inévitables au bout de quelques années.

Quant aux origines de cette eau d'infiltration, elles sont nombreuses : pluie, essais des lances à incendie, sprinklers (extincteurs automatiques à eau), condensation, lavage des équipements, fuites de procédé, de traceurs thermiques. La corrosion induite est accélérée par les contaminants présents dans l'environnement, l'eau, l'air, les isolants, qui s'accumulent lors des cycles humidification – séchage, et particulièrement dans les environnements industriels externes

riches en sel et en pollutions. Dans les années 2005 à 2010, pour les industries du raffinage de pétrole, du traitement de gaz et les industries chimiques et pétrochimiques, 40 à 60 % des pertes de confinements de tuyauteries étaient dues à la corrosion sous isolation.

La corrosion sous calorifuge résulte de plusieurs problèmes, dont en premier lieu la pénétration de l'eau à travers le calorifuge. Le cas spécifique de la CUI vient surtout de la difficulté pour l'eau à s'évaporer en retour, car l'enveloppe calorifuge constitue un système fermé qui ne favorise pas l'évaporation. En outre, l'eau parvenue au niveau de la paroi va créer des zones d'autant plus sensibles à la corrosion si elle se charge en contaminants comme le sel par exemple. Les matériaux constituant le calorifuge peuvent eux-mêmes se décomposer et contaminer cette eau.

LE REVÊTEMENT ANTICORROSION, PREMIER DES 3 COMPOSANTS DU SYSTÈME D'ISOLATION THERMIQUE

Le système d'isolation thermique comporte 3 parties : le revêtement anticorrosion appliqué directement sur l'ouvrage (canalisation ou autre), l'isolant thermique et la barrière extérieure, également appelée jacketing.

Il existe 3 types de revêtements anticorrosion, à haute intégrité. Ils sont utilisés en général pour protéger la surface de l'ouvrage sous l'isolant thermique : les peintures organiques, le Thermal Spray Coating (revêtement métallique aluminium) ou TSA et les feuillards d'aluminium. Le choix du revêtement, et la qualité de son application, sont primordiaux pour une protection efficace dans le temps de la surface.

Le revêtement le plus classique consiste en des peintures essentiellement organiques et parfois inorganiques. Les systèmes de peinture requièrent chacun une préparation de surface spécifique avant l'application des couches primaire et secondaire, afin d'établir une barrière à la surface de l'ouvrage. Cette technique de protection comporte des atouts très intéressants en facilité d'application, par une main d'œuvre assez disponible, pour un coût modéré, pour une durée de vie de la protection généralement de 10 à 15 ans. Ces revêtements doivent être qualifiés pour diverses expositions, comme l'immersion en eau chaude, au moyen de tests de qualification standardisés. Ainsi pour la qualification des peintures sous isolation thermique, le Groupe TOTAL réalise des tests en immersion chaude ou en phase vapeur selon l'ISO 2812-2, ou le NACE TM 0174 (procédure B), ou l'ASTM G189 (Standard Guide for Laboratory Simulation of Corrosion Under Insulation), afin de simuler la dégradation des peintures sous isolation.

Une nouvelle norme ISO/DIS 19277 (Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Qualification testing and acceptance criteria for protective coating systems under insulation) est actuellement en élaboration pour la qualification de ces peintures sous calorifuge, notamment pour tenir compte de l'aspect cyclique (phase vapeur, phase immersion et phase sèche).

Le deuxième type de revêtement recouvre les revêtements métalliques à base d'aluminium (Thermal spray Thermally sprayed aluminium (TSA), aluminium projeté thermiquement). Il va agir comme une couche sacrificielle en se « sacrifiant » au bénéfice de la surface à protéger. Il s'avère cher et nécessite du personnel qualifié pour son application. Pour autant, il permet une protection plus longue (15 à 20 ans) à condition d'être correctement appliqué. Cela correspond mieux à l'objectif actuel d'avoir des calorifuges qui resteront opérationnels jusqu'à la fin de vie de l'ouvrage (entre 25 et 30 ans). Le choix entre le TSA et les peintures organiques, s'effectue sur la base du rapport coût / facilité d'application / durée de vie. Les systèmes de revêtements inorganiques ont eux aussi des longévités relativement acceptables.

Le troisième type de protections concerne essentiellement les aciers inoxydables et consiste en des feuillards d'aluminium. Le coût associé est faible, ils sont faciles d'installation moyennant une main d'œuvre spécialisée, et fonctionnent sur le principe du couplage électrochimique. En fonction de la protection recherchée, on va utiliser l'un ou l'autre de ces types de protection. La spécification NACE SP0198, classifie les systèmes de revêtement pour l'acier carbone en 10 types (CS-1 à CS-10) dont 2 qui concernent l'ignifugeage. Pour les aciers inoxydables, elle recense 7 types de systèmes (SS-1 à SS-7) pouvant protéger jusqu'à - 45 °C. La nature du revêtement, son épaisseur, la préparation de surface requise sont adaptées à la plage de température visée. Par exemple pour cette seconde classification pour protéger les aciers inoxydables, les systèmes SS-1 à SS-3



Corrosion avancée difficilement détectable sous l'isolation

sont des systèmes de peinture organiques appropriés à des valeurs maximales de température allant jusqu'à 540 °C. Les systèmes SS-4 et SS-5 sont de type inorganique pour atteindre jusqu'à 650 °C. Le système SS-6, pouvant monter jusqu'à 595 °C, représente le TSA et comporte en option le blocage des vides avec une résine. Enfin le système SS-7 est celui du feuillard d'aluminium pour atteindre jusqu'à 540 °C.

L'ISOLANT THERMIQUE, UN CHOIX LIÉ À L'USAGE ET AUX CONTRAINTES ÉCONOMIQUES

Les matériaux à base de silicate de calcium sont les plus anciens, et continuent à être utilisés dans les industries métallurgiques. On utilise également de la perlite expansée, des fibres minérales (fibres de verre, laine de roche), le verre cellulaire (qui possède des cellules fermées pour réduire

la pénétration de l'eau), des mousses organiques principalement à base de polyuréthane ou de poly-isocyanurate (PIR), et des fibres céramiques. Dans la mesure du possible, on va privilégier des isolants complètement étanches, à « cellule fermée », et éviter les isolants fibreux ou souples (car les joints peuvent être plus durs que le matériau lui-même). Pour de l'isolation chaude, on va utiliser du verre cellulaire, et pour de l'isolation froide du verre cellulaire ou PIR (Poly Isocyanurate Rigid foam).

La laine de roche est un type de calorifuge fibreux, qui laisse passer l'eau. Par contre, elle est facile à appliquer, très flexible, et à faible coût. Comme isolant, elle est utilisée principalement dans les applications à des températures qui peuvent aller jusqu'à 500 degrés. On cherche à améliorer les propriétés physico-chimiques de ce matériau, en réduisant la capacité d'absorption d'eau, et en augmentant la dissipation de l'eau ainsi que la stabilité chimique et dimensionnelle dans le temps.

Il faut aussi prendre en compte les caractéristiques physico-chimiques de l'isolant, la conception du système d'isolation thermique et sa mise en œuvre. Par exemple, l'utilisation de laine de roche sur de la vapeur, à très haute température, entre 400 et 500°, avec un fonctionnement en continu, ne pose pas de problème, car la corrosion sous isolation à ces températures sera très faible voire nulle. Par contre, son utilisation avec des températures variant de 90 à 200 °C peut engendrer des problèmes en cas d'infiltration d'eau. La solution d'isolation thermique doit donc être adaptée à l'usage et à la situation prévue.

Enveloppant ce calorifuge, une barrière extérieure, ou jacketing, est généralement faite de feuilles métalliques en acier inoxydable. Mais comme elles comportent beaucoup de joints en mastic, elles finissent par laisser passer l'eau. D'autre part, sur une installation pétrolière ou de raffinage, beaucoup de gens s'appuient sur les installations, ce qui les déforme et leur fait perdre de leur étanchéité. Pour éviter cela, on utilise des barrières en GRP, c'est-à-dire des plastiques renforcés en fibre de verre, qui comportent beaucoup moins de joints et sont plus résistantes mécaniquement.

Globalement, c'est l'ensemble du système thermique qui est à considérer, en tenant compte de l'aspect économique dans la durée. Les solutions plus coûteuses s'avèrent nécessaires dans certains contextes. Par exemple, en offshore le coût de réparation de peinture peut atteindre plusieurs milliers de dollars le m². Il faut donc favoriser une approche de très longue durée dès le début, pour éviter d'aller faire des réparations sur l'installation. Dans des conditions moins agressives, et pour des sites plus accessibles, on peut mettre en place des revêtements et/ou des isolants moins coûteux, et prévoir des inspections et des opérations de maintenances plus régulières.



Une peinture appropriée, protection facile et peu coûteuse à mettre en œuvre



Utilisation de barrière (jacketing) en GRP

LES FACTEURS DE RISQUES QUI PEUVENT ACCÉLÉRER LA CUI

Deux documents, assez proches et tous deux en cours de révision, décrivent et catégorisent ces facteurs de risques selon leur importance. Il s'agit d'une part de l'EFC 55 rédigé par des industriels du pétrole et de la chimie sous l'égide de l'European Federation of Corrosion, et d'autre part de l'API RP 583.

En détaillant les cas de figure et les risques de la corrosion sous calorifuge, ces publications permettent de prévoir des systèmes appropriés et de définir les stratégies d'inspection.

Outre qu'elle est difficile à détecter, car située sous l'isolant, la corrosion sous calorifuge se développe à des vitesses variables et difficiles à déterminer parce que plusieurs facteurs entrent en jeu : la nature du fluide, la température, la stagnation et la quantité des eaux à l'intérieur du système. Parmi les facteurs critiques on trouve entre autres la température du liquide au niveau de la paroi, a fortiori si cette température est cyclique plutôt que fixe.

D'autres risques sont identifiés, parmi lesquels la présence dans un environnement humide (marin, côtier, régions pluvieuses et chaudes), l'installation de tubes de traçage thermique autour des équipements (source de fuite de vapeur), l'état dégradé des enveloppes de protection. L'intégrité de la barrière de protection (jacketing) des systèmes de calorifuge est le premier problème que l'on peut avoir. La mise en œuvre d'isolants inappropriés, par exemple du fait d'une teneur excessive en halogénures ou en sulfates, peuvent aussi générer de la corrosion.

La norme ASTM C795 permet de qualifier le type d'isolant à utiliser afin de minimiser la probabilité de génération, entre autres, de chlorures qui vont fissurer les aciers inoxydables. Plus généralement, la composition d'eau d'infiltration, et la présence de tous types de contaminants dans l'eau issu du matériau isolant ou de l'extérieur, va augmenter la corrosivité de l'eau et la vitesse de corrosion.

LES MOYENS POUR PRÉVENIR ET RALENTIR LA CORROSION SOUS CALORIFUGE

En matière de prévention de la corrosion sous calorifuge, il y a eu beaucoup d'améliorations, grâce aux nouvelles connaissances sur les matériaux, sur les méthodes prédictives de corrosion sous calorifuge, sur les méthodes d'inspection et de migration (en particulier concernant les revêtements).

Si la corrosion sous calorifuge est très bien connue dans ses formes, dans ses mécanismes et dans les facteurs qui la favorisent, la quantifier et la localiser demeure difficile et la gestion de ce phénomène reste un challenge. Une gestion préventive s'avère donc extrêmement pertinente.



Grillage de protection évitant une isolation inutile



Inspecter la barrière extérieure, premier signe visible de CUI

La réduction de la probabilité de défaillance par corrosion sous isolation s'opère lors des 3 phases de vie d'une installation : à la conception, à la construction et pendant toute la durée de vie de l'installation.

Dès la phase de conception, et tout en tenant compte de l'environnement et des conditions opératoires, la nécessité d'une isolation thermique est à questionner vis-à-vis du process, dans son ensemble ou sur chaque partie, pour la mise en service des premières années uniquement ou durablement. Sans isolation, il n'y a évidemment pas de corrosion sous isolation. Par exemple, sur des lignes de services à 100 °C, l'épaisseur de l'acier permet elle-même de conserver la chaleur du fluide circulant. Le fait de se focaliser sur le process amène à ne pas utiliser l'isolation thermique dans le seul but de protection personnelle des opérateurs, pour éviter que ces derniers ne soient blessés ou brûlés. Ainsi pour éviter le contact direct avec des installations à portée de main dont la température atteint 70°, une protection par des grilles perforées autour d'une tuyauterie interdisant le contact, ou par une peinture isolante d'une épaisseur suffisante,



réduisant la température de surface, permettent d'éviter l'isolation traditionnelle par de la laine de roche, susceptible d'engendrer de la corrosion sous isolation. Il faut également bien établir une stratégie de contrôle raisonnée d'inspection au cours du cycle de vie.

Puis en phase de construction et d'engineering, il faut considérer la globalité du système d'isolation et rechercher l'optimisation sur une ou plusieurs des 3 parties qui composent le système d'isolation thermique : le revêtement anticorrosion, l'isolant thermique et la barrière extérieure (jacketing). Une combinaison pertinente et un choix qualitatif des matériaux, comme développé précédemment, permet de réduire le risque de corrosion sous isolation. Outre cet aspect de qualité des produits, l'installation et la mise en œuvre doivent être conformes à un cahier des charges bien défini.

Pendant la durée de vie de l'installation, et dans le même état d'esprit que lors de la conception, il est recommandé de refaire une étude du procédé, afin de vérifier l'utilité ou pas de garder l'isolant thermique après X années, car les conditions

opératoires tendent à évoluer. Il peut en découler l'inutilité d'une isolation thermique initiale. Ainsi, on arrive parfois à enlever des proportions significatives d'isolation thermique des installations par rapport au design initial.

LE RÔLE DE L'INSPECTION DANS LA DÉTECTION DE LA CORROSION SOUS CALORIFUGE

Durant la vie de l'installation, une stratégie de contrôle et des programmes d'inspection sont indispensables pour intervenir le plus efficacement et le plus tôt possible, pour réparer et limiter les conséquences d'une telle corrosion. On peut ainsi se référer aux documents précités, EFC 55 et API RP 583 pour établir des programmes d'inspection basés sur des règles établies à partir des susceptibilités. On tient ainsi compte des températures, du type d'acier, de la géométrie de l'équipement/tuyauterie et l'apparition d'éléments annonciateurs de corrosion sous isolation. On a ainsi une bonne probabilité de tomber sur les zones plus sensibles à ce type de corrosion. Des méthodes statistiques, basées soit sur des méthodes de l'analyse de Weibull ou les Réseaux Bayésiens, sont également développées pour établir ces programmes. En premier lieu, c'est la barrière extérieure, immédiatement visible, qui doit faire l'objet d'une inspection visuelle. Pour ce qui se trouve sous cette barrière, on peut également utiliser les techniques CND, comme la radiographie en temps réel, qui permet d'obtenir une photo de la tuyauterie sous l'isolation sans décalorifugeage, pour voir les pertes d'épaisseur sur le diamètre du tube. La thermographie est également intéressante pour détecter une éventuelle accumulation d'eau sous l'isolant thermique. Enfin, si nécessaire, on procède à une dépose partielle ou totale de l'isolant pour avoir une vue directe sur certaines zones à hauts risques, méthode qui s'avère bien plus coûteuse. Les zones critiques concernées prioritairement par cette dépose et cette inspection directe sont des points de rétention (points bas, raidisseurs de capacité...) et celles dont la température de surface est cyclique. Si aucune trace de corrosion n'est trouvée dans ces zones-là, on peut être quasiment sûr qu'il n'y en aura pas sur le reste de l'équipement. Toutefois, comme au bout de 10 ou 15 ans, la probabilité de corrosion sous isolation est très importante, la pratique chez TOTAL est de procéder à une dépose de l'intégralité du calorifuge. Car il est important de le rappeler : la corrosion sous isolation est l'une des principales causes de perte de production dans l'industrie.



Thermographie comme technique de CND