

Dépannage corrosion d'un cycle eau-vapeur à haute pression dans une industrie chimique lourde

Histoire d'une réussite avec la technologie Adicontrol

D. Gutiérrez, N. Ramos, P. Infante, C. Sanabria, M. C. Royo, N. Adroer et J. Aumatell
ADIQUIMICA

S'appuyant sur les recommandations des organisations EPRI (Electric Power Research Institute) et IAPWS (International Association for the Properties of Water and Steam) pour les cycles eau-vapeur à haute pression, la société Adiquimia présente sa technologie Adicontrol, qui assure une protection efficace contre la corrosion des surfaces métalliques de l'ensemble du cycle eau-vapeur à haute pression.

MOTS CLÉS : Corrosion ; cycle eau-vapeur à haute pression ; échangeurs de chaleur ; Adicontrol.

Sur la base des recommandations que les organisations EPRI (Electric Power Research Institute) et IAPWS (International Association for the Properties of Water and Steam) font pour les cycles eau-vapeur à haute pression, la société Adiquimia présente sa technologie Adicontrol, qui permet d'obtenir une protection anticorrosion efficace des surfaces métalliques de l'ensemble du cycle eau-vapeur à haute pression.

MOTS CLÉS : Corrosion ; cycle eau-vapeur à haute pression ; échangeurs de chaleur ; Adicontrol.

INTRODUCTION

CYCLE EAU-VAPEUR À HAUTE PRESSION

Le cycle eau-vapeur à haute pression est un procédé industriel ayant au moins l'un des deux objectifs suivants :

- Transfert de l'énergie thermique à une unité de production donnée.
- Transformer l'énergie thermique contenue dans la vapeur générée en énergie cinétique qui, à son tour, sera transformée en énergie électrique au moyen d'un alternateur couplé à la turbine à vapeur du système.

PROBLÈMES LIÉS À LA CHIMIE DE L'EAU DANS LES CYCLES EAU-VAPEUR

La qualité physico-chimique de l'eau en

Un cycle eau-vapeur à haute pression est décisif pour le bon fonctionnement de ce type de système, en particulier ceux dont l'objectif est de générer de l'énergie électrique à partir de la conversion de l'énergie cinétique/mécanique contenue dans la vapeur surchauffée générée. Pour ce faire, il faut

En effet, des organisations internationales telles que l'EPRI (Electric Power Research Institute) ou l'IAPWS (International Association for the Properties of Water and Steam) et d'autres ont élaboré des guides de "bonnes pratiques" qui reprennent les connaissances empiriques acquises dans des cycles eau-vapeur réels et les traduisent en recommandations et en limites à respecter pour certains paramètres physico-chimiques de l'eau/vapeur.

Ces recommandations visent à normaliser la chimie de l'eau dans ce type de systèmes afin de les protéger contre les processus de corrosion chimique ou accélérée par le flux (FAC) et d'éviter le transport de composés chimiques avec la vapeur afin d'empêcher leur dépôt dans d'autres parties du système, principalement dans la turbine, ce qui pourrait endommager la turbine, ainsi que des pertes significatives de performance.

Un cycle eau-vapeur présente des problèmes communs à tout système où l'eau entre en contact avec des surfaces métalliques de compositions différentes. Toutefois, ces problèmes sont exacerbés par les conditions de fonctionnement extrêmes en termes de pression et de température. En outre, l'inclusion d'éléments critiques dans le processus, tels que les turbines, les surchauffeurs et les condensats, fait du cycle eau-vapeur un système particulièrement sensible à la qualité de l'eau, tant à l'état liquide qu'à l'état de vapeur.

Compte tenu des processus de préadhésion en cours, la

Dans le traitement de l'eau dans les usines de production de vapeur, les principaux problèmes de corrosion sur les surfaces de transfert de chaleur sont dus au dépôt d'oxydes métalliques (principalement du fer) sur les surfaces [1].

"Les principaux problèmes de corrosion sur les surfaces de transfert de chaleur sont dus au dépôt d'oxydes métalliques.

L'une des premières conséquences de la formation de ces dépôts, outre le développement de problèmes de corrosion, est qu'ils agissent comme des isolants et provoquent une surchauffe des surfaces de transfert de chaleur. Par exemple, dans le cas des

d'hématite (Fe_2O_3) et de magnétite (Fe_3O_4), le coefficient de transfert thermique peut atteindre 80

fois inférieur à celui de l'acier au carbone. Il est important de veiller à ce que l'eau de la chaudière soit traitée, car cela permet de ralentir le taux de dépôt et d'agglomération des particules de fer sur les surfaces de transfert de chaleur.

Les principaux facteurs à prendre en compte pour un fonctionnement optimal du cycle eau-vapeur peuvent être résumés dans les points suivants :

- **Entrée de contaminants avec l'eau d'appoint dans le cycle.** Certaines espèces chimiques, présentes dans l'eau du générateur sous forme de solides dissous ou colloïdaux, peuvent être transférées à la vapeur par des processus de vaporisation sélective, provoquant des problèmes de corrosion, d'exfoliation et/ou de dépôt, réduisant ainsi leur performance nominale [2-4]. La silice est l'un des contaminants les plus problématiques dans les cycles eau-vapeur, car elle forme des incrustations très adhérentes à l'intérieur des chaudières et des turbines, son potentiel d'entraînement augmente avec la pression de vapeur, et elle peut très facilement pénétrer dans un système de vapeur. Le sodium est un autre polluant qui pose des problèmes dans les chaudières, car il est la cause principale de nombreux processus de corrosion. Il est donc important de surveiller l'eau dans les cycles eau-vapeur. La qualité de l'eau. L'eau à la sortie du prétraitement peut être évaluée en termes de conductivité spécifique. La conductivité cationique représente l'un des indices les plus importants dans le fonctionnement d'un cycle eau-vapeur, et elle est généralement contrôlée à l'aide de compteurs en continu aux différents points du cycle eau- vapeur.

L'eau à la sortie du prétraitement peut être évaluée en termes de conductivité spécifique. La conductivité cationique représente l'un des indices les plus importants dans le fonctionnement d'un cycle eau-vapeur, et elle est généralement contrôlée à l'aide de compteurs en continu aux différents points du cycle eau-vapeur.

- **Le pH de l'eau du cycle.** Il est ré Les valeurs de pH en tous points sont déterminées en fonction des recommandations du fabricant et du type de traitement chimique. Des valeurs de pH adéquates permettent de travailler dans des conditions optimales du point de vue de la minimisation des phénomènes de corrosion sur les surfaces métalliques.

- **Les niveaux d'oxygène dissous dans les l'eau du cycle.** L'oxygène peut être considéré comme la force motrice de la corrosion, et c'est pourquoi de grands efforts sont faits pour empêcher sa présence dans l'eau des chaudières. L'oxygène dissous doit être éliminé par dégazage thermique

de l'eau d'alimentation, et cette action doit être complétée par l'ajout de réducteurs qui détruisent les traces d'oxygène encore présentes dans la solution. Par conséquent, bien que l'équipement de dégazage présent dans le cycle soit responsable de l'élimination de la majeure partie de l'oxygène dissous résiduel dans l'eau, il est nécessaire d'affiner cette élimination afin d'atteindre les valeurs recommandées dans les normes et directives correspondantes. Dans tous les cas, il est intéressant de rappeler que les couches protectrices sont le produit de l'oxydation du métal, à une valeur inférieure au maximum. Si l'oxydation progresse, ces couches protectrices ne se forment plus et la corrosion progresse sous l'effet du milieu oxydant.

ÉTUDE DE CAS D'UN ÉPISODE DE CORROSION SOUS DÉPÔT DANS LES ÉCHANGEURS DE CHALEUR D'UNE USINE DE L'INDUSTRIE LOURDE

DESCRIPTION DE LA PLANTE

La présente étude décrit la solution adoptée par Adiquimica pour résoudre un épisode de corrosion sous dépôt dans les échangeurs de chaleur d'une usine de l'industrie chimique. La figure 1 montre le diagramme de flux du cycle eau-vapeur de l'usine. Les éléments caractéristiques de l'installation sont détaillés ci-après :

- Système de prétraitement de l'eau ou opérations de l'unité pour conditionner l'eau d'appoint afin de compenser les pertes du système (purges appliquées au système, vapeur non condensée ou condensat non récupéré).

- Dégazeur, ou système d'élimination des gaz dissous par contact de l'eau d'alimentation avec de la vapeur à basse pression. Le paramètre caractéristique d'un dégazeur est sa capacité à éliminer l'oxygène dissous contenu dans l'eau, qui est principalement responsable de l'oxydation des lignes de circulation d'eau métallique.

- Chaudière ou vaporisateur d'eau par transfert de chaleur provenant de la combustion du combustible utilisé dans l'installation. Selon la classification établie par l'organisme international EPRI (Electric Power Research Institute) [5, 6], la chaudière est considérée comme fonctionnant à des pressions de production de vapeur élevées car elle fonctionne au-dessus de 40 bar (environ 600 psi), et donc soumise aux recommandations établies par cet organisme.

- Condenseur, entre la vapeur sortant des tubes de l'échangeur de chaleur et l'eau de refroidissement du système (elle-même refroidie par un dispositif de refroidissement par évaporation). Cet élément, fonctionnant sous vide, est destiné à condenser la vapeur pour une utilisation maximale des ressources de l'installation.

"Cette étude décrit la solution adoptée par Adiquimica pour résoudre un épisode de corrosion sous dépôt dans les échangeurs de chaleur d'une usine de l'industrie chimique lourde.

FIGURE 1 : Organigramme des principaux éléments du cycle eau-vapeur de l'étude de cas

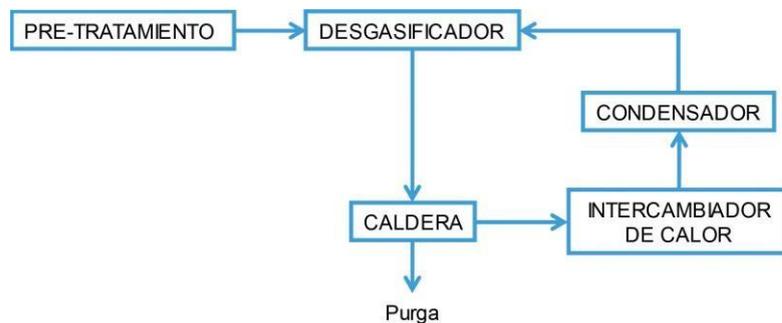


FIGURE 2 : Tuyaux de l'installation affectés par la corrosion sous le réservoir



FIGURE 3 - Tubes de l'échangeur de chaleur bloqués en raison d'une accumulation importante de dépôts



PROBLÈMES DE CORROSION SOUS LES DÉPÔTS AVANT L'INTERVENTION D'ADIQUIMICA

Avant l'intervention d'Adiquimica, l'un des échangeurs de chaleur de l'installation était obstrué et ses tubes déformés.

Les problèmes suivants se sont produits dans le cycle eau-vapeur, ce qui a entraîné des arrêts de production supplémentaires par rapport à ceux prévus, avec les coûts que cela implique, tant en termes de matériaux à remplacer qu'en termes d'arrêt temporaire de l'activité de production :

- Corrosion par dépôt sur des tubes d'échangeurs de chaleur. Les tubes affectés ont subi une perte d'épaisseur due à la corrosion, ce qui a provoqué une fuite. La figure 2 montre les tubes affectés par les phénomènes de corrosion.

- Accumulation importante de dépôts dans le collecteur d'admission et dans les tubes de l'échangeur de chaleur. Les dépôts pro-

La corrosion des surfaces métalliques du cycle eau-vapeur. La figure 3 montre les tubes bloqués de l'échangeur de chaleur.

La cause de la corrosion sous le réservoir était le traitement inadéquat et le manque de contrôle des paramètres critiques du cycle eau-vapeur avant l'intervention d'Adiquimica. Le pH de la chaudière et des condensats se situait entre 5 et 6 unités de pH. La figure 4 montre les valeurs de pH avant l'intervention d'Adiquimica. Le pH moyen était de 5,74 dans la chaudière et de 5,81 dans les condensats. Afin de fonctionner dans des conditions optimales du point de vue de la minimisation des phénomènes de corrosion des surfaces métalliques, des valeurs de pH d'environ 9,2 unités sont recommandées à tous les points du cycle eau-vapeur. Par conséquent, les faibles valeurs de pH dans le cycle eau-vapeur ont favorisé les phénomènes de corrosion.

des surfaces métalliques. En raison de la forte corrosion subie par l'installation, des niveaux élevés de fer ont été détectés dans la chaudière et le condensat. La figure 5 montre les valeurs de fer avant l'intervention d'Adiquimica. La concentration moyenne de fer était de 5 000 ppb dans la chaudière et de 1 000 ppb dans le condensat.

ACTIONS D'AMÉLIORATION POUR LE CONTRÔLE DU CYCLE EAU-VAPEUR

SOLUTION ADIQUIMICA

Afin de maintenir les performances maximales du cycle eau-vapeur et d'éviter les phénomènes de corrosion du cycle et l'accumulation de dépôts dans l'échangeur, Adiquimica a mis en œuvre les actions d'amélioration suivantes :

- Traitement chimique optimisé.
- Mise en œuvre de la technologie Adicontrol pour le cycle eau-vapeur.

FIGURE 4. Evolution du pH dans la purge de la chaudière et dans le condensat avant et après l'intervention d'Adiquimica.

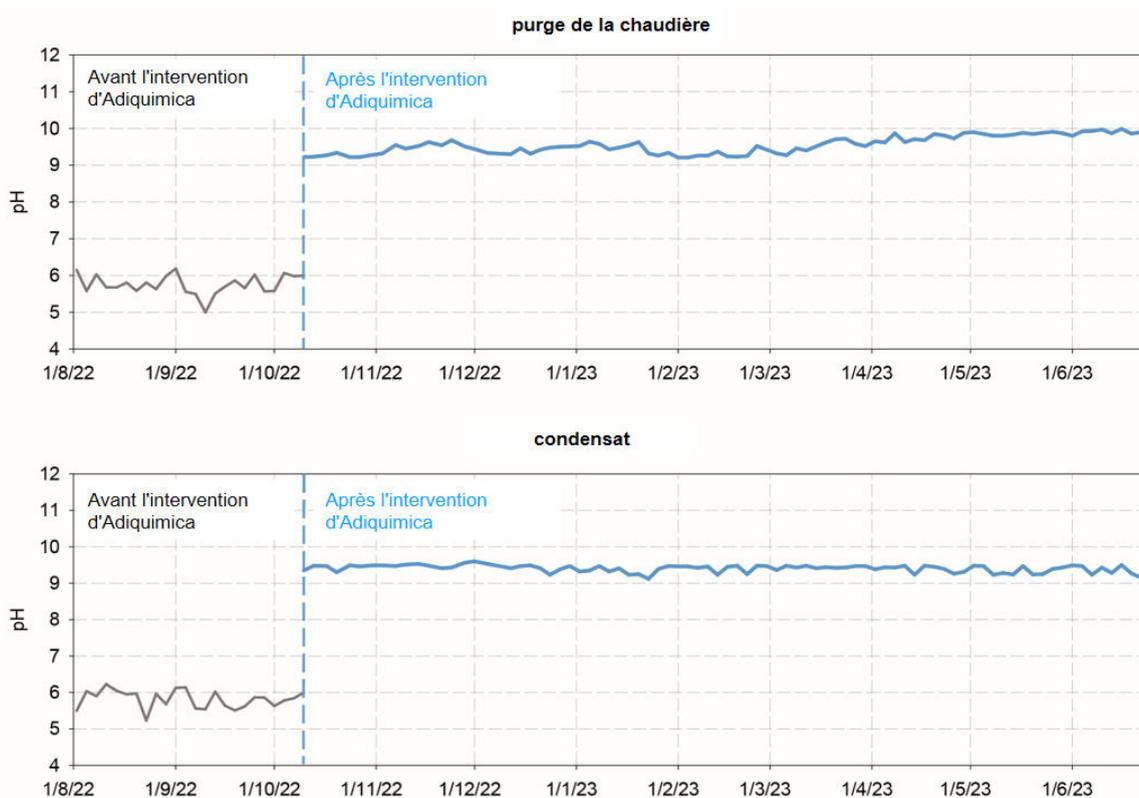
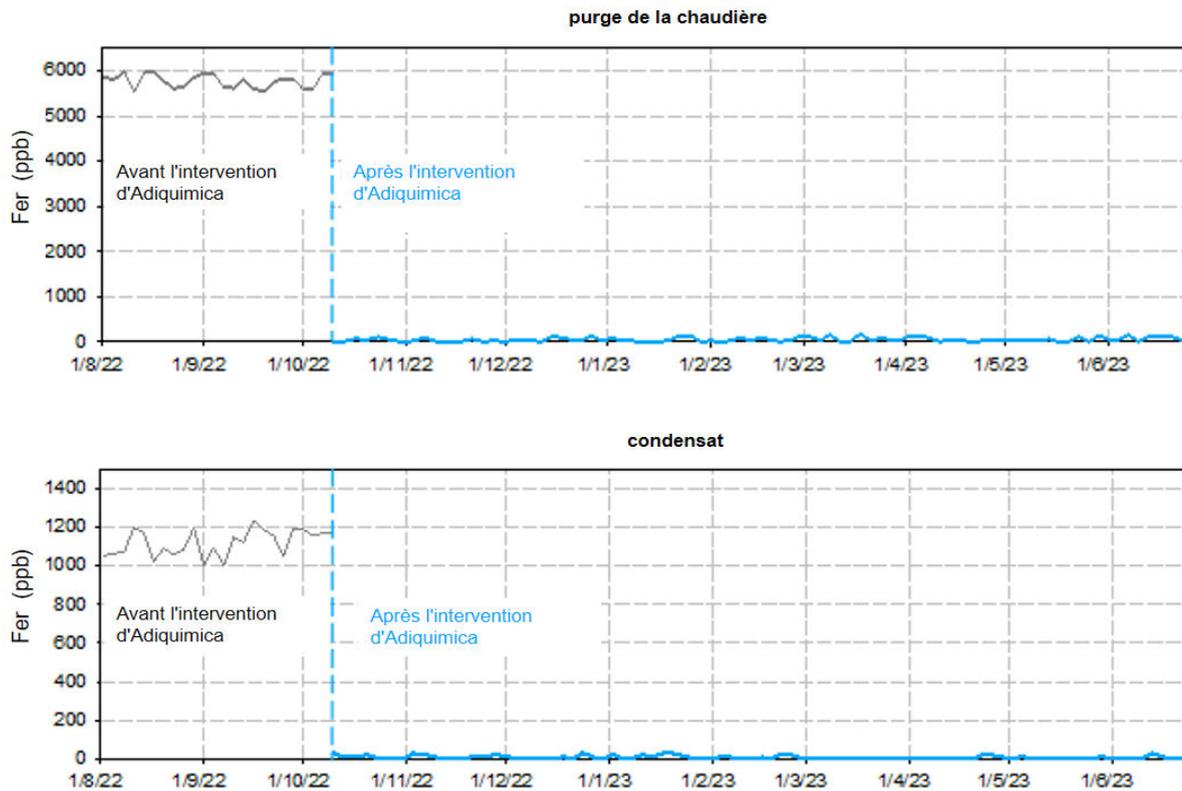


FIGURE 5 : Évolution de la concentration en fer dans la purge et le condensat de la chaudière avant et après l'intervention d'Adiquimica.



TRAITEMENT CHIMIQUE OPTIMISÉ DU CYCLE EAU-VAPEUR

Un traitement basé sur un réducteur d'oxygène, un alcalinisateur volatil et un alcalinisateur d'eau de ge- nerator a été mis en œuvre, avec les objectifs suivants :

- Réduction de l'oxygène résiduel dans les conduites d'alimentation, de vapeur et de condensat.
- Alcalinisation des conduites d'alimentation et de condensat.

Les deux traitements sont basés sur l'utilisation de composés à teneur nulle en sel et de nature volatile, afin d'agir à tous les points du cycle, même s'ils sont dosés dans la ligne d'alimentation après l'opération de dégazage.

Les réducteurs d'oxygène utilisés ont également un effet passivant, c'est-à-dire qu'ils permettent de transformer les couches superficielles d'oxyde non protecteur en magnétite ou en

des oxydes de fer mixtes protecteurs. Compte tenu de la volatilité des réducteurs utilisés, cette fonction est maintenue dans les lignes d'alimentation, de vapeur et de condensat, assurant ainsi une protection complète du circuit.

Les composés alcalinisants utilisés sont basés sur des mélanges de composés volatils neutralisants ayant deux fonctions distinctes :

- Neutralisation du CO₂ provenant de la décomposition thermique des espèces carbonées contenues dans l'eau d'appoint.
- Augmentation du pH sans augmentation substantielle de la charge en sel de l'eau.

L'alcalinisation de l'eau du générateur, tout en favorisant la formation d'un tampon au pH d'environ 9,2 unités, vise à neutraliser les éventuelles baisses de pH causées par des perturbations dans l'approvisionnement en eau.

les événements survenant au cours du cycle, tels que la contamination éventuelle par des composés organiques de faible poids moléculaire, la dégradation des produits de traitement, etc.

TECHNOLOGIE ADICONTROL POUR LE CYCLE EAU-VAPEUR

Le cycle eau-vapeur est essentiel à l'efficacité de la production de l'usine. Par conséquent, un traitement optimal et personnalisé du cycle eau-vapeur est important pour maintenir l'efficacité de la production de vapeur. Adicontrol est une technologie entièrement développée par Adi-Quimica qui permet un contrôle intégré et fiable de nos traitements du cycle eau-vapeur. Elle offre la sécurité de savoir que les installations sont contrôlées, ce qui permet d'économiser de l'eau, de l'énergie et de l'argent.

Notre expérience en matière de La mise au point de cycles eau-vapeur à haute pression et l'innovation constante nous permettent d'offrir une solution qui est

La technologie Adicontrol a été conçue spécifiquement pour les besoins de l'usine, en surveillant les conditions du système et la performance du cycle eau-vapeur en temps réel. La technologie Adicontrol a été conçue spécifiquement pour les besoins de l'usine, en surveillant les conditions du système et la performance du cycle eau-vapeur en temps réel. La technologie Adicontrol met en œuvre un système expert de contrôle et de soutien adapté à l'industrie 4.0, ce qui se traduit par une amélioration de l'efficacité, de la productivité et de la rentabilité du processus. Elle améliore la performance du processus, contrôle la corrosion, maintient les surfaces propres et réduit la consommation d'eau et d'énergie. Les résultats permettent d'atteindre les objectifs de durabilité avec une production de vapeur continue et une protection du système, réduisant les coûts d'exploitation et les émissions de CO₂.

Adicontrol est lié à un être. Les données contrôlées sont évaluées au moyen d'une analyse de scénario et d'une intelligence artificielle. Les données contrôlées sont évaluées au moyen d'une analyse de scénarios et d'une intelligence artificielle qui permettent une gestion complète des informations et l'apprentissage des modèles de comportement de chaque installation. Il génère des rapports sur les indicateurs clés de processus (KPI). Il dispose d'un système d'alarme avancé en cas de déviation. Il s'agit d'un service actif 24 heures sur 24, 365 jours par an. Il permet la visualisation en ligne des

des informations sur le web sur n'importe quel appareil.

Notre équipe de techniciens et d'experts gère en permanence les informations pertinentes et les aspects clés de l'installation afin d'établir un diagnostic précis de l'état du processus, de formuler des recommandations pour faciliter la prise de décision, d'optimiser et d'adapter les performances de manière dynamique, d'intervenir avant que le problème ne survienne, de prendre des mesures immédiates en réponse aux alarmes et aux déviations, et de résoudre des situations complexes.

RÉSULTATS DES ACTIONS D'AMÉLIORATION

La mise en œuvre d'un traitement optimisé et de la technologie Adicontrol a permis au cycle eau-vapeur de fonctionner aux valeurs recommandées des paramètres critiques de l'installation fixés par les lignes directrices de l'EPRI [5, 6]. Les problèmes de corrosion sur les surfaces de transfert de chaleur ont été éliminés. Les figures 4 et 5 montrent le pH et les valeurs de fer dans la chaudière et dans le condensat, après l'application des mesures d'amélioration proposées par Adiquimica. Le pH a augmenté et s'est stabilisé à des valeurs recommandées supérieures à 9,2 unités. Les niveaux de fer ont été réduits à une moyenne de 57 ppb et 3,5 ppb dans la chaudière et le condensat, respectivement, ce qui indique qu'une protection efficace contre la corrosion des surfaces métalliques a été obtenue.

CONCLUSIONS

La mise en œuvre d'un traitement chimique optimisé et la technologie Adicontrol permettent un contrôle intégral du cycle eau-vapeur à haute pression, permettant un fonctionnement conforme aux recommandations des organisations EPRI (Electric Power Research Institute) et IAPWS (International Association for the Properties of Water and Steam), dans des paramètres pertinents tels que le pH et la conductivité, évitant les interventions correctives et minimisant les coûts d'exploitation.

Traitement chimique basé sur Le réducteur d'oxygène, l'alcalinisateur volatil et l'alcalinisateur contenus dans l'eau du générateur assurent une protection anticorrosion efficace des surfaces métalliques de l'ensemble du cycle eau-vapeur à haute pression.

La technologie Adicontrol surveille les conditions du système et la performance du cycle eau-vapeur en temps réel, améliore l'efficacité du processus, contrôle la corrosion, maintient les surfaces propres et réduit la consommation d'eau et d'énergie. Les résultats permettent d'atteindre les objectifs de durabilité avec une production de vapeur continue et la protection du système, réduisant les coûts d'exploitation et les émissions de CO₂.

Bibliographie

- [1] A. Ramesh, N. Laycock, P. Shenai, A. Barnes, H. Van Santen, A. Thyagarajan, A. M. Abdullah, et M.P. Ryan. Critical Deposit Loading Thresholds for Under Deposit corrosion in Steam Generators. Science Section, Vol. 78 (2022)
- [2] I.F. Wright, P.F. Tortorelli et M. Schütze. Oxide Growth and Exfoliation of Alloys Exposed to Steam. Rapport EPRI n° 1013666 (2007).
- [3] I.G. Wright et R.B. Dooley. A review of the oxidation behavior of structural alloys in steam. International Materials Reviews, 55 (3), 129-167 (2010).
- [4] Daniel, P.L., Durisaille, J.C., Watage of Economizer Inlet Header Tube Stubs. The Babcock & Wilcox Compan, Barberton, OH, U.S.A., 186-4019 (1993).
- [5] Electric Power Research Institute. Cycle Chemistry Guidelines for Combined - Cycle/ Heat recovery Steam Generators (HRGs), Palo

"La mise en œuvre d'un traitement chimique optimisé et de la technologie Adicontrol permet un contrôle complet du cycle eau-vapeur à haute pression.