

PROGRAMME

9h00 : Ouverture de la journée par les organisateurs

*Matinée sous la présidence de Thierry Cassagne, Senior Specialist Materials and Corrosion
TOTAL E&P*

- 1) Synthèse des principaux problèmes matériaux posés par l'exploration et l'exploitation des gisements en conditions extrêmes. *Th. Cassagne - TOTAL*
- 2) Acier inoxydable duplex optimisé pour applications arctiques.
A. Fanica , G. Passot - INDUSTRIEL CRMC ARCELOR MITTAL
- 3) Revue générale de la corrosion et de la fatigue des aciers composant les conduites flexibles utilisées en milieu pétrolier offshore. *C. Taravel-Condat - TECHNIP.*
- 4) Sulphide stress corrosion cracking (SSC/SCC) : quelques exemples montrant les facteurs communs et les différences entre les deux mécanismes de corrosion . *C. Duret-Thual - Institut de la Corrosion, Etablissement de Saint Etienne*
- 5) La résistance à la corrosion d'une nuance superduplex pour une application ombilicale.
Dr D.Köschel - VALLOUREC Recherche
- 6) Risques associés aux alliages de nickel à durcissement structural.
Th. Cassagne - TOTAL

14h00 : Deuxième séance de travail

Après-midi sous la présidence de Michel Darrieulat, Vice-Président du CEM

- 7) Revue des essais de corrosion pour la caractérisation des matériaux pour l'industrie pétrolière et gazière.
F. Dubois, C. Plennevaux , C. Duret-Thual - Institut de la Corrosion, Etablissement de Saint Etienne.
- 8) Evaluation en corrosion d'un acier super –martensitique (EN1 .4418) pour l'industrie pétrolière *Th. Mesquita , E. Chauveau , N. Bouvier - UGITECH*
- 9) Acier inoxydable en acier super-austénitique (NYB66) pour corrosion sévère en eau de mer et milieu pétrolier offshore. *J.M. Lardon - AUBERT & DUVAL*
- 10) Blocs forgés laminés de forte épaisseur en acier inoxydable 17-4 PH pour corps de pompe haute pression. *L. Coudreuse, S. Cissé , G. Baron - CHATEAUNEUF INDUSTRIEL ARCELOR MITTAL*
- 11) Retour d'expérience sur des défauts de délamination sur tôles TMCP pour structures Offshore. *J.M. Aubert - TOTAL*
- 12) Apport du rechargement dur par laser sur les outils de forage pétrolier. *D. Dezert - TECHNOGENIA*

AVANT PROPOS

Cette journée, organisée par le Cercle d'Etudes des Métaux avec le groupe TOTAL a rassemblé 80 personnes avec 60% d'industriels, 15% d'universitaires et 20% de représentants de centres techniques. Elle se place dans la grande tradition des journées organisées par le Cercle d'Etudes des Métaux dont le but est d'assurer un échange entre le monde technique et universitaire et le monde industriel. Douze communications ont été présentées au cours de cette journée, sept relatives aux matériaux et cinq relatives aux problèmes de dégradation par fatigue, corrosion et délamination.

La conférence introductive a présenté les problèmes matériaux posés par l'exploration et l'exploitation des gisements en conditions extrêmes. Les champs haute pression haute température (plus de 1400 bars et 200°C) imposent, pour le casing où le problème est la dégradation par H₂S, une évolution des aciers faiblement alliés du type 125 ksi vers les aciers martensitiques au chrome améliorés du type 15-6 Mo-Cu ou 17-4 Mo-Cu-W (pour une résistance à 250°C) et, pour le tubing où le problème est l'enrichissement en H₂, une évolution des duplex classiques vers les superduplex et les alliages base nickel. Pour les grands fonds où les problèmes sont essentiellement dus à la fragilisation par l'hydrogène, ce sont les duplex qui sont très majoritairement utilisés avec la nécessité du contrôle de grains pour de grosses pièces forgées. Le beurrage interne d'aciers peu alliés avec des alliages du type 625 pose des problèmes de fissuration de jonctions. Les pipeline risers en aciers peu alliés posent des problèmes de fatigue corrosion et de dégradation par H₂S.

Deux conférences ont été consacrées aux aciers inoxydables duplex, la première avec une nuance optimisée pour les applications arctiques et la seconde avec une substitution de la fabrication de tubes sans soudure par une fabrication de tubes roulés soudés pour les applications ombilicales. L'amélioration du duplex classique 2205 par ajout simultané de Cr, Ni et Mo tout en restant dans la structure 50% ferrite a permis, sur des tôles laminées à chaud, d'obtenir des propriétés de résiliences optimisées, non seulement en métal de base, mais en zone affectée thermiquement par le soudage. Cette amélioration s'est faite sans réduction des propriétés de résistance à la corrosion, ce qui a permis d'étendre son domaine d'utilisation de -50 à 300°C. La fabrication de tubes roulés soudés en acier duplex avec soudure longitudinale par laser et soudure orbitale tube à tube par procédé TIG permet d'assurer, pour des épaisseurs comprises entre 1 et 3mm, une meilleure tolérance dimensionnelle que le tube extrudé. Sur une nuance de PREN > 42,5, dont la teneur en ferrite dans le métal de base est comprise entre 40 et 55%, 45 à 60% dans les soudures, les essais de corrosion par SSCC (sulfide stress corrosion cracking) montrent qu'il n'y a pas de différences significatives entre tubes extrudés et tubes roulés soudés. Il y a donc une ouverture du marché à ce type de produit.

Deux conférences ont été consacrées à l'acier 17-4PH, l'une pour la réalisation de blocs forgés et laminés de forte épaisseur destinés à des corps de pompe haute pression, l'autre par une optimisation de la composition chimique dans le but de passer d'un critère de résistance pH 4,5, pression 0,03 bar H₂S, à un critère beaucoup plus sévère pH 3,5, pression 0,1 bar H₂S. Dans le premier cas, il s'agit de remplacer un acier 4340 (35NiCrMo16) qui se dégrade rapidement par érosion et corrosion par un acier inoxydable du type 17-4PH et de réaliser dans cette dernière nuance de gros blocs de 600x500x1000mm. L'opération se fait par laminage d'ébauches forgées d'épaisseur 1100mm en épaisseur 550mm. Il est possible d'atteindre sur de telles épaisseurs après un traitement thermique optimisé jouant sur l'austénite de réversion au premier revenu, une limite d'élasticité de 1000MPa, avec des

niveaux de résilience de 40 à 50J, d'une manière relativement homogène dans l'épaisseur des produits. Dans le second cas, il s'agit de l'optimisation de la nuance de base sur des produits longs par une augmentation de la teneur en Mo, une réduction de la teneur en Cu et une suppression de l'addition de Nb. Les essais de tenue à la corrosion réalisés en milieu salin et en présence de H₂S, ainsi que les essais de CSC en milieu H₂S, montrent qu'il est possible d'atteindre sur cette nuance le cahier des charges pH 3,5 et pression 0,1 bar H₂S, avec une optimisation du traitement thermique et du degré d'érouissage..

Une conférence a été consacrée aux risques d'utilisation des superalliages base nickel à durcissement structural de limite d'élasticité supérieure à 830MPa dans les puits à haute pression et haute température. L'alliage le plus utilisé dans ce domaine est l'Inconel 718, dérivé de l'industrie aéronautique, mais la microstructure type aéronautique n'est pas adaptée au milieu pétrolier en raison des précipitations de phase Ni₃Nb et NbC sur les joints de grains, néfastes pour la résistance de l'alliage à la fragilisation par l'hydrogène. Le bon compromis microstructural correspond à un ratio déformation après chargement H₂/déformation initiale supérieur à 0,45. Cette problématique se retrouve avec l'alliage 725 et l'alliage 945 plus récemment développé.

Une conférence a été consacrée aux conduites flexibles utilisées pour le transport de produits pétroliers en milieu offshore. Ces flexibles sont composés de différentes couches d'acier et de polymère pour assurer le transport de pétrole brut, des gaz ou de l'eau ou une combinaison de ces composants. La carcasse interne est en acier inoxydable avec des profils agrafés obtenus à partir de feuillards en acier austénitique, duplex ou alliage 31 selon le pH, la température, le taux d'acidité CO₂-H₂S et le taux d'oxygène. Les dégradations se font par piqûres, crevasses et corrosion sous contraintes et le choix des produits se fait après essais en autoclave et évaluation de la durée de stockage en eau de mer naturelle. Les fils et tôles d'acier constituant l'annulaire sont en acier HLE avec des limites d'élasticité comprises entre 780 et 1000MPa pour les tôles, 780 et 1400MPa pour les fils. La dégradation de ces composants se fait par fatigue corrosion et CSC en milieu eau acide de pH 4,5/6,5 sursaturé en Fe²⁺ à des températures comprises entre -20 et 80°C. Des méthodes optimisées pour évaluer l'environnement annulaire devraient aboutir à rendre les conditions d'essais moins sévères et à utiliser des aciers encore plus résistants mécaniquement.

Une conférence a été consacrée à la présentation d'une nuance d'acier austénitique optimisée pour corrosion sévère en eau de mer et milieu pétrolier offshore. Cette nuance de composition Cr24Ni22Mo5,5Mn3Cu1,5W2N0,5 a un PREN>53 et des caractéristiques intéressantes après érouissage de 30% (Rm 1250MPa, Rp0,2 1150MPa). Elle a une résistance en eau de mer supérieure à celle des suprausténitiques classiques et de l'alliage 625. Par contre, en milieu H₂S-CO₂, sa résistance à la CSC est inférieure à celle des base nickel 625 ou C22. Cette nuance peut être réalisée par métallurgie des poudres pour la réalisation de gosses pièces forgées avec notamment la suppression des soudures.

Une conférence a été consacrée au retour d'expérience sur les défauts de délamination en service sur tôles de 50mm d'épaisseur destinées aux structures offshore et obtenues directement par traitement thermomécanique. Ces tôles subissent une fragilisation par l'hydrogène dans des zones dures liées à des problèmes de ségrégations. Il a été montré que par une action d'envergure au niveau de l'amont sur les procédés de fabrication et de traitement, ainsi que sur l'aval au niveau des moyens de stockage et de contrôle par ultrasons, il était possible d'obtenir une forte réduction de ce type de défauts.

Deux conférences ont été consacrées aux essais de corrosion destinés à la caractérisation des matériaux pour l'industrie pétrolière et gazière. Il s'agit des essais SSC (Sulfide Stress Cracking) avec fragilisation par l'hydrogène induit, HSC (Hydrogen Stress Cracking) avec chargement en hydrogène par polarisation cathodique et SCC (Stress Corrosion Cracking). Les aciers au carbone sont affectés par SSC d'une manière très nette dans les conditions standard de la norme NACE (TM0177-96), avec des solutions acides et des pressions partielles de H₂S élevées. Dans des conditions proches des conditions de service, avec des pH plus élevés et des pressions partielles de H₂S plus faibles, les morphologies de fissures observées montrent que le dommage est plus proche du mécanisme SCC. En ce qui concerne les aciers inoxydables, H₂S augmente considérablement le pic d'activité dans la zone cathodique (SSC), et dégrade les conditions de repassivation des piqûres (piqûres et SCC). Il existe également des conditions dans lesquelles la fissuration se produit en dehors de toute corrosion localisée. Ces conditions dépendent de la structure de la nuance, de son degré d'érouissage et des paramètres environnementaux (pH, température, teneur en chlorure et pression partielle de H₂S). Il existe des moyens d'essais variés, en autoclaves ou en cellules à la pression atmosphérique, qui permettent d'exposer des échantillons sous contraintes dans un milieu corrosif éventuellement saturé en CO₂-H₂S. Les modes d'application de la sollicitation mécanique se font, soit par imposition d'une charge, soit d'une déformation. Des logiciels adaptés permettent de simuler au mieux les conditions réelles de l'environnement pendant la durée de l'essai.

Le dernier exposé a présenté l'apport du rechargement dur par laser aux outils de forage pétrolier. Il s'agit d'un rechargement d'alliage Ni-Cr contenant de 50 à 70% de carbure WC sur des épaisseurs comprises entre 2 et 3mm sous forme de poudres de granulométrie 40 à 160µm au moyen d'un laser à diodes de puissance 4 à 6KW. Le support est en général un acier amagnétique contenant 15/20%Mn, 15/20%Cr, 3%Mo, 2,3%Ni, 0,4%N, 0,3%Si et 0,03%C. La différence de coefficient de dilatation entre le support austénitique et le renfort est compensée par une sous couche d'alliage 625 ou C276. Un logiciel CFAO permet de piloter la source laser sur la surface du support pour réaliser des rechargements de forme complexe, voire même l'intérieur d'alésages de 50mm de diamètre sur une longueur de 500mm. La vitesse de déposition de l'alliage de renfort est comprise entre 20 et 70cm²/min, ce qui est tout à fait correct pour un rechargement par laser.

Ce colloque a montré que la problématique matériaux dans l'industrie pétrolière atteignait une sophistication au moins égale, sinon supérieure, à celle rencontrée quelques décennies plus tôt, à propos des matériaux destinés à l'aéronautique. Les exigences en matière de résistance à la corrosion et de tenue à la fatigue ont entraîné une évolution de toutes les nuances de la famille des aciers inoxydables : ferritiques, austénitiques, duplex, nuances à durcissement structural...