

# MATERIAUX 2014

24-28 novembre 2014

Le Corum

Montpellier

*Thème 6, Corrosion, vieillissement, durabilité, endommagement*

Mercredi 26 novembre 2014

*Journée CEM sur le thème de la fissuration assistée par  
l'environnement*

## Programme de la journée

11h15-11h30 : Présentation de la journée par le Cercle d'Etudes des Métaux

*Présidents de séance : Claude DURET-THUAL, Cédric BOSCH*

- (1) : 11h30-12h00 : OUDRISS A., BOUHATTATE J., SAVALL C., CREUS J., FEAUGAS X. (Université de la Rochelle, Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement), MARTIN F., LAGHOUTARIS P., CHENE J. (CEA Saclay) : *L'implication des joints de grains et des structures de dislocations sur les processus de diffusion et de piégeage de l'hydrogène dans le nickel : vers une compréhension des mécanismes de fragilisation par l'hydrogène* (Keynote Lecture)
- (2) : 12h00-12h15 : FOROT C., KITTEL J. (IFP Solaize), ROGUET E. (IFP Energies Nouvelles Rueil Malmaison), DESAMAIS N., TRAVEL-CONDAT (Technip Le Trait), CREUS J., FEAUGAS X. (Université de la Rochelle, Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement) : *Application de la perméation d'hydrogène à la prédiction des risques de fissuration interne des aciers*
- (3) : 12h15-12h30 : OUDRISS A., CONFORTO E., BERZIOU C., COHENDOZ S., SAVALL C., CREUS J., FEAUGAS X. (Université de la Rochelle, Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur pour l'Environnement), SOBRINO J.M. (CETIM Senlis) : *The influence of the baking time on the Hydrogen Embrittlement of Martensitic Steels*

*12h30-14h30 : Pause déjeuner*

*Présidents de séance : Catherine GUERRE, Claude DURET-THUAL*

- (4) : 14h30-15h00 : BOSCH C., DELAFOSSE D. (ENSMSE), VUCKO F. (Institut de la corrosion, Brest) : *Effet de l'hydrogène sur le comportement en fatigue oligocyclique d'un acier trempé revenu à haute limite d'élasticité* (Keynote Lecture)

- (5) : 15h00-15h20 : EL MAY M., SAINTIER N. (Arts et Métiers Paris Tech Talence), DEVOS O. (université de Bordeaux), ROZINOER A. (GE Oil and Gas Thermodyn SAS, Le Creusot) : ***Effet de la corrosion aqueuse sur la durée de vie en fatigue de l'acier inoxydable martensitique X4CrNi16-4 à grand nombre de cycles ( $10^5$  à  $10^7$ )***
- (6) : 15h20-15h40 : BOSCH C., VANCOSTENOBLE A., DELAFOSSE D. (ENSMSE), DURET-THUAL C. (Institut de la Corrosion Fraissès) : ***Influence d'une pré-déformation en torsion sur la fissuration assistée par l'environnement d'un acier ferrito-perlitique écroui en milieu aqueux***
- (7) : 15h40-16h00 : BOLIVAR J., CORRE L., FREGONESE M. (INSA MATEIS Villeurbanne), PINEAU P., RETHORE J., BAIETTO M.C. (INSA LaMCoS Villeurbanne), DURET-THUAL C. (Institut de la Corrosion Fraissès), CALONNE O. (AREVA NP Le Creusot), COMBRADE P. (ACXCOR Le Bessat), BUMBIELER F. (Andra-Bure), PROUST A. (Mistras Group SA Sucy en Brie) : ***Etude du comportement de fissures courtes de corrosion sous contrainte***
- (8) : 16h00-16h15 : GUPTA J. (CEA Saclay-ENSIACET-CIRIMAT Toulouse), LAFFONT L., ANDRIEU E., LAFONT M.C. (ENSIACET-CIRIMAT Toulouse), HURE H., TANGUY B. (CEA Saclay) : ***Corrosion sous contrainte en milieu REP d'un acier inoxydable irradié par un faisceau d'ions***
- (9) : 16h15-16h30 : CHAUMUN E. (CEA Mines Paris Tech Saclay), CREPIN J., DUHAMEL C., SENNOUR M. (Mines Paris Tech Evry), GUERRE C. (CEA Gif sur Yvette), HERIPRE E. (LMS Ecole Polytechnique Palaiseau), DE CURIERES I. (IRSN Fontenay) : ***Effet de l'amorçage de fissure de corrosion sous contrainte de l'alliage 82, alliage base nickel soudé en milieu vapeur d'eau hydrogénée à 400°C***

***16h30-17h00 : Pause***

***Présidents de séance : Cédric BOSCH, Catherine GUERRE***

- (10) : 17h00-17h15 : BERNE C. (laboratoire commun CETIMAT/CETIM, CIRIMAT Toulouse), ANDRIEU E., BLANC C. (CIRIMAT, UPS/INPT/CNRS Toulouse), REBY J. (CETIM Nantes), SOBRINO J.M. (CETIM Senlis) : ***Développement de tests représentatifs pour l'évaluation de la sensibilité à la corrosion sous contrainte de laiton  $\alpha$   $\beta$  utilisé pour des composants de robinetterie gaz***
- (11) : 17h15-17h30 : LE PORT P. (Institut de Soudure Villepinte) : ***Les répliques métallographiques : une méthode non destructive pour contrôler le vieillissement et l'endommagement métallurgique***

## AVANT PROPOS

La journée du Cercle d'Etudes des Métaux qui se situait dans le cadre du thème 6 du colloque matériaux de Montpellier, consacré à la corrosion, au vieillissement, à la durabilité et à l'endommagement, a été organisée avec le CEFRACOR qui avait la responsabilité de ce thème. Cette journée a rassemblé, selon les conférences, entre 60 et 70 personnes, avec une forte majorité d'universitaires. Deux thématiques ont été évoquées :

- les problèmes de fragilisation par l'hydrogène des aciers au carbone, des aciers inoxydables et des alliages base nickel, avec la mise en évidence du paramètre microstructural,
- les problèmes de corrosion sous contraintes et de fatigue corrosion sur aciers, alliages de nickel et de cuivre avec l'étude des tout premiers stades de l'endommagement et de l'effet de l'irradiation, notamment dans le cas des aciers inoxydables austénitiques.

**1 – Problèmes de fragilisation par l'hydrogène :** Quatre communications ont été consacrées à ce thème, la première sur les processus de diffusion et de piègeage de l'hydrogène dans les structures cubiques faces centrées, la seconde sur la prédiction des risques de fissuration d'aciers au carbone de structures ferrito-perlitique et perlitique, la troisième sur la sensibilité des aciers de structure martensitique à la fragilisation par l'hydrogène après traitement de surface et la quatrième sur l'évolution du comportement en fatigue oligocyclique d'un acier trempé revenu à haute limite d'élasticité en présence d'hydrogène.

*Abdelali Oudriss*, de l'université de la Rochelle, a évoqué la fragilisation par l'hydrogène des structures cubiques faces centrées. Dans ces structures, deux types de joints de grains ont été clairement mis en évidence, les joints spéciaux ordonnés, sites préférentiels de piègeage de l'hydrogène, et les joints « random » désordonnés, fortement connectés en réseau et susceptibles de constituer un chemin préférentiel de diffusion de l'hydrogène. Il existe une bonne corrélation entre le niveau de fragilisation de type intergranulaire marqué et la fraction de joints désordonnés.

*Clément Forot*, de l'IFP Energies Nouvelles, a évoqué la prédiction des risques de fissuration d'aciers au carbone à haute limite d'élasticité. Dans ces aciers de structure ferrito-perlitique ou perlitique, les essais de perméation montrent que les précipités de cémentite constituent une barrière à la diffusion de l'hydrogène et que les modèles doivent prendre en compte un paramètre « tortuosité » lié à la taille et à la répartition des précipités de cémentite.

*Abdelali Oudriss*, de l'université de la Rochelle, a évoqué l'influence du paramètre temps sur la fragilisation par l'hydrogène des aciers à haute résistance qui ont subi un traitement de surface. Une étude d'envergure a été entreprise afin de voir le bien fondé du test classique de désorption de 24 heures à 200°C. Cette étude, conduite sur acier 37Cr4 avec différents paramètres microstructuraux prenant en compte la distribution inclusionnaire, la taille de grains, la microstructure et le taux d'austénite résiduelle, n'en est qu'à ses débuts. Il a été montré qu'à la température ambiante, le maximum d'endommagement des caractéristiques de ductilité correspond à la désorption maximale des espèces diffusibles. La cinétique de

désorption de l'hydrogène est donc un critère déterminant qu'il faudra préciser pour des températures supérieures à 20°C.

**Cédric Bosch**, du centre SMS de l'école des mines de Saint Etienne, a évoqué l'effet de l'hydrogène sur le comportement en fatigue oligocyclique d'un acier à haute limite d'élasticité du type S690QL. Pour des taux de déformation cyclique compris entre 0,2 et 2%, l'hydrogène introduit par polarisation cathodique facilite la mobilité des dislocations et l'évolution de leur structure en réseau. Il en résulte une diminution plus rapide des niveaux de contraintes internes et effectives, pour un même taux de déformation, que par fatigue oligocyclique à l'air.

**2 – Problèmes de corrosion sous contraintes et de fatigue corrosion** : Six communications ont été consacrées à ce thème, la première sur les aciers inoxydables martensitiques au chrome et au chrome nickel, la seconde sur les aciers ferrito-perlitiques écrouis, la troisième sur l'amorçage par colonies de fissures courtes sur des aciers inoxydables austénitiques dans l'eau sous pression, la quatrième également sur acier inoxydable austénitique avec l'effet de l'irradiation, la cinquième sur des alliages base nickel soudés en milieu primaire des réacteurs à eau pressurisée (REP) et la sixième sur des pièces de robinetterie en laiton dans le cadre de la distribution des gaz.

**Mohamed El May**, des Arts et Métiers Paris Tech, a étudié l'effet de la corrosion aqueuse sur la durée de vie à grand nombre de cycles des aciers inoxydables martensitiques. Cette étude a mis en évidence les interactions entre le chargement mécanique cyclique (fatigue) et l'activité électrochimique en surface (corrosion). Le chargement cyclique se traduit par une chute du potentiel libre, avec possibilité de rupture du film passif. Il existe en particulier un seuil de non dépassivation qui correspond à la limite de fatigue. L'objectif de cette étude est de mieux dimensionner les pièces soumises à ce type de sollicitation.

**Cédric Bosch**, du centre SMS de l'école des mines de Saint Etienne, a étudié l'influence d'une pré-déformation en torsion sur la fissuration par traction lente en milieu aqueux d'un acier ferrito-perlitique écroui. Cette déformation préalable entraîne une augmentation sensible de la fissuration et de la propagation des fissures. Ce sont les modifications de la microstructure et la réorientation des lamelles de cémentite qui sont à l'origine de ce phénomène, l'effet de barrière à la pénétration et à la diffusion de l'hydrogène étant fortement réduit.

**José Bolívar-Vina**, de l'INSA de Lyon, a étudié le comportement de fissures courtes de corrosion sous contraintes pour faire évoluer les modèles utilisés pour la prédiction du vieillissement des structures dans l'eau sous pression. Ces modèles, en effet, sont fondés sur des essais prenant en compte l'amorçage et la propagation d'une fissure de grande amplitude. Ils ne tiennent pas compte du comportement de colonies de fissures courtes. Le but du travail présenté est de développer ce type de défauts sur différents matériaux : acier inoxydable austénitique, alliage base nickel, acier peu allié, avec suivi par émission acoustique, bruit électrochimique, corrélation d'images numériques, puis à réaliser une analyse des résultats pour modéliser l'amorçage, l'interaction et la coalescence des colonies de microfissures.

**Jyoti Gupta**, du CEA de Saclay, a étudié les effets de l'irradiation aux protons à 350°C, sous 3,2MeV, sur un acier inoxydable austénitique du type AISI 304L. Les modifications microstructurales (boucles de Frank, cavités) et le durcissement qui dépendent de la dose entraînent par chargement mécanique une multiplication des plans de glissement avec génération de fissures.

**Elisabeth Chaumon**, du CEA et de Mines Paristech, a étudié la fissuration des soudures d'alliages à base de nickel en milieu vapeur d'eau hydrogénée à 400°C. Cette étude a été lancée suite à l'augmentation du nombre de cas de fissuration des liaisons alliages base nickel acier faiblement allié dans les réacteurs à eau pressurisée depuis la décennie 90. Trois axes ont été pris en compte : caractérisation microstructurale des soudures, caractérisation micromécanique et localisation des sites d'amorçage de corrosion sous contraintes par essais d'amorçage interrompus en milieu vapeur d'eau hydrogénée à 400°C. Les premiers résultats exposés confirment la fissuration intergranulaire perpendiculaire au sens de sollicitation, avec une influence forte de la texture cristallographique de la soudure et du traitement de détensionnement susceptible d'être réalisé.

**Clément Berne**, du CETIMAT (laboratoire commun Matériaux métalliques et surfaces de l'université de Toulouse et CIRIMAT) a développé un test représentatif du comportement en corrosion sous contraintes de composants de robinetterie gaz en laiton. La mise au point de ce test a nécessité la maîtrise des différents paramètres : charge, environnement, et les dégradations observées sur éprouvettes d'essai ont été comparées aux dommages subis en service. Les interfaces  $\alpha/\beta'$  et la phase  $\beta'$  du laiton CuZn40Pb2 sont les zones privilégiées de fissuration, avec une accélération du phénomène sur des structures grossières et aciculaires. Une réduction de la taille de grains est très favorable pour limiter ce phénomène.

Bien que non prévu initialement dans le programme, la journée du CEM s'est terminée par un exposé de **Pierrick Le Port** de l'Institut de Soudure sur l'utilisation des techniques de répliques métallographiques pour l'observation des premiers stades de dégradation de surface des composants. Cette technique, réalisable sur chantier, est très pratique car elle permet l'observation sur un support souple de surfaces complexes avec, en particulier comme exemple, la recherche de microcavités intergranulaires spécifiques du fluage, dont l'observation peut être faite au MEB. Il s'agit d'une observation de surface qui ne peut détecter les défauts en sous couche.