

# Sciences et génie des matériaux



**L**es sociétés se sont toujours définies par les matériaux qu'elles maîtrisent et les techniques qu'elles utilisent pour leur donner une fonction. Ce qui était vrai à l'âge du Fer l'est tout autant aujourd'hui à l'âge du Silicium (nouvelles technologies de l'information et de la communication).

La maîtrise des matériaux, de leur élaboration, de leur mise en forme, de leurs propriétés est aujourd'hui, plus que jamais, au cœur du développement de nos sociétés : les nouveaux matériaux pour l'automobile qui permettent d'accroître la sécurité tout en allégeant le véhicule, la miniaturisation des microprocesseurs, les fils textiles "antiboulochage", les mâts des voiliers de la "Route du Rhum", les implants cardiaques...

L'élaboration et la mise en forme des matériaux représentent un secteur économique extrêmement important : de très grandes entreprises multinationales, mais également des PME extrêmement dynamiques. Les propriétés d'emploi des matériaux sont un enjeu décisif dans tout le secteur aval (automobile - aéronautique - électroménager - biens de consommation - électronique).

Au sein de l'option, les sujets traités concernent tous les types de matériaux, métaux et alliages métalliques, polymères, matières agroalimentaires, verres, céramiques, composites...

Les thèmes traités recouvrent la mise en œuvre, la micro-structure, les propriétés et les performances des matériaux. Certains sujets sont plus centrés sur l'analyse physico-chimique des matériaux, d'autres sur la simulation numérique de leur mise en œuvre et de leurs propriétés.

**Anne-Françoise GOURGUES, Michel BELLET**

# Sciences et génie des matériaux

Lundi 28 juin 2010 - Amphi L224

**11h-12h**

## Modélisation de la fissuration à chaud en soudage d'un acier inoxydable austénitique



**Gonghao  
QIU**

Les aciers inoxydables austénitiques de type 18-10 sont couramment utilisés dans l'industrie nucléaire. Lors de la fabrication ou de la réparation de certains composants par soudage TIG, des problèmes de fissuration à chaud peuvent apparaître, limitant l'utilisation du matériau. Dans le cadre du projet SPAR (Simulation Pour Anticipation et Réparation), EDF R&D instruit la modélisation de la fissuration à chaud lors du soudage. L'objectif de cette analyse est de développer un modèle thermomécanique local permettant de prédire le risque de défaut. Dans le cadre de ce stage, il est prévu de concevoir et réaliser des essais de soudage instrumentés. En faisant varier les conditions de soudage (forme des éprouvettes, bridage, vitesse, énergie), ces essais pourront donner lieu ou non à la fissuration à chaud.

En simulant numériquement ces essais avec le code ASTER, le but est d'identifier le type de critère et les paramètres associés conduisant à une bonne prédiction du risque d'apparition du défaut pour l'acier inoxydable austénitique considéré.

Une synthèse bibliographique sur le mécanisme du phénomène et une étude comparative des essais de caractérisation existants seront présentées. Le choix du type d'essai sera concrétisé par une description détaillée de l'installation de l'essai et une étude du comportement en cours de solidification de l'acier étudié. Les techniques d'instrumentation thermique et mécanique et les résultats associés seront expliqués et interprétés. On discutera l'accord avec les résultats expérimentaux, la validité et les améliorations possibles des critères qui auront pu être dégagés, ainsi que les perspectives de ce travail.

*EDF (CHATOU)  
ET CEMEF (SOPHIA ANTIPOLIS)*

**13h-14h**

## Diffusion de l'oxygène et de l'hydrogène dans le zirconium lors de son oxydation



**Miguel  
ANIA ASENJO**

Le zirconium possède des propriétés intéressantes telles qu'une faible section efficace de capture des neutrons thermiques, une bonne résistance à la corrosion et une tenue mécanique en fluage correcte, qui en font le métal idéal pour former les gaines contenant le combustible nucléaire dans le cœur des réacteurs. Une des fonctions des gaines est de constituer la première barrière de confinement des noyaux hautement radioactifs issus de la réaction de fission nucléaire. Lors de leur utilisation, ces gaines sont soumises à des phénomènes de corrosion se produisant à une température d'environ 300°C sous une pression de 155 bars. Par ailleurs, un des scénarii d'accidents envisagés est l'Accident par Perte de Réfrigérant Primaire (APRP), qui implique une oxydation sous vapeur d'eau à des températures pouvant atteindre 1200°C. Il est donc indispensable de s'assurer que l'étanchéité des gaines soit également garantie sous ces conditions extrêmes.

L'objectif de ce stage est de développer des modèles multi-phy-

siques en éléments finis pour étudier le processus d'oxydation, et, séparément, celui d'hydruration des gaines en alliage de zirconium. Pour ce qui est de l'oxydation, nous nous intéresserons particulièrement aux hautes températures (jusqu'à 1200°C) qui pourraient survenir lors d'un APRP. L'hydruration, elle, est provoquée par la diffusion vers l'intérieur de la gaine de l'hydrogène libéré par la réaction d'oxydation du zirconium par l'eau, qui peut donner lieu à la précipitation d'une phase fragilisante d'hydrure de zirconium. Le modèle vise à quantifier l'évolution de cette phase pendant toute la vie de l'alliage, depuis sa mise en réacteur, jusqu'à son stockage en tant que déchet radioactif. Parallèlement, des essais d'échauffement à haute température sous atmosphère neutre seront réalisés dans une thermobalance sur deux types d'échantillons de gaine pré-oxydés. Ces expériences seront suivies de caractérisations analytiques et d'observations micrographiques.

Ce projet s'inscrit dans la démarche d'amélioration continue et de contrôle de qualité de la société CEZUS, n°1 mondial sur le marché du zirconium, et filiale d'AREVA NP.

*CEZUS (UGINE) ET CENTRE DES MATÉRIAUX (EVRY)*

**14h-15h**

## **Modélisation de l'évolution de la microstructure d'un superalliage à base de nickel**



**Adèle  
LYPRENDI**

Les superalliages à base de nickel sont tout à fait adaptés aux conditions extrêmes imposées par les cycles de vie des turboréacteurs. Utilisés notamment pour la réalisation des aubes, leur extraordinaire résistance thermomécanique s'explique par une microstructure particulière constituée d'un ensemble de précipités ordonnés entourés par une matrice désordonnée. L'intérêt principal

de cette microstructure est de limiter la propagation des défauts cristallins à l'origine de la plasticité. Lors de leur utilisation, les superalliages sont soumis à de fortes contraintes qui entraînent une modification de la microstructure : les précipités à l'origine cuboïdaux tendent à s'allonger et à s'aligner selon un axe privilégié. On parle alors de mise en radeaux. Cette évolution microstructurale conduit à une dégradation des propriétés mécaniques.

C'est dans une logique d'étude de cette évolution que s'inscrit le stage. Le laboratoire du LEM travaille avec un modèle dit de champs de phase qui permet de modéliser la formation et l'évolution des différentes phases lors d'essais thermomécaniques. Un outil numérique déjà très complet existe. Les résultats actuels reflètent bien les observations expérimentales, néanmoins certains points doivent être approfondis. L'objet du travail est d'enrichir ponctuellement la modélisation sur ce que l'on appellera "paroi d'antiphase" -i.e. interface entre deux précipités d'une même phase mais dont la structure est décalée-, en introduisant dans le modèle un nouveau degré de liberté pour le contrôle des énergies d'interface. Des renseignements sur le comportement des parois d'antiphase dans les superalliages seront également collectés en utilisant la microscopie électronique en transmission.

*ONERA (CHÂTILLON)  
ET CENTRE DES MATÉRIAUX (EVRY)*

**15h-16h**

## **Analyse de la durée de vie d'une chambre de combustion de réacteur d'avion**



**Jedd  
BETARI**

La chambre de combustion d'un moteur d'avion est un composant qui subit des sollicitations thermomécaniques complexes. La principale source de contraintes est d'origine thermique, la température de flamme pouvant atteindre 1400°C. Afin de protéger la pièce, en superalliage à base de cobalt (HA188), de trop hautes températures,

celle-ci est multiperforée permettant ainsi à l'air froid de constituer une couche protectrice entre le superalliage et l'air chaud. Dans une optique d'amélioration de la prédiction de la durée de vie d'une chambre de combustion, de nouvelles lois d'endommagement sont testées. En effet, les méthodes utilisées actuellement pour le calcul de la durée de vie donnent des résultats généraux en termes d'endommagement, mais la localisation des points critiques en termes de durée de vie reste indicative. La notion de durée de vie dépend avant tout du cahier des charges du moteur. En effet, pour des moteurs civils, des fissures microscopiques (de l'ordre du micromètre) sont acceptables car elles ne nuisent pas à leur fonctionnement. Par contre, les fissures macroscopiques (de l'ordre du millimètre) peuvent provoquer la ruine du moteur. Les processus d'endommagement principaux sont le fluage (sollicitation maintenue) et la fatigue (sollicitation cyclique) qui permettent de reproduire un cycle du moteur.

Le travail consiste, d'une part à valider une loi d'endommagement en fluage sur des calculs couplés comportement-endommagement, ainsi qu'en fatigue sur des calculs de comportement suivis d'un post-traitement d'endommagement relativement aux essais effectués sur éprouvette en fatigue et fluage. Le post-traitement permet, à partir de l'historique des contraintes, des déformations et de la température sur un nombre réduit de cycles, de déterminer le temps d'apparition des fissures par le calcul de l'énergie stockée et d'en déduire ainsi le temps à rupture, la durée de vie étant à comprendre au sens de l'amorçage, sans phase de propagation. L'amorçage est la première étape du mécanisme de ruine par fatigue qui, ayant presque toujours lieu en surface, aboutit à la formation de minuscules défauts qui serviront de points d'amorçage aux fissures. Ce travail préliminaire permettra alors d'appliquer ce modèle d'endommagement incrémental de type Lemaître à un calcul de chambre de combustion. D'autre part, il s'agira de regarder plus précisément la structure multiperforée de la chambre sachant que celle-ci, étant d'une géométrie complexe, n'est modélisée numériquement que par un matériau équivalent, i.e. un matériau dont le comportement est équivalent en terme de réponse aux sollicitations à celui de la structure multiperforée, ne donnant que des résultats globaux de durée de vie.

*SNECMA (VILLAROCHE)  
ET CENTRE DES MATÉRIAUX (EVRY)*