

**DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LILLE 1 SCIENCES ET TECHNOLOGIES**

**N° d'ordre :42326**

**NOM/PRENOM DU CANDIDAT : DELBOVE Maxime**

École doctorale : Sciences de la Matière, du Rayonnement et de l'Environnement (SMRE)

Laboratoire : Unité Matériaux Et Transformations (UMET)

Discipline : Sciences des Matériaux

Si cotutelle, établissement partenaire :

**JURY :**

- Directeurs de thèse : Prof. Jean-Bernard VOGT (ENSCL)  
Prof. Denis NAJJAR (École Centrale de Lille)
- Rapporteurs : Prof. Thierry GLORiant (INSA Rennes)  
Prof. Bernard VIGUIER (ENSIACET Toulouse)
- Examineurs : Prof. Bernard NORMAND (INSA Lyon)  
Dr. Jérémie BOUQUEREL (ENSCL)
- Invité : Ing. Thierry SOREAUx (Lebronze Alloys – Suippes)

**SOUTENANCE : Mardi 28 Février 2017 (13h00), Bâtiment C15 (Amphi 6)**

**TITRE DE LA THÈSE :**

**FATIGUE ET CORROSION D'ALLIAGES DE CUIVRE POUR APPLICATIONS FERROVIAIRES**

**RÉSUMÉ :**

Utilisés pour leur bon compromis entre propriétés mécaniques, thermiques et électriques, les alliages Cu-Ni-Si à durcissement structural par précipitation sont notamment employés pour la maintenance ferroviaire. Ils sont donc soumis aux passages des trains et aux effets d'environnement. C'est pourquoi la résistance d'un alliage CuNi<sub>2</sub>Si a été étudiée en fatigue oligocyclique, en corrosion aqueuse et en fatigue-corrosion. Le but est de relier les propriétés macroscopiques aux mécanismes microstructuraux.

Les essais de fatigue ont montré un durcissement initial de l'alliage, suivi d'un adoucissement continu jusqu'à la rupture. À l'aide des microscopies électroniques en transmission (MET) et à balayage (MEB), notamment en ECCI (Electron Channelling Contrast Imaging) et en EBSD (Electron BackScattered Diffraction), une formation initiale de cellules de dislocations a été identifiée, ces dernières disparaissant au profit de la formation de bandes dénuées de précipités suite à la dissolution mécanique des précipités  $\delta$ -Ni<sub>2</sub>Si. Ceci constitue le mécanisme d'accommodation de la déformation cyclique. L'avancée de la formation de ces bandes explique les différents régimes observés sur le diagramme de Manson-Coffin.

L'alliage présente en milieu NaCl à 50 g.L<sup>-1</sup> un mécanisme de corrosion intergranulaire. La spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE) semble indiquer la présence d'un film passif compact en surface de l'alliage. Enfin, une sensibilité à la fatigue-corrosion apparaît, notamment aux plus hauts niveaux de déformation où la durée de vie est réduite d'un tiers. De plus, un faciès de rupture semblable à ceux observés en corrosion sous contrainte est constaté.

**DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LILLE 1 SCIENCES ET TECHNOLOGIES****N° order:42326****NAME/SURNAME OF THE CANDIDATE: DELBOVE Maxime**

Doctoral School: Materials, Radiation and Environmental Sciences (SMRE)

Laboratory: Unité Matériaux Et Transformations (UMET)

Discipline: Materials Science

In case of co-tutorial thesis, provide the partner institution:

**THESIS COMMITTEE:**

- Thesis supervisors: Prof. Jean-Bernard VOGT (ENSCL)  
Prof. Denis NAJJAR (École Centrale de Lille)
- Referees: Prof. Thierry GLORiant (INSA Rennes)  
Prof. Bernard VIGUIER (ENSIACET Toulouse)
- Examiners: Prof. Bernard NORMAND (INSA Lyon)  
Dr. Jérémie BOUQUEREL (ENSCL)
- Gest: Ing. Thierry SOREAUx (Lebronze Alloys – Suippes)

**DEFENSE: Tuesday, the 28<sup>th</sup> of February, 2017 (01.00 PM), Building C15 (Lecture Hall 6)****TITLE OF THE THESIS:****FATIGUE AND CORROSION OF COPPER ALLOYS FOR RAILWAY APPLICATIONS****ABSTRACT:**

Employed for their good balance between mechanical, thermal and electrical properties, precipitation hardened Cu-Ni-Si alloys are used for various purposes, including railway maintenance. In the latter case, they are submitted to train traffic and environmental effects. This is why the low cycle fatigue (LCF), the wet corrosion and the fatigue-corrosion behaviours of a CuNi<sub>2</sub>Si alloy have been studied. The aim of the present work is to relate the macroscopic properties to the microstructural behaviour.

The fatigue life of the alloy is composed of an initial hardening step, followed by a continuous softening until fracture. Thanks to the combination of transmission and scanning electron microscopies (respectively TEM and SEM), including ECCI (Electron Channelling Contrast Imaging) in addition to EBSD (Electron BackScattered Diffraction), the formation of dislocation cells has been identified, which ones are then consumed by the formation of precipitate free bands after the mechanical dissolution of the  $\delta$ -Ni<sub>2</sub>Si precipitates. This sequence describes the cyclic strain accommodation mechanism. The progress in the formation of these bands explains the different regimes observed into the Manson-Coffin diagram.

The alloy exhibits intergranular corrosion in 50 g.L<sup>-1</sup> NaCl solution. The electrochemical impedance spectroscopy (EIS) indicates the formation of a compact passive film at the surface of the alloy. Finally, the alloy seems to be sensible to fatigue-corrosion, especially at high strain range where the number of cycle to failure is reduced by a third. Moreover, a fracture surface similar to a stress corrosion cracking surface is also observed.