

Sujet du stage M2

Titre : Lien microstructure-propriétés mécaniques dans des alliages d'aluminium anciens

Maîtres de stage :

Brunet Magali (CEMES-CNRS) magali.brunet@cemes.fr 05 62 25 78 96 CEMES, 29 rue Jeanne Marvig, 31055 Toulouse Cedex 4 Groupe M3 (Matériaux Multifonctionnels Multiéchelles) Equipe Matériaux du Patrimoine www.cemes.fr	Benoît Malard (CIRIMAT-ENSIACET) benoit.malard@ensiacet.fr 05 34 32 34 24 CIRIMAT-ENSIACET INP-ENSIACET 4 allée Emile Monso - BP44362 31030 Toulouse cedex 4 Equipe MEMO https://cirimat.cnrs.fr/
--	--

Dates : Février – Juin 2022

Contexte / Missions:

Le contexte de ce sujet de stage M2 est l'étude d'alliages d'aluminium anciens et de leur développement pour l'aéronautique au début du 20^{ème} siècle. Dans cette période historique, l'usage des alliages d'aluminium devint courant mondialement pour les pièces de structure et les fuselages des avions. La recherche et le développement de chaque nation furent mis au service de la course à la meilleure technologie aérienne : notamment pour les chasseurs.

Afin d'acquérir une meilleure connaissance des alliages d'aluminium utilisés dans différentes nations (France, Allemagne, USA, Royaume-Uni...etc) et comprendre le lien qui était fait à l'époque entre composition chimique des alliages, mise en forme et propriétés mécaniques, notre équipe étudie depuis plusieurs années les matériaux issus d'avions crashés de la deuxième guerre mondiale.

L'évaluation des propriétés mécaniques des pièces issues de ces avions requière normalement une surface ou un volume important de matière afin d'en extraire des éprouvettes de traction par exemple. Sur les pièces d'avions crashés, non seulement les pièces sont petites et tordues, mais elles font partie du Patrimoine Aéronautique, et sont donc destinées à être conservées. Des analyses les moins invasives possibles sont par conséquent nécessaires.

Dans cet optique, une machine de traction (Deben®) a été acquise par l'équipe du CIRIMAT pour tester les propriétés mécaniques sur des éprouvettes millimétriques. Les tests micro-mécaniques ont prouvé leur efficacité à l'échelle locale¹.

Ainsi, des micro-échantillons extraits de ces épaves d'avion seront testés sur cette machine de traction. La compréhension des propriétés de ces alliages d'aluminium passe nécessairement par l'étude de leur microstructure (taille, morphologie des grains et précipitation de phases durcissantes à l'échelle nanométrique). L'étudiant sera en charge des essais de traction à l'échelle millimétrique et de la caractérisation par microscopie électronique par balayage (MEB) de ces échantillons : avant et après traction, notamment pour l'observation des faciès de rupture. Des techniques complémentaires comme l'EBSD

¹ S. Nimer, J. Wol and M. Zupan, Adv. Eng. Mater., 2013, 15

(Electron Backscatter Diffraction) et la microscopie électronique en transmission seront employées pour faire le lien entre taille, morphologie, orientation des grains et propriétés mécaniques. Une technique de corrélation d'image sera mise en œuvre pour évaluer les élongations vraies des échantillons. Une fois la méthodologie mise au point, des essais de traction in-situ, dans le MEB Helios nano-lab, sont également envisagées : la plate-forme de traction étant adaptée à un fonctionnement en chambre sous vide.

Par comparaison des microstructures avec des alliages récents et dont les caractéristiques mécaniques sont bien connues, il est attendu une meilleure compréhension des états métallurgiques de ces alliages anciens. Le vieillissement dû à l'historique de l'avion et de l'épave sera ainsi mis en lumière.

Références en lien:

- M. Brunet, B. Malard, N. Ratel-Ramond, Ch. Deshayes, B. Warot-Fonrose, Ph. Sciau and J. Douin, *Comparison of long-term natural aging to artificial aging in Duralumin*, Proceedings of the 17th Conference on Aluminum Alloys, ICAA17, MATEC Web Conf., Volume 326 (2020) 04007.
- M. Brunet, A. Cochard, C. Deshayes, C. Brouca-Cabarrecq, L. Robbiola, J.-M. Olivier, Ph. Sciau *Study of Post-World War II French Aeronautical Aluminium Alloy and Coatings: Historical and Materials Science Approach*. Studies in Conservation, Vol.65, Issue 2, p.103-117, 2020.
- M. Brunet, B. Malard, N. Ratel-Ramond, Ch. Deshayes, S. Joulié, B. Warot-Fonrose, Ph. Sciau, J. Douin, F. De Geuser, A. Deschamps. *Precipitation in original Duralumin A-U4G versus modern 2017A alloy*. Materialia, 2019, 8, pp.100429.

Compétences:

Le profil attendu pour l'étudiant est un profil en physique ou en sciences de la matière avec des connaissances en métallurgie. La maîtrise de la microscopie électronique à balayage est un plus.

Par ailleurs, l'étudiant.e doit être dynamique, curieux(se). Une grande autonomie et une capacité à prendre des initiatives sont demandées.

Modalités de candidature :

Candidatures par mail (CV + lettre de motivation) jusqu'au 5 novembre inclus.

Les entretiens auront lieu le 15-16 novembre par visio.

M2 Internship

Title: Microstructure and mechanical properties of aluminium alloys collected on Heritage aircraft

Supervision :

Brunet Magali (CEMES-CNRS) magali.brunet@cemes.fr 05 62 25 78 96 CEMES, 29 rue Jeanne Marvig, 31055 Toulouse Cedex 4 Group M3 (Materials Multifunctional Multiscales) Team Cultural Heritage Materials www.cemes.fr	Benoît Malard (CIRIMAT-ENSIACET) benoit.malard@ensiacet.fr 05 34 32 34 24 CIRIMAT-ENSIACET INP-ENSIACET 4 allée Emile Monso - BP44362 31030 Toulouse cedex 4 Team MEMO https://cirimat.cnrs.fr/
---	--

Dates : February – June 2022

Context / Missions:

The context of this Master's research project is the study of old aluminium alloys and their development for aeronautics in the early 20th century. During this period, the use of aluminium alloys in aircraft structures became widespread and the development of military air forces have greatly stimulated research and development in the field of aviation of European nations and the United States.

In order to acquire a better knowledge of the aluminium alloys used in four different nations, i.e. France, Germany, the United Kingdom and the USA, our team study the materials collected from crashed World War II aircraft. Their chemical composition, designations, microstructure and mechanical properties are investigated. This brings insights to historical information, such as assessing the performance of alloys developed by a nation at a certain time and through this the technological know-how of this nation.

On the other hand, studying old aircraft parts is a unique chance to see how the aluminium alloys have aged under various conditions (temperature, moisture) and over several decades. The investigation of mechanical properties usually requires a certain amount of material to be available, for cutting specimens. On the crashed aircraft, not only the parts are small or sometimes distorted limiting thus the amount of material available, but these archaeological parts are Cultural Heritage artefacts, aimed to be conserved. Very low invasiveness analysis are thus preferred.

Microtensile testing [1] has proved to accurately and effectively probe the mechanical properties of materials on the local level. A tensile machine was acquired to test millimeter size samples. We propose to study samples extracted from these wrecks, test their mechanical properties, and analyze their microstructure using advanced microscopy tools such as Scanning Electron Microscopy and Transmission Electron Microscopy. The Master student will be in charge of the tensile tests (adapting the tensile equipment to millimeter size samples) and the characterization of the samples before and after the tests. Crystallographic mapping will be performed using Electron Back Scattered Diffraction to see how the texture may have an influence on the mechanical properties. TEM analyses could be carried out to understand

the nanostructure of the samples. Correlation images method should be developed. In-situ tensile test in the SEM (Helios Nanolab) will be performed once the methodology is set-up. By comparison of the microstructures with recent alloys whose mechanical characteristics are well known, a better understanding of the metallurgical states of these old alloys is expected. The aging due to the history of the aircraft and the wreckage will thus be highlighted.

[1] S. Nimer, J. Wol and M. Zupan, *Adv. Eng. Mater.*, 2013, 15

References :

- M. Brunet, B. Malard, N. Ratel-Ramond, Ch. Deshayes, B. Warot-Fonrose, Ph. Sciau and J. Douin, *Comparison of long-term natural aging to artificial aging in Duralumin*, Proceedings of the 17th Conference on Aluminum Alloys, ICAA17, MATEC Web Conf., Volume 326 (2020) 04007.
- M. Brunet, A. Cochard, C. Deshayes, C. Brouca-Cabarrecq, L. Robbiola, J.-M. Olivier, Ph. Sciau *Study of Post-World War II French Aeronautical Aluminium Alloy and Coatings: Historical and Materials Science Approach*. *Studies in Conservation*, Vol.65, Issue 2, p.103-117, 2020.
- M. Brunet, B. Malard, N. Ratel-Ramond, Ch. Deshayes, S. Joulié, B. Warot-Fonrose, Ph. Sciau, J. Douin, F. De Geuser, A. Deschamps. *Precipitation in original Duralumin A-U4G versus modern 2017A alloy*. *Materialia*, 2019, 8, pp.100429.

Skills:

The student should have a background in physics and materials science, with knowledge on metallurgy. Having experience in SEM techniques is a plus.

Moreover, the student should be dynamic and curious. The student should also be autonomous, and able to take initiatives.

How to apply:

Candidates should send their application (CV + letter) before the 5th of November.

Interviews will take place on the 15th and 16th of November via zoom.