



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE



INSTITUT
JEAN LAMOUR

C2MP



MUSÉE
AIR +
ESPACE
AÉROPORT PARIS – LE BOURGET

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

École doctorale Chimie - Mécanique – Matériaux - Physique C2MP

INSTITUT JEAN LAMOUR, UMR 7198 CNRS, Campus ARTEM, 54011, Nancy, France

THÈSE

Présentée et soutenue publiquement le 5 octobre 2026 pour l'obtention du titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE LORRAINE

Spécialité SCIENCES DES MATÉRIAUX

Roua KADDAH

Conservation des avions anciens : Développement de procédés de protection d'alliages d'aluminium très corrodés

Composition du jury :

Magali Brunet Chargée de recherche HDR	Rapporteuse	CEMES-CNRS Toulouse, France
Laurent Arurault Professeur	Rapporteur	Université de Toulouse CIRIMAT Toulouse, France
Ludovic Bellot-Gurlet Professeur	Examineur	Sorbonne Université MONARIS Paris, France
Christophe Rapin Professeur	Examineur	Université de Lorraine Institut Jean Lamour Nancy, France
Agnès Mirambet-Paris Conservatrice en chef des Musées de France	Examinatrice	Musée de l'Air et de l'Espace Paris-Le Bourget, France
Emmanuel Rocca Maître de conférences HDR	Directeur de thèse Examineur	Université de Lorraine Institut Jean Lamour Nancy, France
François Mirambet Ingénieur de Recherche HDR	Invité	Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France – C2RMF Paris-Louvre, France
Delphine Veys-Renaux Maître de conférences HDR	Invitée	Université de Lorraine Institut Jean Lamour Nancy, France

Résumé

Préserver un aéronef ancien consiste à sauvegarder à la fois une structure métallique et un témoin de l'histoire technique, scientifique et culturelle de l'aviation. Exposés en extérieur ou conservés en hangar, ces appareils sont soumis à des conditions favorisant la corrosion, particulièrement critique pour les alliages Al-Cu de la série 2XXX en raison de leur microstructure hétérogène et de la présence de phases intermétalliques riches en cuivre. Réalisée dans le cadre du projet C. ADER, cette thèse vise à développer des traitements anticorrosion adaptés à la conservation préventive et à la conservation-restauration. L'étude de prélèvements issus du Dassault Mirage IV-02 et du Boeing 707 « *Château de Maintenon* » a mis en évidence des couches de corrosion épaisses et poreuses, associées à des piqûres profondes, à une propagation intergranulaire ou exfoliante et à une redistribution du cuivre maintenant l'activité électrochimique des surfaces. Ces dégradations ont été reproduites sur des mock-ups en AA2024-T3 afin d'évaluer plusieurs inhibiteurs organiques. Parmi eux, le mélange de décanoate et d'oléate de potassium s'est révélé le plus prometteur, en agissant sur les zones actives et passives et en augmentant d'au moins un ordre de grandeur le module d'impédance des fragments traités, sans modification macroscopique notable. Une première transposition sur plusieurs aéronefs a ensuite été réalisée sur site. Ces résultats montrent qu'il est possible de concilier efficacité électrochimique, faible invasivité et préservation de la matérialité historique, ouvrant la voie à des solutions durables pour la conservation des aéronefs anciens.

Mots clés : Patrimoine aéronautique, corrosion, spectroscopie d'impédance électrochimique, alliage d'aluminium 2024, inhibition, carboxylates.

Abstract

Preserving a historic aircraft involves safeguarding not only its metallic structure, but also a witness to the technical, scientific, and cultural history of aviation. Whether displayed outdoors or stored in hangars, these aircraft are exposed to environmental conditions that can promote corrosion, particularly in Al-Cu 2XXX-series alloys due to their heterogeneous microstructure and the presence of Cu-rich intermetallic phases. Conducted within the framework of the C. ADER project, this PhD thesis aims to develop anticorrosion treatments suitable for preventive conservation and conservation-restoration. The investigation of samples taken from the Dassault Mirage IV-02 and the Boeing 707 "*Château de Maintenon*" revealed thick and porous corrosion layers associated with deep pits, intergranular or exfoliation-like propagation, and copper redistribution, which contributes to maintaining the electrochemical activity of the altered surfaces. These degradation features were reproduced on AA2024-T3 mock-ups to evaluate several families of organic inhibitors. Among them, a mixture of potassium decanoate and potassium oleate proved to be the most promising, acting on both active and passive regions and increasing the electrochemical impedance modulus of treated aircraft samples by at least one order of magnitude, without any noticeable macroscopic alteration of their appearance. A first on-site application of the treatments was subsequently carried out on selected areas of several aircraft. These results demonstrate that electrochemical effectiveness, low invasiveness, and preservation of historical materiality can be combined, paving the way for sustainable solutions for the conservation of historic aircraft.

Keywords: Aeronautical heritage, corrosion, electrochemical impedance spectroscopy, 2024 aluminum alloy, corrosion inhibition, carboxylates.