

Titre de la thèse :

Voies de purification des alliages métalliques issus du recyclage : Etudes thermodynamiques et validations expérimentales – application aux alliages d'aluminium

Directeur de thèse et contact : David BALLOY (david.balloy@univ-lille.fr)

Co-encadrante de thèse et contact : Manon ROLLAND (manon.rolland@univ-lille.fr)

Résumé du sujet de thèse

L'industrie de l'aluminium et plus précisément la production d'aluminium primaire à partir du minerai est l'une des industries les plus consommatrices d'énergie et est responsable de 2% des émissions de gaz à effet de serre dans le monde. De plus, le besoin en aluminium va augmenter dans les années à venir en raison de sa propension à être utilisé pour l'électrification ou comme matériau de structure notamment grâce à sa bonne conductivité électrique et de sa faible densité. Le **recyclage de l'aluminium** ne nécessite que 5% de l'énergie requise pour produire de l'aluminium primaire. C'est pourquoi il apparaît comme primordial et comme un point clé dans une démarche de réduction de l'impact de la production métallurgique, d'autant plus qu'il n'existe pas, à ce jour de procédé alternatif décarboné pour produire ce métal. Le recyclage de l'aluminium n'est cependant pas simple. En effet, la plupart de l'aluminium est utilisé sous forme d'alliage et est donc **mélangé avec d'autres éléments chimiques**. Comme le nombre de nuances d'aluminium est très important et les pratiques et techniques de tri pour pouvoir différencier toutes ces nuances assez limitées, l'aluminium est décyclé.

Une voie intéressante de valorisation serait de **purifier l'aluminium** via l'extraction des éléments d'alliages. Cette étape présente cependant certains verrous scientifiques puisque la plupart des éléments d'alliage restent dans le métal pendant la fusion et ne partitionnent pas dans le laitier ou la vapeur.

Pour relever ce défi, cette thèse s'intéressera à la **voie de purification** via un état semi-liquide pendant lequel les différents éléments chimiques constituant l'alliage partitionnent entre les phases solide et liquide. La thermodynamique de l'équilibre et de la solidification sera utilisée pour prévoir les meilleures conditions opératoires. Les propriétés (physiques ou chimiques) différentes entre les phases seront utilisées pour séparer physiquement les phases.

Cette thèse inclura à la fois un **volet modélisation** et un **volet expérimental**. Le montage expérimental pour la purification et pour la séparation de phases sera conçu et assemblé pendant la thèse et testé pour des conditions issues des analyses thermodynamiques et cinétiques. Celles-ci incluront des calculs d'équilibre, des simulations de solidification et l'implémentation de simulations de diffusion couplées à ces derniers. Enfin, le travail de thèse inclura des observations microstructurales et des analyses chimiques.

Ce travail sera conduit à l'**UMET** (<https://umet.univ-lille.fr/>) à Villeneuve d'Ascq.

Financement demandé : bourse **Université de Lille et Région Hauts de France**.

Compétences recherchées :

Le candidat devra avoir un Master 2, diplôme d'ingénieur ou équivalent dans le domaine des matériaux avec des connaissances sérieuses en métallurgie (thermodynamique, microstructures, techniques de caractérisations...). Des connaissances de bases ou une expérience en calculs thermodynamiques seraient appréciées.

Le candidat devra présenter de bonnes dispositions à l'expérimentation et à la simulation numérique.

Le poste se situe dans un secteur relevant de la protection du potentiel scientifique et technique (PPST) et nécessite donc, conformément à la réglementation, que votre arrivée soit autorisée par l'autorité compétente du MESR.

PhD Title:

Purification of aluminium alloys from scrap: Thermodynamic investigation and experimental validation

PhD Director and contact: David BALLOY (david.balloy@univ-lille.fr)

PhD supervisor : Manon ROLLAND (manon.rolland@univ-lille.fr)

Summary of the PhD Subject:

The aluminum industry and more specifically the aluminum production from ores (primary aluminum) is highly energy consuming and is responsible for 2% of the greenhouse gas emission. However, the need in aluminum will increase in the future as it will be needed for electrification thanks to its good conductivity or as structural material due its low density. **Recycling aluminum** requires only 5% of the energy required from producing primary aluminum. That is why it appears as an important shift to be made in order to reduce the impact of metal production, especially because there is no alternative decarbonized process for the production of this metal. However, recycling aluminum from scrap is not that straightforward. Indeed, most of the aluminum is used in aluminum alloys, i.e. **mixed with other chemical elements**. Additionally, the number of grades containing aluminum is very high which would require, as a recycling strategy, some efforts in the sorting step if one wants to use secondary aluminum for the same application it was primary made for. A possible recycling path is to purify the aluminum, by extracting the alloying elements, which is challenging as, in aluminum alloys, many elements stay in the liquid metal during re-melting and do not partition into the slag or as vapour.

To tackle this challenge, this thesis intends to explore a **semi-liquid recycling path** where the partitioning of chemical elements in between the liquid and solid phases during solidification will be used to purify the alloy. Thermodynamics of equilibrium and of solidification can help to determine the best solidification conditions to do so. The properties (physical or chemical) differences between the phases can then be used to physically separate the phases.

This thesis will include both **a modelling and an experimental part**. The experimental set-up for the semi-melting and for the phases separation that will be designed and implemented during the thesis will be tested for operating conditions driven by thermodynamics and kinetics modelling. The later will include phase equilibria calculations, solidification simulations and implementation of diffusion simulations combined with solidifications ones. Finally, microstructural characterization and chemical analysis will be performed on the obtained materials.

This work will be carried out at **UMET** Laboratory (<https://umet.univ-lille.fr/>) in Villeneuve d'Ascq.

Funded requested: scholarship of the **University of Lille and the Région des Hauts de France**

Skills required:

The candidate must have a Master 2, engineering degree or equivalent in the field of materials science with serious knowledge in metallurgy (thermodynamics, microstructures, characterization techniques, etc.). Basic knowledge or experience in thermodynamic calculations would be appreciated.

The candidate will be expected to demonstrate good abilities for experimentation and numerical simulation.

The position is located in a sector falling under the protection of scientific and technical potential (PPST) and therefore requires, in accordance with regulations, that your arrival be authorized by the competent authority of the MESR