

Titre de la thèse :

Recyclage des aciers par traitement de précipitation

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

Résumé du sujet de thèse

A première vue, le recyclage des aciers est exemplaire puisque le taux de recyclage atteint 95%. Cependant ce taux ne considère pas le décyclage. En effet, un matériau dit recyclé n'est pas forcément réutilisé pour des applications aussi nobles que celle initiale. De nouveaux alliages sont alors produits, pour répondre au besoin de matériaux de structures et fonctionnels, ce qui génère une part importante des émissions de CO₂ de la planète. Le réemploi direct des matériaux est rendu compliqué par le tri. La technologie industrielle actuelle manque de maturité pour correctement différencier les nombreuses nuances collectées chez le ferrailleur. Cette ferraille consiste alors en un mélange de nuances dont la composition globale n'a jamais été optimisée pour une application. Pour pallier à cela, la ferraille est mélangée avec des éléments chimiques primaires issus du minerai pour retrouver une composition connue ou est utilisée pour des applications avec un cahier des charges moins lourd. Cette approche n'est pas durable.

Le projet RESSET, dans lequel s'inscrit cette thèse, entend éviter le décyclage des ferrailles en explorant de nouvelles routes métallurgiques engendrant des propriétés mécaniques améliorées, en présence d'éléments chimiques *a priori* contaminants et néfastes, comme le Cu, et en utilisant des concepts de design des matériaux. On visera en priorité des **séquences de précipitation** pouvant renforcer le matériau, à **composition contrainte**, et leur couplage avec d'autres transformations de phases d'intérêt dans les aciers, à savoir la transformation martensitique ou la réversion de l'austénite. A cet effet, des outils de modélisation des cinétiques des transformations de phases seront implémentés. Des microstructures obtenues expérimentalement par des traitements thermomécaniques sur un alliage modèle avec une composition typique de ferrailles automobiles serviront d'une part à obtenir des informations sur les évolutions microstructurales aidant au développement des modèles théoriques. D'autre part, elles seront confrontées aux prédictions des simulations pour valider leur robustesse et pour pouvoir l'utiliser pour améliorer le recyclage des aciers

Cette thèse inclura un **large volet fondamental et de modélisation** par le développement et l'implémentation des équations pilotant les évolutions microstructurales dues aux transformations de phases dans les ferrailles lors des traitements thermiques ou thermomécaniques. Les approches en champ moyen et leur couplage avec des simulations de diffusions seront privilégiées. La thèse inclura également un volet expérimental pour la caractérisation microstructurale et mécanique des ferrailles avant et après traitement thermique ou thermomécanique.

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

- Mines Saint-Etienne pour l'élaboration de l'alliage modèle
- Laboratoire LAMIH, Université Polytechnique des Hauts-de-France pour les tests thermomécaniques
- KTH, The Royal Institute of Technology, Sweden pour les modélisations thermodynamiques et cinétiques

Financement : ANR JCJC RESSET

Compétences recherchées :

Le/la candidat·e 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/la candidat·e devra présenter de bonnes dispositions à la programmation et à la simulation numérique.



Si vous êtes intéressé·e, merci d'envoyer un CV, une copie du relevé de notes et une lettre de motivation à manon.rolland@univ-lille.fr

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:

Recycling Steels by Selective Precipitation Treatment Modelling

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

Summary of the PhD Subject:

At first sight there is limited room for steel recycling improvement as the recycling rate is already quite high (90%). However, this rate does not account for downcycling aspects. Indeed, recycling a material does not mean that its application is as prestigious as originally. New alloys are thus processed to fulfill the need for structural and functional materials, generating a large part of the CO₂ emission over the world. The fact that materials are not simply reused is partly related to sorting issues. The industrial technology lacks maturity to completely differentiate the huge diversity of grades ending up to scrap dealers. Consequently, steel scrap becomes a mix of grades that does not have the composition the research and material development have focused on so far. In turn, the scrap is either mixed with primary chemical elements from ores to return to a well-known composition, or transformed into material parts for which the specifications are less strict. From a sustainability perspective, it is needed to take care of this scrap.

The RESSET project, framework for this thesis, aims at avoiding steel scrap downcycling by exploring new thermomechanical routes leading to improved mechanical properties in presence of contaminants, like Cu, and using materials design concepts. The work specifically intends for **precipitation sequences** able to strengthen the material. To fulfill this objective, modelling tools describing phase transformation kinetics depending on processing conditions and for the **constrained scrap composition** will be developed. Experimentally obtained microstructure of a model alloy subjected to a thermomechanical treatment and which composition will be fixed by a typical scrap composition will be investigated to get insights into the microstructure evolution during the processing to help the fundamental model development. These microstructures will finally be compared to the modelling tool predictions in order to validate it and to use it to help steel recycling by providing new solutions.

This thesis includes a **large fundamental and modelling part** through the development and implementation of the equations driving the microstructural evolution due to phase transformations after the thermal or thermomechanical treatments. Mean-field approaches coupled with diffusion simulations will be preferred. The thesis work also includes an experimental part for the microstructure and mechanical properties characterization before and after the thermal or thermomechanical treatment.

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

- Mines Saint-Etienne for the model alloy casting
- Laboratoire LAMIH, Université Polytechnique des Hauts-de-France for thermomechanical treatments
- KTH, The Royal Institute of Technology, Sweden for thermodynamics and kinetics based modelling

Funding: ANR JCJC RESSET

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.



To apply, please send your CV, your transcripts and a cover letter to : manon.rolland@univ-lille.fr

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