


Proposition Sujet de stage ArcelorMittal Maizières Research SA
Période ~ Mars 2026 – Aout 2026

TITRE	<p style="text-align: center;">Stage ArcelorMittal Maizières Research SA</p> <p style="text-align: center;"><i>Modélisation des transformations de phase multiples en présence de liquide</i></p>
Acronyme	Stage MUTAN2
Contexte	<p>ArcelorMittal produit, par coulée continue, des aciers destinés au secteur du transport. Il s'agit notamment de la famille d'alliage connue sous le nom commercial USIBOR, dont la composition inclut différentes espèces d'addition (C, Al, Si, Mn, Cr, B, P, S, N, ...)</p> <p>La microstructure de solidification doit être maîtrisée, non seulement pour le dimensionnement des opérations de mise en forme subséquentes, mais aussi pour assurer une bonne santé métallurgique des brames de coulée continue, indemne d'indications, notamment de fissures formées en fin de solidification, telles qu'illustrées par l'image ci-dessous.</p>  <p style="text-align: center;"><i>Fissures de surface observées sur des brames de coulée continue (distance entre rides : 1 cm).</i></p> <p>Des approches de modélisation numérique sont actuellement accessibles, permettant de prédire, en fonction de la teneur en éléments d'alliage et de la vitesse de refroidissement, la séquence des différentes phases solides formées. Ces modélisations reposent sur des bilans de masses couplés aux réactions et aux transformations des phases. En raison de la complexité de la composition chimique des alliages industriels, elles requièrent l'utilisation de bases de données thermodynamiques, afin de déterminer, avec précision, les équilibres entre phases. Le suivi ainsi réalisé vise à permettre une connaissance fine de l'état brut de solidification.</p> <p>Les modèles existants décrivent, ainsi, la formation d'une phase primaire de solidification, en incluant la diffusion dans le solide, mais également la formation de phases solides secondaires dans le liquide, telles que sulfures, aluminates ou nitrures. Ils restent cependant encore limités pour décrire :</p> <ul style="list-style-type: none">- le couplage entre la diffusion dans la phase primaire et la séquence de formation des phases secondaires,- la nature et la distribution de taille des phases solides secondaires,- les possibles séquences de précipitation dans la phase primaire au cours de la solidification [1],- le rôle de la transformation péritectique, présente dans ces alliages. <p>Un outil générique, analogue à celui précédemment développé pour étudier la formation des zones exemptes de précipités [2], couplé aux bases de données thermodynamiques et capable de tenir compte de tous les phénomènes décrits ci-dessus, reste à concevoir. Son efficacité devra être validée sur la base des différentes données expérimentales obtenues par ArcelorMittal.</p>

Présentation détaillée avec si possible figure(s)	<p>L'objectif du projet de stage proposé est de poursuivre la démarche initiée lors d'un précédent stage qui a permis de fixer un cadre de modélisation adapté aux activités visées. Pour ce faire, les activités développées s'appuieront sur les propriétés thermodynamiques des alliages via l'utilisation de l'outil Physalurgy [3]. La première étape consistera à modéliser une séquence couplée de formation de la phase primaire de solidification et de phases secondaires présentes dans le liquide, la formation de ces dernières modifiant la composition liquide. Pour la seconde étape, un outil de modélisation de la précipitation dans une matrice pourra être exploité [4], pour proposer un suivi plus fin de la distribution des phases secondaires, en taille et densité. Le liquide, à la composition chimique évolutive, sera alors assimilé à la matrice. Les phases précipitantes seront les sulfures, aluminates ou nitrures.</p> <p>Ce projet de stage pourra donner lieu à une suite sous la forme d'une thèse, discutée au cours du travail de stage.</p>
Références bibliographiques	<p>[1] D. You, C. Bernhard, M. Bernhard, S. K. Michelic, <i>The simple microsegregation model for steel considering MnS formation in the liquid and solid phases</i>, Journal of Materials Research and Technology 28 (2024) 4110-4115.</p> <p>[2] Ch.-A. Gandin, A. Jacot, <i>Modeling of precipitate-free zone formed upon homogenization in a multi-component alloy</i>, Acta Materialia 55 (2007) 2539–2553.</p> <p>[3] http://physalurgy.cemef.minesparis.psl.eu/</p> <p>[4] V. Legrand, <i>Modélisation des processus de précipitation et prédiction des propriétés mécaniques résultantes dans les alliages d'aluminium à durcissement structural</i>. Thèse de doctorat, Mines Paris 2015.</p>
Salaire approximatif brut mensuel	SMIC
Durée	4 à 6 mois entre Mars et Octobre 2026
Partenaire industriel	ArcelorMittal Maizières Research SA Voie Romaine, 57280 Maizières-lès-Metz
Type projet	Contrat ArcelorMittal
Profil & compétences	Master M2 et/ou diplôme d'ingénieur avec compétences en modélisation numérique et en matériaux.
Lieu	CEMEF, Sophia Antipolis, France
Equipe de recherche	Métallurgie, Mécanique, Structures & Solidification (2MS)
Encadrants	<p>Charles-André Gandin (Charles-Andre.Gandin@minesparis.psl.eu)</p> <p>Gildas Guillemot (Gildas.Guillemot@minesparis.psl.eu)</p>