


Proposition Sujet de stage ArcelorMittal Maizières Research SA

Période ~ Mars 2025 – Aout 2025

TITRE	Stage ArcelorMittal Maizières Research SA <i>Modélisation des transformations de phase multiples en présence de liquide</i>
Acronyme	Stage MUTAN
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>Fissures de surface observées sur des brames de coulée continue (distance entre rides : 1 cm).</p> <p>Des approches de modélisation numérique sont mises en œuvre afin de prédire, en fonction de la teneur en éléments d'alliage et de la vitesse de refroidissement, la séquence des phases solides formées. Elles sont basées sur des bilans de masses couplés aux réactions et aux transformations des phases. Compte tenu de la complexité de la composition chimique des alliages, ces approches nécessitent l'utilisation de bases de données thermodynamiques. La cinétique des transformations ainsi obtenue doit permettre une connaissance fine de l'état brut de solidification.</p> <p>Les modèles existants décrivent 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 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, similaire à celui proposé pour étudier la formation des zones libres de précipités [2], couplé aux bases de données thermodynamiques et capable de tenir compte de tous les phénomènes cités ci-dessus, reste à développer. Son efficacité devra être démontrée sur la base des données expérimentales obtenues par ArcelorMittal.</p>
Présentation détaillée	L'objectif du projet de stage est d'initier cette démarche. Pour ce faire, on s'appuiera sur les propriétés thermodynamiques des alliages via l'utilisation de l'outil Physalurgy [3]. La

avec si possible figure(s)	<p>première étape consistera à modéliser une séquence couplée de formation de la phase primaire de solidification et de phases secondaires présentes dans le liquide. Pour cette seconde étape, un outil de modélisation de la précipitation dans une matrice pourra être exploité [4]. Le liquide, dont la composition chimique évoluera au cours de la solidification, sera alors assimilé à la matrice. Les phases précipitantes seront les sulfures, aluminates ou nitrides.</p> <p>Ce projet de stage pourra donner lieu à une suite sous la forme d'une thèse.</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 2025
Partenaire industriel	ArcelorMittal Maizières Research SA Voie Romaine, 57280 Maizières-lès-Metz
Type projet	Contrat Armines
Profil & compétences	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	Charles-André Gandin (Charles-Andre.Gandin@minesparis.psl.eu) Gildas Guillemot (Gildas.Guillemot@minesparis.psl.eu)