

Offre de thèse pour un CDD doctorant

Réduction des minerais de fer à faible teneur par plasma d'hydrogène : influence des éléments de gangue sur la formation des scories

Informations générales

Lieu de travail : NANCY

Type de contrat : CDD Doctorant/Contrat doctoral

Durée du contrat : 36 mois

Date de début de la thèse : 1 septembre 2025

Quotité de travail : Temps complet

Rémunération : 2 200 € brut mensuel

Section(s) CN : Section 15 : Chimie des matériaux, nanomatériaux et procédés

Description du sujet de thèse

Le principal obstacle à une production sidérurgique plus durable est sans aucun doute la décarbonation de ses chaînes de transformation. Actuellement, la production d'une tonne d'acier est liée à l'émission stupéfiante de **2,1 tonnes de CO₂**, un fait qui rend la sidérurgie responsable de **8 % des émissions totales de CO₂ de la planète**. En effet, nous avons extrait le fer de ses minerais par des réactions chimiques qui utilisent des substances porteuses de C, le CO₂ étant le sous-produit [1]. Parallèlement à ce défi, la rareté des minerais de fer à haute teneur pouvant être exploités comme matière première est une réalité proche. Cela crée un dilemme absolu qui obligera les sidérurgistes à produire de **l'acier vert à partir de minerais de fer de faible qualité** [2].

La réduction par plasma d'hydrogène des minerais de fer (RPH) apparaît comme une voie attractive pour produire du fer à faibles émissions de CO₂. Dans cette voie, le minerai est exposé à un plasma réducteur contenant une faible teneur en hydrogène (10 % H₂), dans un four à arc électrique (FAE), pour être simultanément fondu et réduit, Fig. 1 [1,3]. Lors de l'utilisation d'espèces de plasma d'hydrogène (H, H⁺) comme agent réducteur pour les minerais de fer, le sous-produit est de **l'eau** au lieu du CO₂ ($\text{FeO} + 2\text{H} \rightarrow \text{Fe} + \text{H}_2\text{O}$) [4].

Ce travail de doctorat vise à étudier les principes **fondamentaux** du RPH pour **transformer** les minerais de fer à faible teneur en fer durable et propre. Le projet ciblera les minerais de fer à faible teneur contenant moins de <59 % de Fe et contenant des quantités substantiellement importantes (~15 %) d'oxydes liés à la gangue (c'est-à-dire des constituants moins précieux que les oxydes de fer : Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅ etc.). Les minerais partiellement et totalement réduits seront **caractérisés** chimiquement et microstructuralement. Les résultats révéleront des détails importants sur les **mécanismes réactionnels** et **l'efficacité du procédé** en termes de consommation d'hydrogène et de formation de fer. La composition des scories (autoformées par les oxydes de gangue) sera également parfaitement caractérisée et sera destinée à l'industrie cimentière. Les aspects hydrodynamiques résultant de l'interaction **plasma/liquide** et de la répartition de la **température** seront surveillés à l'aide de caméras infrarouges et rapides. Le plasma d'hydrogène sera caractérisé par spectroscopie d'émission optique.

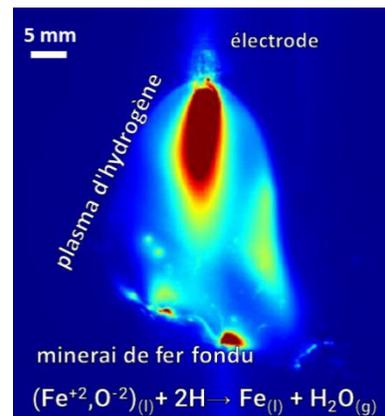


Figure 1. RPH de minerais de fer, réalisée dans un FAE rempli d'un mélange gazeux Ar-10 % H₂. Les gradients thermiques ont été capturés par un ensemble spécial de lentilles [5].

Les références

- [1] Souza Filho, I.R. et al. *Acta Materialia* 213, 116971 (2021)
- [2] Jovičević-Klug, M., Souza Filho, I.R., et al. *Nature* 625, 703–709 (2024)
- [3] Souza Filho, I.R. et al. *Journal of Cleaner Production*, 340, 130805 (2022)
- [4] Souza Filho, I.R. et al. *JOM*, 1-13 (2023).
- [5] H. Pauna et al., *6th European Steel Technology and Applications Days* (2023)

Contexte de travail

Ce travail de doctorat s'inscrit dans le cadre du projet de 4 ans intitulé « **Decarbonized Steel Production with Novel Decarbonized Processes** » dont l'acronyme en anglais est **ZEROSTEEL**. Il s'agit d'un projet entièrement financé par l'Union européenne (550 k€ pour 4 ans) et appartenant à la chaire de métallurgie durable récemment lancée à l'IJL. Dr. Isnaldi R. Souza Filho et Dr. Thierry Belmonte sont les principaux interlocuteurs et responsables du projet. Pour plus d'informations, veuillez également contacter isnaldi.rodriques-de-souza-filho@univ-lorraine.fr ou thierry.belmonte@univ-lorraine.fr. La langue de travail sera principalement l'anglais et le français.

Compétences

Nous recherchons des candidats possédant de solides connaissances en **métallurgie physique** et/ou **extractive**, en **science et ingénierie des matériaux** ou en **physique et caractérisation des plasmas**, une bonne expérience dans les pratiques de **métallographie** et les **calculs thermodynamiques**. Une bonne maîtrise de l'**anglais** parlé et écrit est requise. La sélection des candidatures s'effectuera dans le respect des principes de **transparence** et d'**égalité de traitement** des candidats après analyse des candidatures reçues. Nous sommes très engagés en faveur de l'**égalité des sexes et de la diversité** et encourageons et accueillons les candidatures de tous horizons.

Restrictions et risques

Le projet sera mené selon toutes les **normes de sécurité** IJL afin de préserver l'intégrité de tous les employés, y compris les étudiants, techniciens et scientifiques, ainsi que des installations et infrastructures de laboratoire. Les concentrations d'hydrogène à utiliser dans les expériences sont **inférieures** à tout risque d'inflammabilité. La manipulation du réacteur plasma est une procédure sûre, car il contient toutes les **mesures de sécurité** contre la surpression et dispose d'une isolation électrique adéquate. Le réacteur est personnalisé à cet effet et est également produit par une entreprise spécialisée possédant une vaste expérience sur le marché.

Work context

L'Institut Jean Lamour (IJL) est une unité mixte de recherche du CNRS et de l'Université de Lorraine. Il est rattaché à l'Institut de Chimie du CNRS. Spécialisé en science et ingénierie des matériaux et des procédés, il couvre les champs suivants : matériaux, métallurgie, plasmas, surfaces, nanomatériaux, électronique. L'IJL compte 263 permanents (30 chercheurs, 134 enseignants-chercheurs, 99 IT-BIATSS) et 394 non-permanents (182 doctorants, 62 post-doctorants / chercheurs contractuels et plus de 150 stagiaires), de 45 nationalités différentes. Il collabore avec plus de 150 partenaires industriels et ses collaborations académiques se déploient dans une trentaine de pays. Son parc instrumental exceptionnel est réparti sur 4 sites dont le principal est situé sur le campus ARTEM à Nancy.