

# Energie solaire pour la métallurgie : expérimentations et analyse du cycle de vie

## Laboratoires et équipes impliqués :

- LPCNO (Laboratoire de Physique et Chimie des Nano-Objets), équipes « Nanostructures et Chimie Organométallique » et « Nanomagnétisme », Toulouse.
- TBI (Toulouse Biotechnologie Institute), pôle « Génie des Procédés Durables », Toulouse.
- PROMES (Procédés et Matériaux pour l'Énergie Solaire), équipe « Matériaux haute-température et carburants solaires », Odeillo.

## Contexte global

Il devient nécessaire de développer des alternatives aux énergies fossiles, qui contribuent fortement au réchauffement climatique et ne constituent de toute façon pas des solutions technologiques de long terme pour nos sociétés, en raison de leur inévitable épuisement. La principale source d'énergie renouvelable et abondante est l'énergie solaire, dont il faut réussir à optimiser l'utilisation tout en minimisant les impacts environnementaux, et éventuellement sociaux, des technologies mises en œuvre pour cela. On peut grossièrement considérer deux types d'approche pour utiliser l'énergie solaire : (i) une utilisation directe de cette dernière, lorsqu'elle est disponible, pour fabriquer un matériau ou produit chimique d'intérêt; cette approche minimise les étapes intermédiaires et permet en principe d'atteindre des rendements élevés, mais nécessite de gérer au mieux l'intermittence, et pose un problème d'échelle lorsque l'on cherche à produire de large quantités ; ii) la conversion de l'énergie solaire en produits chimiques facilement stockables, transportables, et utilisables par la suite ; cette approche rajoute des étapes intermédiaires, conduisant à un rendement en principe plus faible, mais permet de grandement faciliter la production à plus grande échelle d'un produit final, et peut donc *in fine* s'avérer avantageuse. Définir un procédé qui présente un rendement acceptable, mais qui soit également adapté aux enjeux actuels et futurs en matière d'impacts environnementaux et sociétaux, nécessite une étude approfondie.

Ce stage propose de se focaliser sur un procédé emblématique et central de notre société moderne : la métallurgie. La réduction de l'oxyde de fer en fer métallique (et acier) par le coke est le procédé qui a été à l'origine de la révolution industrielle, et n'a pratiquement pas évolué en 300 ans, pour la raison suivante: à la fois source de chaleur, réducteur, et source de carbone, le coke permet de réduire l'oxyde de fer, de chauffer le réacteur, et de convertir le fer en fonte, qui devient liquide et quitte le réacteur (haut-fourneau) ; ce procédé peut être mis en œuvre à très grande échelle sans problème majeur, et son succès industriel repose sur l'utilisation d'un charbon bon marché malgré ses impacts environnementaux et sociétaux considérables. Il n'y a actuellement pas d'alternative décarbonée à ce procédé.

## Objectifs

Un premier objectif de ce projet est d'évaluer expérimentalement trois voies possibles de métallurgie, en utilisant la concentration de l'énergie solaire comme source de chaleur, et basées chacune sur une molécule réductrice soit décarbonée, soit bio-sourcée : hydrogène (H<sub>2</sub>), ammoniac (NH<sub>3</sub>), et urée (CH<sub>4</sub>N<sub>2</sub>O). Ces différentes molécules présentent certaines spécificités quant à leur

mode de production, de transport ou de stockage. Il s'agira donc d'étudier les réactions proprement dites (produits formés en fonction de la température, rendement), mais également des réactions ayant lieu sur du minerai de fer (production éventuelle de laitier). Ces expériences auront lieu sur un four solaire récemment acquis par le LPCNO, et dédié à l'étude des réactions chimiques.

Le deuxième objectif du projet, qui ne fait pas l'objet de ce stage, consistera à évaluer les différentes voies de métallurgie envisagées de manière globale (incluant la production des réactifs, leur éventuel stockage, le réacteur, etc ...) en prenant notamment en compte leurs impacts environnementaux et sociétaux. Pour cela, le bilan matière-énergie ainsi que l'analyse de cycle de vie des différentes voies de production de réducteurs seront analysés. Les deux méthodes principales pour concentrer le rayonnement solaire seront également analysées : les miroirs paraboliques ou les lentilles de Fresnel. Chacune de ces méthodes présente des avantages et inconvénients du point de vue purement technique, mais il s'agira ici d'évaluer ces deux approches du point de vue de leurs impacts environnementaux. Ces travaux d'analyse des procédés seront réalisés à TBI. Lors de cette analyse, une attention particulière sera portée aux conséquences globales qu'une modification de ce procédé de métallurgie pourrait avoir : filières d'extraction, approvisionnement, et impact environnemental. Ces études permettront de déterminer la taille des unités de production et leur maillage en fonction des territoires.

En couplant les résultats expérimentaux et les résultats d'analyse du cycle de vie, les approches les plus favorables pour une métallurgie générant de faibles impacts environnementaux, optimisant l'utilisation de l'énergie solaire, et ayant un impact sociétal positif, pourront être proposées.

#### **Apport des différents laboratoires et plan de travail.**

Le LPCNO est équipé d'un four solaire, et apportera son expertise dans les domaines de la chimie du fer et de la caractérisation structurale des matériaux. TBI apportera son expertise en analyse de cycle de vie et procédés de production d'ammoniaque et d'urée bio-sourcés. PROMES apportera son expertise en thermo-chimie, en design de réacteurs solaires, en génération d'hydrogène à partir de l'énergie solaire, et dispose de toutes les installations nécessaires pour effectuer des expériences de métallurgie solaire en conditions réelles.

#### **Profils recherchés et gratification**

Pour l'instant, un premier stage de master est proposé au LPCNO, dans le but de réaliser le premier objectif ; pour cela, un.e physicien.ne est recherché.e. Le stage sera gratifié d'un montant de 600€/mois.

#### **Contacts**

Sébastien Lachaize et Julian Carrey ([slachaiz@insa-toulouse.fr](mailto:slachaiz@insa-toulouse.fr), [julian.carrey@insa-toulouse.fr](mailto:julian.carrey@insa-toulouse.fr))