

OFFRE DE THÈSE CIFRE

Étude thermo-optique d'un réacteur solaire concentré pour la valorisation de matériaux granulaires

Applications terrestres et spatiales au domaine de la construction

Entreprise : DALE Group, startup deeptech, Toulouse

Laboratoire : PROMES-CNRS (UPR 8521), Odeillo / Perpignan

Contrat : CDD 36 mois, convention CIFRE (ANRT)

Début : Octobre 2026 (flexible)

Localisation : Toulouse + Font-Romeu-Odeillo (Pyrénées-Orientales)

Rémunération : 2 300 € brut / mois

Contacts : christophe.arnoult@dale-group.fr & quentin.falcoz@promes.cnrs.fr

Le défi : décarboner la construction, de la Terre à la Lune

L'industrie de la construction consomme chaque année 50 milliards de tonnes de granulats et représente 37 % des émissions mondiales de CO₂ liées à l'énergie. Le sable est désormais la deuxième ressource la plus exploitée au monde après l'eau, bien au-delà des taux de renouvellement naturel. En France, l'industrie extractive génère entre 30 et 80 millions de tonnes de résidus minéraux par an (fines de carrière, stériles, boues de sciage) qui constituent un coût pour les carriers et une pression environnementale croissante. Parallèlement, les programmes d'exploration lunaire (ESA, NASA / Artemis) cherchent des technologies capables de transformer le régolithe (sol lunaire) en matériaux de construction directement sur place (ISRU).

DALE Group, startup deeptech fondée à Toulouse par trois ingénieurs ISAE-SUPAERO, apporte une réponse à ces deux défis. L'entreprise développe des fours solaires conteneurisés de type « Beam-Down » qui concentrent le rayonnement solaire pour fripper les résidus de carrière et les transformer en granulats légers haute performance, sans aucune énergie fossile et avec des émissions de CO₂ quasi nulles. Le procédé est protégé par un brevet INPI (extension PCT en cours) et a été validé en production continue au laboratoire CNRS-PROMES sur cinq matériaux différents. DALE est soutenue par BPI France, Créalia et l'ESA BIC Sud France et prépare une levée de fonds d'amorçage.

Le sujet de recherche

Le passage du prototype de laboratoire à l'échelle industrielle se heurte à des verrous scientifiques majeurs que cette thèse vise à lever, pour faire progresser la technologie du TRL 5 au TRL 8. Le / la doctorant(e) étudiera le comportement thermo-physique du réacteur solaire en couplant approches expérimentales et modélisation numérique. L'enjeu central est de comprendre les interactions entre le flux solaire concentré, la rhéologie des poudres minérales et les cinétiques de transformation (frittage en phase solide, frittage en phase liquide, vitrification), afin d'établir les lois de pilotage du réacteur. Les travaux s'articuleront autour de trois axes complémentaires :

- **Axe 1 | Caractérisation des matériaux et cinétiques** : Caractérisation thermophysique fine des intrants (fines calcaires et siliceuses, simulants de régolithe lunaire) : conductivité thermique, capacité calorifique, émissivité spectrale en fonction de la température. Étude des cinétiques de transformation sous choc thermique solaire et identification des seuils critiques (début du frittage, apparition de phase liquide, vitrification totale). Évaluation de la compatibilité avec la chimie du régolithe lunaire via simulants certifiés.
- **Axe 2 | Modélisation numérique multi-physique** : Développement d'un modèle de transferts radiatifs en milieu granulaire semi-transparent, couplage thermique / changement de phase / densification, et construction d'un outil prédictif (jumeau numérique simplifié) reliant les paramètres opératoires à la qualité du produit en sortie.

- **Axe 3 | Expérimentation, validation et optimisation** : Campagnes d'essais expérimentaux sur les fours solaires à axe vertical du CNRS-PROMES (Odeillo) en configuration Beam-Down, validation sur l'usine pilote industrielle de DALE à Toulouse (héliostats DLR, système optique CSP Boost), et établissement des lois de pilotage permettant de prédire le régime d'agglomération en fonction du flux solaire et du débit massique.

Un environnement de recherche exceptionnel

Le / la doctorant(e) évoluera à l'interface de deux structures complémentaires, en partageant son temps entre Toulouse et les Pyrénées-Orientales selon les phases du programme.

DALE Group (Toulouse) est une startup deeptech au cœur de l'écosystème aérospatial toulousain. L'équipe R&D, composée de trois cofondateurs-ingénieurs ISAE-SUPAERO (thermique, optique, systèmes embarqués...), assure un encadrement industriel de proximité. Le / la doctorant(e) aura accès à l'usine pilote en cours de construction (conteneurs équipés, héliostats, système optique, terrain expérimental).

Le laboratoire PROMES-CNRS (Odeillo / Perpignan) est la référence mondiale en procédés solaires à concentration et matériaux à haute température (UPR 8521 CNRS). Il dispose d'infrastructures uniques au monde : les grands fours solaires d'Odeillo, dont des fours à axe vertical reproduisant l'architecture Beam-Down visée par DALE. Le thème de la décarbonation de l'industrie est au cœur de la nouvelle stratégie de recherche du laboratoire. La direction de thèse sera assurée par un chercheur senior spécialiste des procédés solaires à haute température.

Profil recherché

Nous recherchons un(e) candidat(e) titulaire d'un diplôme d'ingénieur ou d'un Master 2 (Bac+5) en énergétique, thermique, génie des procédés, science des matériaux ou physique appliquée, avec de solides bases en transferts thermiques et/ou en optique du rayonnement. Une expérience en modélisation numérique (CFD, éléments finis, ray-tracing via COMSOL, Fluent, OpenFOAM ou SolTrace) et en programmation scientifique (Python, MATLAB) est attendue. Un goût prononcé pour le travail expérimental est indispensable : instrumentation, campagnes d'essais, mesures de température et de flux. Cette thèse allie modélisation et expérimentation ; Le / la doctorant(e) sera autant devant un écran que devant un four solaire.

Au-delà des compétences techniques, nous valorisons l'autonomie, la rigueur scientifique et l'esprit d'initiative. Le/la doctorant(e) évoluera dans un environnement Agile (startup), où la polyvalence entre modélisation et expérimentation est clé. Le projet est orienté vers l'application industrielle : les travaux de recherche devront non seulement nourrir la connaissance scientifique (publications), mais aussi fournir les données critiques et les outils prédictifs nécessaires au pilotage et à la performance du réacteur industriel. Une bonne communication en français et en anglais est nécessaire (publications, conférences internationales). Un intérêt pour les enjeux de décarbonation de l'industrie et/ou pour l'exploration spatiale sera un moteur supplémentaire au quotidien.

Atouts supplémentaires (non obligatoires) : expérience en caractérisation de matériaux (DRX, MEB, ATG/DSC), connaissance des procédés céramiques ou de frittage, connaissance des procédés solaires à concentration, permis B (déplacements Toulouse / Odeillo).

Ce que nous offrons

Le / la doctorant(e) sera recruté(e) en CDD de 36 mois dans le cadre d'une convention CIFRE (ANRT), avec une **rémunération de 2 300 € brut mensuel**, ajustable selon le profil. Le poste sera initialement basé à Font-Romeu / Odeillo (PROMES-CNRS), au plus près des installations expérimentales du laboratoire. Au fil de l'avancement des travaux et de la montée en puissance du prototype industriel de DALE, une relocalisation progressive à Toulouse pourra être envisagée en accord avec le / la doctorant(e), avec des allers-retours réguliers entre les deux sites. L'ensemble des frais de déplacement est pris en charge par DALE. Le / la doctorant(e) bénéficiera d'un accès privilégié aux fours solaires du CNRS-PROMES et à l'usine pilote industrielle de DALE, et la participation aux conférences internationales est financée.

Au-delà de la thèse, cette expérience placera le / la doctorant(e) au cœur d'un écosystème d'excellence réunissant le CNRS, l'ESA, le DLR, l'ISAE-SUPAERO et BPI France. Les résultats dimensionneront directement l'unité industrielle de DALE et conditionneront le déploiement d'usine de production en Occitanie. Le / la doctorant(e) contribuera à une technologie à double vocation : décarbonation de la construction sur Terre et fabrication de matériaux sur la Lune, dans un domaine à fort impact sociétal (économie circulaire, RE2020, programmes ESA). Une intégration en CDI au sein de DALE est envisagée à l'issue de la thèse.

Pour postuler

Envoyez votre dossier par e-mail à christophe.arnoult@dale-group.fr et Quentin.Falcoz@promes.cnrs.fr avec l'objet « Candidature Thèse CIFRE / [Votre Nom] ». Le dossier comprendra : un CV détaillé, une lettre de motivation, vos relevés de notes (Master ou école d'ingénieur) et les coordonnées de deux référents académiques ou professionnels. Vous pouvez également joindre un mémoire de stage ou une publication scientifique.

Les candidatures sont évaluées au fil de l'eau. Les candidat(e)s présélectionné(e)s seront invité(e)s à un entretien avec l'équipe DALE et un encadrant du laboratoire PROMES-CNRS.

*DALE Group SAS, Toulouse | PROMES-CNRS (UPR 8521), Odeillo
www.dale-group.fr | www.promes.cnrs.fr*