

Contrat doctoral

Composites sodium/carbone ou métal comme anode de batterie sodium-ion tout-solide

Informations générales

Lieu : Nancy et Clermont-Ferrand, France

Type de contrat : Contrat doctoral financé par l'ANR, dans le cadre du projet PEPR « Batteries »

Durée du contrat : 36 mois

Date d'embauche prévue : 1er octobre 2025

Quotité de travail : Temps plein

Rémunération : Environ 2200 € brut/mois (minimum)

Niveau d'étude souhaité : Master en science des matériaux ou chimie

Expérience souhaitée : -

Sujet de thèse

Bien que les batteries sodium-ion (SIB) aient été étudiées dès les années 1970, leur développement est beaucoup moins avancé que celui des batteries lithium-ion (LIB). Le mécanisme de stockage du sodium et la formation de l'interface électrolyte solide (SEI) ne sont actuellement que partiellement compris. Le projet PEPR COFLUENSS (pour *FLUorination for ENhanced Solid-state Sodium-ion battery*) vise cet objectif, en développant une batterie tout-solide au sodium avec un électrolyte polymère et des électrodes fluorées qui permettront de limiter la formation de dendrites, d'améliorer la stabilité aux interfaces (MEI et SEI) et de synthétiser de nouveaux matériaux d'anode et de cathode pouvant être intégrés dans des électrodes autosupportées. Comme des électrodes fluorées gaz/solide seront utilisées, l'électrolyte sera exempt de PFAS ; l'apport bénéfique du fluor proviendra des électrodes.

Afin de répondre au défi majeur que constitue la formation de dendrites dans les anodes métalliques sodium, le travail de thèse consistera à remplacer les anodes en sodium pur par des composites renforcés par des matériaux à base de carbone ou de charges métalliques.

Les charges carbonées seront préparées par pyrolyse de polymères électrofilés. Selon les résultats obtenus, le carbone pourra être remplacé par des charges métalliques. Ces charges seront prétraitées par fluoration en phase gazeuse (F_2) afin d'améliorer leurs propriétés sodiophiles. La formation d'une fine couche de NaF à la surface de ces matériaux permettra une meilleure mouillabilité du sodium et devrait significativement limiter la croissance des dendrites. Un protocole sera développé pour réaliser l'imprégnation du sodium et une comparaison entre les charges fluorées et non fluorées sera effectuée. Enfin, une fluoration de surface des composites sera également envisagée avant les tests en conditions de batterie Na-ion.

Les matériaux préparés seront caractérisés aux différentes étapes du procédé par une approche multi-techniques multi-échelle impliquant les plateformes de caractérisation disponibles au sein des deux laboratoires. Les performances électrochimiques des matériaux seront évaluées en cellule de type pile-bouton. Nous recherchons donc un(e) candidat(e) titulaire d'un Master 2 ou d'un diplôme d'ingénieur avec une spécialisation en chimie de l'état solide ou en science des matériaux. La curiosité, le goût pour l'expérimentation et l'engagement sont des qualités attendues dans le cadre de ce projet.

Contexte du travail

Cette thèse s'inscrit dans le cadre du projet COFLUENSS « COextrusion and FLUorination for ENhanced Solid state Sodium ion battery », impliquant 4 unités de recherche rattachées à 3 universités et au CNRS. Le projet part du constat que les batteries sodium-ion, bien que connues depuis les années 1970, sont encore peu développées par rapport aux batteries lithium-ion. Les mécanismes de stockage du sodium et de formation de l'interface électrolyte solide restent mal compris, nécessitant des caractérisations avancées *in situ/operando* et des simulations théoriques. Les SEI dans les SIB sont moins stables que dans les LIB, entraînant des réactions secondaires et une dégradation des performances. Le contrôle de l'interface matériau-électrolyte (MEI) et de la SEI est donc crucial pour améliorer la stabilité cyclique et les performances électrochimiques.

COFLUENSS vise à développer une batterie sodium-ion tout-solide avec électrolyte polymère, exploitant le fluor pour limiter les dendrites, stabiliser les interfaces et synthétiser de nouveaux matériaux d'électrodes.

Les axes de travail du projet sont :

- Protéger les surfaces des matériaux actifs contre l'attaque de l'électrolyte et supprimer la dégradation de surface. En effet, assurer la stabilité des matériaux actifs est essentiel pour améliorer les performances et la durée de vie des batteries sodium-ion (SIB). Cet objectif vise à prévenir la dégradation, qui impacte directement l'efficacité et la durabilité des batteries.
- Contribuer à la compréhension des réactions secondaires à l'interface matériau/électrolyte et à la formation de l'interface électrolyte solide, afin d'obtenir une réversibilité élevée du dépôt/retrait du sodium et une interface électrolyte polymère/électrode stable. Une compréhension approfondie de ces interfaces est cruciale pour améliorer les performances et la sécurité des batteries. Cette connaissance est fondamentale pour le développement d'électrolytes et d'électrodes stables et efficaces.
- Définir la voie la plus efficace pour la fluoration en surface et en volume, et en réaliser la mise à l'échelle. Identifier les procédés de fluoration optimaux est essentiel pour améliorer les propriétés des matériaux et atteindre la stabilité chimique souhaitée dans les composants de la batterie. Cet objectif est central pour faire progresser à la fois la science des matériaux et l'ingénierie des batteries.
- Quantifier le gain de performance obtenu par des combinaisons anode/cathode optimisées. Mesurer les améliorations de performance issues de combinaisons de matériaux optimisées permet de hiérarchiser les choix de matériaux et de définir des stratégies de conception pour de meilleures performances de batterie.
- Développer des procédés respectueux de l'environnement et reproductibles à l'échelle laboratoire pour la (co)-extrusion de nouveaux électrolytes et électrodes. La mise au point de procédés de fabrication durables et transposables est indispensable pour passer de la recherche en laboratoire à la production industrielle. Cet objectif est à la base de la faisabilité et de l'impact environnemental du projet.

Compétences attendues

L'encadrement alternera entre les sites de Clermont-Ferrand (ICCF) et de Nancy (Institut Jean Lamour). Il sera complémentaire en termes de compétences dans l'élaboration d'architectures 3D à base de carbone ou de métaux, l'imprégnation de sodium, la caractérisation des matériaux et les tests électrochimiques. Ce contrat doctoral représente une opportunité rare pour un(e) candidat(e) motivé(e) d'étudier toutes les étapes de la préparation d'une anode de batterie sodium-ion, de la formulation aux tests en conditions réelles.



Conditions scientifiques, matérielles et financières

Les recherches seront menées dans des laboratoires entièrement équipés, avec un contrat doctoral déjà financé.

Valorisation des résultats, publication et propriété intellectuelle

Les résultats feront l'objet de publications dans des revues scientifiques internationales et de présentations lors de conférences spécialisées. Des dépôts de brevets pourront être envisagés selon la pertinence des résultats.

Collaborations prévues

Le projet s'inscrivant dans un consortium de 4 laboratoires, des interactions avec les différents partenaires sont prévues, chacun apportant son expertise spécifique. Les laboratoires impliqués sont :

- Institut de Chimie de Clermont-Ferrand (ICCF, UMR CNRS 6296)
- Laboratoire d'Électrochimie et de Physico-chimie des Matériaux et des Interfaces (LEPMI, UMR CNRS 5631)
- Institut Jean Lamour (IJL, UMR CNRS 7198)
- Laboratoire Procédés et Ingénierie en Mécanique et Matériaux (PIMM, UMR CNRS 8006)

Des experts pourront être consultés pour répondre aux défis expérimentaux, théoriques ou liés à la modélisation. Des séjours de recherche dans les laboratoires partenaires en France ou à l'étranger sont envisageables.

Contexte de travail

Le/La candidat(e) intégrera deux équipes de recherche spécialisées en science des matériaux et électrochimie :

- L'équipe « Matériaux carbonés » de l'Institut Jean Lamour (<https://ijl.univ-lorraine.fr/>), reconnue pour ses travaux sur la chimie d'intercalation des métaux dans le graphite.
- Le groupe « Matériaux fluorés » de l'ICCF à Clermont-Ferrand.

L'encadrement sera partagé entre Nancy (IJL) et Clermont-Ferrand (ICCF), avec des compétences complémentaires : électrofilage, chimie du carbone, du fluor et des métaux alcalins ; modification des matériaux par fluoration, caractérisations physico-chimiques, tests électrochimiques.

Compétences requises

Le/La candidat(e) devra avoir une solide formation en chimie de l'état solide ou science des matériaux. Une connaissance des batteries et des systèmes électrochimiques est fortement appréciée. Une capacité à travailler en atmosphère contrôlée (boîte à gants) est attendue. Il/elle devra se montrer à l'aise avec les techniques analytiques modernes, devenir rapidement autonome et approfondir les aspects physico-chimiques liés au projet (électrofilage, pyrolyse, broyage, conductivité électrique, traitements de surface, caractérisations, façonnage d'électrodes, tests électrochimiques). Le dynamisme, la curiosité et la persévérance sont essentiels, ainsi que la capacité à travailler en équipe dans deux environnements scientifiques distincts.

Contraintes et risques

Le poste proposé est situé dans un secteur relevant de la protection du potentiel scientifique et technique. Il requiert, conformément à la réglementation, une autorisation préalable du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.



À propos de l'Institut Jean Lamour et de l'ICCF

L'Institut Jean Lamour (IJL) est une unité mixte de recherche du CNRS et de l'Université de Lorraine.

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.

L'Institut de Chimie de Clermont-Ferrand (ICCF) est une Unité Mixte de Recherche (UMR 6296) placée sous la tutelle du CNRS, de l'Université Clermont Auvergne et du Centre Hospitalier Universitaire de Clermont-Ferrand. L'ICCF mène des recherches fondamentales et appliquées, en étroite collaboration avec le monde industriel, dans divers domaines de la chimie. Il est ainsi en mesure de répondre aux grands enjeux sociétaux à travers ses trois axes de recherche : Chimie et Environnement, Chimie et Matériaux, et Chimie pour le Vivant, avec un accent particulier mis sur la conception de matériaux innovants. L'ICCF met ses compétences techniques, ses équipements instrumentaux et son savoir-faire au service des besoins actuels de la société et de l'industrie.

Modalité de candidature

Seules les candidatures de qualité seront considérées : moyenne en Master 2 $\geq 14/20$, 1er quartile. Les candidats ne remplissant pas ces conditions sont priés de ne pas postuler.

Le dossier de candidature doit comprendre une lettre de motivation, un CV, les coordonnées d'au moins une personne de référence et les relevés de notes et/ou diplômes du Master.

Les candidatures sont à envoyer à :

- **sebastien.cahen@univ-lorraine.fr**
- **nicolas.batisse@uca.fr**

Enfin, des entretiens seront organisés et des visites des laboratoires sont possibles sur demande.

