

Sujet de thèse
École doctorale EEA de Lyon

Merci de compléter l'ensemble des rubriques et de lire les notes de bas de page.

Etablissement d'inscription : Université Claude Bernard Lyon 1 ¹
École doctorale : ED 160 EEA de Lyon dirigée par Mr Delachartre Philippe
Intitulé du doctorat : Génie Electrique ²
Sujet de la thèse : Développement de nouveaux matériaux conducteurs à forte capacité volumique à partir de déchets organiques pour électrode de supercondensateurs.
Unité de recherche : Ampère ³ , dirigée par Christian Vollaire
Directeur/trice de thèse : Mr SARI Ali
Co-directeur/trice de thèse (le cas échéant)⁴ :
Co-directeur/trice de thèse en entreprise (le cas échéant) :

¹ A impérativement choisir dans la liste suivante : Ecole Centrale de Lyon, INSA de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1

² A impérativement choisir dans la liste suivante : Automatique // Electronique, Micro et Nano-électronique, Optique et Laser // Génie Electrique // Ingénierie pour le vivant Traitement du signal et de l'Image)

³ A impérativement choisir dans la liste suivante : Laboratoire Ampère, CITI, CREATIS, INL, LAGEP, LGEF

⁴ Un/une co-encadrant-e n'est pas nécessairement co-directeur/trice de thèse puisque pour remplir ce rôle, il est nécessaire d'être habilité à diriger des recherches (pour plus de précision, voir le règlement intérieur de l'ED EEA, section 3.

Collaboration(s)/partenariat(s) extérieur(s) éventuels⁵ :

Domaine et contexte scientifiques :

Dans le contexte du développement des énergies renouvelables, les supercondensateurs (SC) agissent comme un excellent dispositif de stockage d'énergie, fournissant une densité de puissance élevée, une excellente efficacité de cycle et une longue durée de vie [1]. La recherche de nouveaux matériaux d'électrodes à hautes performances, fabriqués à faibles coûts et respectueux de l'environnement, est l'un des facteurs clés du déploiement à grande échelle des SC. Le Biochar est un sous-produit de la pyrolyse de différents résidus de biomasse (déchets agricoles et forestiers, des déchets solides municipaux...), obtenu en même temps que du biocarburant avec un bilan carbone négatif [2]. Plusieurs études récentes ont démontré la possibilité d'activer le Biochar pour le rendre conducteur (e-Biochar) et de l'utiliser comme matière première pour la production d'électrodes [3].

Mots-clés : supercondensateur, Biochar, matériaux biosourcés, électrochimie, stockage d'énergie.

Objectifs de la thèse :

L'objectif de ce travail de recherche est d'étudier ces nouvelles méthodes de production et d'optimiser une approche low-tech de fabrication d'électrodes performantes et à bas coût dans le but de rendre la technologie des SC encore plus durable et économiquement viable. Ainsi, ce travail de thèse vise à étudier la structure et les propriétés électrochimiques d'électrodes en e-Biochar préparées à partir de différents déchets organiques (boues de station d'épuration, déchets ménagers et déchets végétaux) et selon différents protocoles de fabrication (carbonisation hydrothermale, pyrolyse, activation avec des porogènes...). Les configurations optimales des électrodes en e-Biochar seront employées pour évaluer leurs performances de stockage d'énergie électrique dans des SC, en comparaison avec les performances des matériaux carbonés standards.

Verrous scientifiques :

Les propriétés électriques et électrochimiques du e-Biochar ainsi que sa texture, sa surface spécifique, ses diamètres de pores et sa composition, dépendent énormément de la nature des déchets organiques (biomasse) utilisés ainsi que des conditions de traitement thermique. La plupart des articles qui traitent de l'utilisation du e-Biochar dans des systèmes électrochimiques, décrivent l'emploi de différentes sources de biomasse et de protocoles de fabrication pour des applications variées. Il est difficile à partir de ces travaux

⁵ Hors contrats doctoraux fléchés UMI par l'établissement, les sujets de thèse en cotutelle ne sont pas acceptés.

de déterminer quelles sont les conditions optimales de fabrication de e-Biochar en fonction de la composition de la biomasse, pour une application aux supercondensateurs.

Contributions originales attendues :

Ce travail de recherche vise à établir des corrélations entre les propriétés électriques et physicochimiques du e-Biochar, la nature de la biomasse employée dans sa fabrication et les conditions de fabrication. L'étude des performances des différents e-Biochar dans l'application supercondensateur, permettra d'identifier les paramètres qui impactent les mécanismes de conduction et d'optimiser les propriétés du matériau pour cette application. Il sera également possible à travers cette étude, d'identifier les sources de biomasse les plus adaptées pour une valorisation dans la mise en place des supercondensateurs.

Programme de recherche et démarche scientifique proposée :

Ce travail de recherche sera réalisé en deux étapes:

- Elaboration et caractérisation des e-Biochar :

La préparation de différents e-Biochar à partir de trois déchets organiques (des boues sèches de la station d'épuration de la Feyssine, des déchets ménagers d'une poubelle installée au laboratoire Ampère et des déchets végétaux des campus de la Doua et de l'École Centrale de Lyon) sera réalisée dans différentes conditions de traitement thermique (températures, sous vide ou en présence de gaz inerte...). Différentes méthodes de caractérisations physiques et physico-chimiques (MEB, analyse élémentaire, BET, XPS...) seront employées pour étudier la structure et la composition des e-Biochar [5;7].

- Etude des performances des SC à base des e-Biochar :

Plusieurs architectures de SC à base de e-Biochar et de différents types d'électrolytes aqueux et de séparateurs biosourcés (cellulose, chitosan, gomme arabique...) seront étudiées. La caractérisation des SC sera réalisée par différentes méthodes électrochimiques (impédancemétrie, voltamétrie, cyclage galvanostatique...) pour déterminer leurs performances (densité d'énergie et de puissance, stabilité, durée de vie...) [4;6].

Encadrement scientifique :

- **Description du comité d'encadrement :** [à compléter avec le rôle dans l'encadrement scientifique (en termes de compétences scientifiques, etc.) et le pourcentage d'implication du directeur de thèse ⁶ et des autres membres du comité⁷]

Nom Prénom	Labo / Equipe	Compétences scientifiques	Taux d'encadrement %
Mr SARI Ali	Ampère Energie électrique	Système de stockage d'énergie, sûreté de fonctionnement et gestion d'énergie	50
Mr HADDOUR Naoufel	Bioingénierie	électrochimie et fabrication du e-Biochar.	50

- Le comité d'évaluation de l'HCERES ayant demandé à l'école doctorale de limiter la taille du comité d'encadrement à deux membres (directeur de thèse compris), il est impératif de ne proposer des comités d'encadrement de taille plus importante que si cela est absolument nécessaire⁸ et **de le justifier soigneusement.**

- **Intégration au sein du (ou des) laboratoire(s)** (Département/Equipe(s) impliquée(s)) (**pourcentage du temps travail au sein de ce ou ces laboratoire(s)**) :

Laboratoire Ampère, équipe énergie électrique et bioingenierie à 50/50.

⁶ Le directeur de thèse doit être un HdR rattaché à l'ED EEA ou en passe de le devenir avant juin de l'année en cours ou bénéficier d'une dérogation du Conseil Scientifique lors du dépôt du sujet de thèse.

⁷ Dans le cas d'un comité d'encadrement réparti sur plusieurs établissements, la plus grande partie de l'encadrement est effectuée par des membres de l'établissement. Si l'encadrement de la thèse implique des membres hors de l'ED EEA, la part de l'encadrement des membres ED doit être très supérieure à 50%.

⁸ Un certain nombre de commissions type CNU ne reconnaissent un co-encadrement qu'au-delà d'un certain pourcentage. Souvent l'encadrement est considéré comme effectif si > 30%.

Financement de la thèse : Contrat doctoral de l'établissement d'inscription

Profil du candidat recherché (prérequis) :

Le (la) candidat(e) devra avoir une formation solide et variée, à la fois de synthèse (Elaboration de polymères recyclables biosourcés), de caractérisation (analyse chimique, spectroscopies et/ou microscopie...), et d'analyse électrochimique (voltampérométrie cyclique, études galvanostatiques, impédancemétrie électrochimique...).

Objectifs de valorisation des travaux de recherche :

Ces travaux de recherche présentent un grand potentiel sur plusieurs plans, à savoir, scientifique, technologique et commercial. Par conséquent, les résultats doivent être valorisés et protégés efficacement. Pour cela, la stratégie adoptée sera la suivante : Etant donné que ce projet peut avoir des applications industrielles et commerciales, nous viserons d'abord à protéger nos résultats significatifs avec des brevets pertinents. La propriété intellectuelle sera une priorité et la protection des résultats précédera toute publication scientifique. Nous serons donc toujours en contact avec les structures de gestion pour l'évaluation et / ou la protection de la propriété intellectuelle (tel que PULSALYS) afin de protéger et diffuser efficacement nos découvertes. Par la suite, les résultats protégés par des brevets seront publiés dans des articles scientifiques, des revues à comité de lecture et des conférences nationales / internationales.

Compétences qui seront développées au cours du doctorat :

Energie, électrochimie, matériaux et génie électrique.

Perspectives professionnelles après le doctorat :

Le docteur pourra postuler en France ou à l'étranger à des emplois post-doctoraux universitaires dans le domaine du génie électrochimique, qu'à des postes d'ingénieur hautement qualifié dans des entreprises des secteurs de l'énergie et du génie électrique.

Références bibliographiques sur le sujet de thèse :

[1] González A. et al. « Review on supercapacitors: Technologies and materials », Renewable and Sustainable Energy Reviews, (2016) 58, 1189–12061190

[2] Smith P. "Soil carbon sequestration and biochar as negative emission technologie" . Glob Chang Biol., (2016) 22, :1315-24.

- [3] Chen S. et al. "A three-dimensionally ordered macroporous carbon derived from a natural resource as anode for microbial bioelectrochemical systems" *ChemSusChem* (2012) 5, 1059–1063.
- [4] R. Chaari et al., "How Supercapacitors Reach End of Life Criteria during Calendar Life and Power Cycling Tests", *Microelectronics Reliability* 51, no. 911 (2011): 1976–79, doi:10.1016/j.microrel.2011.07.014.
- [5] Juan-Juan Li et al., "Graphene/Carbon Nanotube Films Prepared by Solution Casting for Electrochemical Energy Storage", *IEEE Transactions on Nanotechnology* 11, no. 1 (January 2012): 3–7, doi:10.1109/TNANO.2011.2158236.
- [6] R. German, A. Sari, et al., "Impact of High Frequency Current Ripple on Supercapacitors Ageing through Floating Ageing Tests", *Microelectronics Reliability* 53, no. 9–11, September 2013, doi : 1643–47, doi:10.1016/j.microrel.2013.07.030.
- [7] N. E. Ghossein, A. Sari, and P. Venet, " Post-Mortem Analysis of Lithium-Ion Capacitors after Accelerated Aging Tests ", *Journal of Energy Storage*, 2 November 2020