



**CENTRALE
LYON**

Avis de Soutenance
Madame Layal ABDALLAH
Génie électrique

Soutiendra publiquement ses travaux de thèse intitulés
Développement et optimisation d'électrodes à base de biochar conducteur pour les condensateurs électrolytiques à double couche (EDLC)
Travaux dirigés par Monsieur Christian VOLLAIRE
Soutenance prévue le **mercredi 13 mai 2026** à 9h00
Lieu : Ecole Centrale de Lyon 36 avenue Guy de Collongue 69130 Écully
Salle : Bâtiment W1 - Amphi 203

Composition du jury proposé

M. Christian VOLLAIRE	Professeur des universités	Ecole Centrale de Lyon (ECL)	Directeur de thèse
Mme Hafsa KORRI-YOUSSOUFI	Directrice de recherche	Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay (ICMMO)	Examinatrice
Mme Sophie TINGRY	Directrice de recherche	Institut Européen des Membranes (IEM)	Rapporteuse
Mme Elsa WEISS-HORTALA	Maîtresse assistante	IMT Mines Albi	Rapporteuse
Mme Valerie STAMBOULI-SENE	Chargée de recherche	Laboratoire des Matériaux et du Génie Physique (LMGP)	Examinatrice
M. Naoufel HADDOUR	Maître de conférences	Ecole Centrale de Lyon	Co-encadrant de thèse
Mme Chantal GONDRAN	Professeure des universités	Département de Chimie Moléculaire (DCM)	Co-encadrante de thèse

Mots-clés : Biomasse, Biochar, température de pyrolyse, matériaux d'électrodes, Liants biosourcés, EDLC

Résumé :

La transition énergétique repose sur le développement massif des énergies renouvelables, telles que l'énergie éolienne et l'énergie solaire, afin de réduire la dépendance aux ressources fossiles et limiter leurs impacts environnementaux. Cependant, l'intermittence de ces sources alternatives rend nécessaire la mise en place de solutions de stockage durables, capables de réguler la production et la consommation d'énergie et de gérer les fluctuations rapides de puissance. Dans ce contexte, les condensateurs électrolytiques à double couche (EDLC) occupent une place particulière parmi les technologies de stockage électrochimique. Bien qu'ils ne soient pas adaptés au stockage de longue durée en raison de leur densité énergétique limitée, les EDLC se distinguent par une densité de puissance élevée, des temps de réponse très courts et une excellente stabilité cyclique. Ces propriétés en font des dispositifs particulièrement adaptés à la stabilisation des systèmes énergétiques et à la gestion des fluctuations rapides de charge, en complément d'autres technologies de stockage à plus forte densité énergétique. Les performances des EDLC dépendent fortement de la nature des électrodes, généralement constituées d'un matériau actif, d'un additif conducteur et d'un liant, souvent à base de polymères fluorés. Or, les matériaux conventionnels, tels que le graphène et les nanotubes de carbones, sont majoritairement issus de ressources fossiles et nécessitent des procédés de fabrication coûteux et énergivores. Il devient donc essentiel de développer des alternatives plus durables, tout en conservant de bonnes performances électrochimiques. Dans ce contexte, cette thèse s'intéresse au développement et à l'optimisation d'électrodes biosourcées conductrices pour les EDLC. L'étude se concentre particulièrement sur l'utilisation du biochar comme alternative aux matériaux actifs conventionnels des électrodes. Issu de la pyrolyse de la biomasse, le biochar est un matériau carboné présentant de nombreux avantages : ressource renouvelable et abondante, coût de production relativement faible, teneur élevée en carbone et surface spécifique élevée avec une porosité modulable. De plus, ses propriétés structurales, physico-chimiques et électriques peuvent être ajustées par le contrôle des conditions de synthèse et par des méthodes de modifications, ce qui le rend particulièrement adapté à la fabrication de matériaux d'électrodes performants pour les supercondensateurs. Les travaux de cette thèse s'articulent autour de trois axes principaux. Le premier axe porte sur l'influence de la température de pyrolyse de la biomasse sur les propriétés structurales, physico-chimiques et électriques des biochars issus de bois de cèdre, ainsi que leurs performances électrochimiques en tant que matériaux d'électrodes. Les biochars obtenus à des températures de pyrolyse entre 800 et 1100 °C ont été caractérisés par des méthodes d'analyse structurale, physico-chimique et électrique ainsi qu'électrochimique. Dans le cadre de cette étude, un liant biosourcé à base de chitosane a été testé comme alternative aux liants fluorés conventionnels, dans le but de réduire l'impact environnemental des électrodes. Le second axe vise à explorer les biochars dérivés de différentes biomasses. Différentes méthodes de traitements chimiques, telles que l'activation à l'acide nitrique et l'imprégnation au nitrate de fer, ont été appliquées afin d'étudier l'impact de la nature de la biomasse et des traitements sur les propriétés des biochars produits et leurs performances électrochimiques. Enfin, le dernier axe concerne la valorisation de déchets textiles à base de coton pour l'élaboration d'électrodes structurées et autoportées, sans la nécessité d'ajout de liants fluorés. Cette approche permet à la fois de simplifier le procédé de fabrication, d'améliorer la durabilité des électrodes et de valoriser un gisement de déchets encore peu exploité.

Summary:

Global energy production remains heavily reliant on non-renewable resources such as coal, natural gas, and oil. These resources are limited, and their exploitation results in significant environmental impacts. To address these challenges, renewable energy resources, including solar and wind power, are increasingly being explored. However, the intermittent nature of these alternatives necessitates the implementation of sustainable energy storage solutions capable not only of balancing energy production and demand but also of managing the rapid power fluctuations associated with their operation. In this context, electrochemical double-layer capacitors (EDLC) occupy a distinct position among electrochemical energy storage technologies. Although they are not suitable for long-term energy storage due to their limited energy density, EDLCs are distinguished by high power density, extremely fast response times, and excellent cycling stability, ensuring rapid and highly reversible charge/discharge processes. These properties make them particularly effective for handling rapid load variations and enhancing the stability of energy systems, thereby complementing storage technologies with higher energy capacity. The performance of EDLCs strongly depends on the nature of their electrodes, which typically consist of an active material, a conductive additive, and a binder, often based on fluorinated polymers. However, conventional electrode materials used for this purpose, such as graphene and carbon nanotubes, are predominantly derived from fossil resources and require costly and energy-intensive manufacturing processes. Consequently, the development of more environmentally friendly and sustainable alternatives, that can maintain electrode performance, is of critical importance. In this framework, the present study is devoted to developing and optimizing bio-based conductive electrodes for EDLC. In particular, this research investigates the use of biochar as an alternative to conventional electrode active materials. Produced by the pyrolysis of biomass, biochar is a carbonaceous material with several remarkable properties, including renewable origin, relatively low production cost, high carbon content, and a high specific surface area with engineered porous structure. Moreover, its properties can be tuned through synthesis conditions and modification methods, making it a particularly promising candidate for the fabrication of electrodes for EDLC. The work of this thesis is structured around three main axes. The first axis investigates the influence of biomass pyrolysis temperature on the structural, physicochemical, and electrical properties of the biochars from cedar wood, as well as their electrochemical performance as electrode materials. Biochars obtained at pyrolysis temperatures between 800 and 1100 °C were characterized using structural (SEM, BET), physico-chemical (FTIR, Raman, contact angle), electrical (4-probe method), and electrochemical (CV, EIS, GCD) techniques. Furthermore, a bio-based chitosan binder was examined as an alternative to conventional fluorinated binders, with the aim of reducing the environmental impact of electrodes. The second axis aims to explore biochars derived from different biomasses, such as coffee grounds, cedar wood, bamboo, and wheat straw, and chemical treatment methods (nitric acid, iron nitrate), to highlight the impact of the feedstock type and the applied treatments on the properties of the produced biochars and their electrochemical performance. Finally, the third axis focuses on the valorization of cotton-based textile waste for the fabrication of structured, self-supporting electrodes without the need for fluorinated binders. This approach enhances electrode sustainability while valorizing textile waste and enables the production of fibrous-morphology electrodes, thereby simplifying their implementation.