

PROJET DE THÈSE : Développement de condensateurs diélectriques éco-acceptables à fort coefficient de qualité pour le stockage de l'énergie électrique

Mots clés : Oxydes, terres rares, films minces et épais, sol-gel, PLD, caractérisation, DRX, MEB, AFM, diélectrique, ferroélectrique, condensateurs diélectriques, stockage de l'énergie électrique

Ce projet de thèse s'inscrit dans les actions de recherches nationales et internationales en cours sur le **stockage de l'énergie électrique**, souvent qualifié de "chaînon manquant" de la transition énergétique.

Le stockage est actuellement un thème central dans notre société en raison de l'augmentation de plus en plus croissante de la demande en énergie. En effet, les techniques de production alternatives, issues de **l'énergie solaire et éolienne**, imposent de pouvoir **stocker** l'électricité durant les phases de forte production, afin de pouvoir la **restituer** dans les phases de forte demande (consommation). De plus, les générations à venir de **véhicules électriques et hybrides** auront besoin aussi d'une technologie hybride pour améliorer la capacité de stockage et diminuer le temps de charge du véhicule.

A l'opposé des batteries actuelles, qui posent des problèmes de recyclage et de durabilité, les condensateurs diélectriques sont plus durables, rapides à charger et décharger, et offrent une bien meilleure densité de puissance (figure 1). Ce type de condensateur pourrait donc suppléer les batteries d'un véhicule électrique ou hybride dans les phases de forte consommation de courant, donc dans les phases d'accélération du véhicule. **L'association d'une batterie de condensateurs électrostatiques**, en parallèle sur le pack de batteries, permettrait ainsi de « soulager » les batteries, **allongeant de fait leur autonomie et leur durée de vie**.

L'objectif principal de ce projet de thèse, est de développer de **nouveaux oxydes sans plomb**, conformément à la **directive européenne RoHS**, pour la **réalisation de condensateurs à forte capacité de stockage de l'énergie électrique**. Ces matériaux devront avoir une permittivité diélectrique élevée, une bonne stabilité en fréquence et en température, de faibles pertes diélectriques, une polarisation maximale élevée, et une faible polarisation rémanente pour optimiser l'efficacité de stockage énergétique (figure 2). A ce titre, les oxydes pérovskites BaTiO_3 et SrTiO_3 possèdent d'excellentes propriétés diélectriques, et leur capacité de stockage énergétique peut être améliorée par l'introduction dans ces matériaux, de dopants adéquats.

Nous proposons alors dans le cadre de ce travail de thèse, et sur la **base de travaux antérieurs** effectués au laboratoire (thèse en 2024 et Master 2 en 2025), de réaliser une étude multi-échelle (macroscopique, microscopique et nanoscopique) des propriétés physico-chimiques et électriques de poudres, films minces et épais à base d'oxydes BaTiO_3 et SrTiO_3 synthétisés par voie sol-gel et PLD, et substitués par des terres rares trivalentes telles que l'yttrium, le cérium et le gadolinium. Cette substitution se fera soit au niveau des sites A (mono substitution), soit à la fois au niveau des sites A et B (double substitution). Un co-dopage impliquant deux terres rares sera également envisagé. Le fait de déposer nos films par 2 techniques (sol-gel chimie douce et PLD dépôt physique) constituera une étude originale permettant d'obtenir des microstructures très différentes, et de voir ainsi leur effet sur les performances électriques.

Les différentes synthèses seront accompagnées des caractérisations structurales microscopiques (DRX, MEB) et nanoscopiques (AFM/PFM). Les caractérisations diélectriques macroscopiques seront effectuées dans une large gamme de fréquences (du continu jusque 1 MHz), et de températures (de l'ambiante à 600°C). Ces caractérisations permettront d'étudier l'effet du dopant, de la composition en terres rares et de l'épaisseur des films sur les propriétés diélectriques de ces matériaux. Les caractérisations ferroélectriques macroscopiques permettront de calculer à partir des relevés de cycles d'hystérésis, les densités d'énergie électrique stockées par les films synthétisés. L'étude à l'échelle nanoscopique, via les piézocycles en phase (AFM/PFM), permettra une corrélation multi échelle visant à sélectionner les meilleurs candidats pour la fabrication de condensateurs.

Ce travail de thèse repose sur une **collaboration entre le laboratoire UDSMM (ULCO) et le laboratoire UCCS (UArtois)**, qui permet ainsi une mise en œuvre plus large de moyens humains et techniques. La synthèse des matériaux et leur dépôt sous forme de films minces et épais sera réalisée par voie sol-gel (spin coating, sérigraphie) au laboratoire UDSMM (ULCO) à Calais. Les poudres seront élaborées par voie solide à l'UCCS, tout comme les films minces synthétisés par PLD. L'étude des propriétés structurales des poudres et des films synthétisés sera réalisée à l'UCCS (UArtois) à Lens. L'étude des propriétés électriques sera effectuée à l'UDSMM.

Avec ce projet de thèse, nous visons à **développer des condensateurs électrostatiques éco-acceptables** et performants, pour un **système de stockage capacitif à haut rendement**, enjeu majeur et stratégique, au cœur des défis énergétiques, environnementaux, sociétaux et économiques mondiaux actuels. Ce type de condensateurs vise clairement le marché des **véhicules électriques et hybrides**.

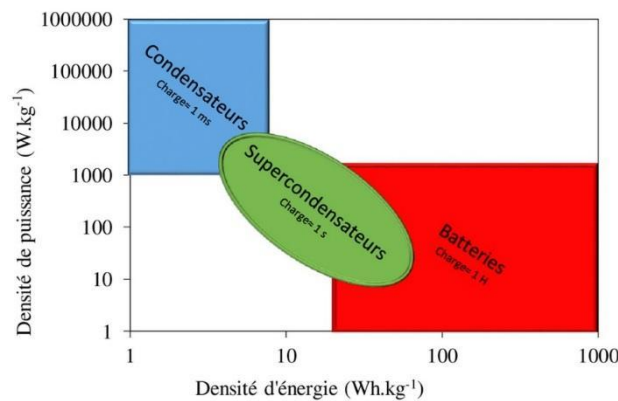
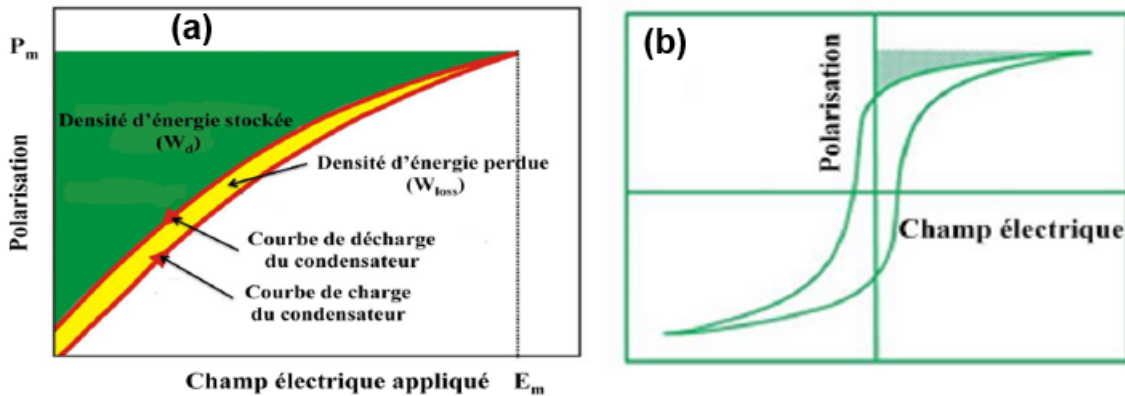


Figure 1 : Diagramme de Ragone de différents dispositifs de stockage de l'énergie électrique



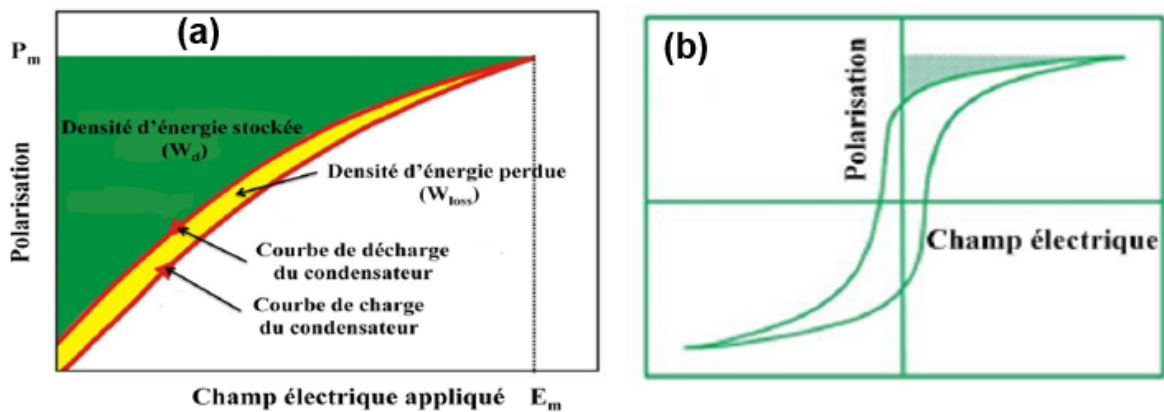


Figure 2 : Densités d'énergie (a) et cycle d'hystérésis (b) d'un matériau ferroélectrique

Références

- [1] Y.-S. Jung, et al. Mater. Res. Bull. 37 (2002) 1633–1640.
- [2] J. Itoh, et al. Jpn. J. Appl. Phys. 41 (2002) 3798.
- [3] A. Tachafine, et al. Journées scientifiques du CPER Manifest, 5 et 6 février 2026, Le Touquet.
- [4] Z. Gargar et al. Proceedings ISyDMA'6 (p.213). Springer Nature. (2022).

Ce projet de thèse est proposé par l'équipe Matériaux Oxydes Fonctionnels et Applications (MOFA) du Laboratoire UDSMM de l'Université du Littoral-Côte d'Opale à Calais. La thèse sera encadrée par Didier FASQUELLE (Pr) et Amina TACHAFINE (MCF).
Candidature par mail **avant le 31/03/2026** à Tachafine Amina (tachafin@univ-littoral.fr)

Pièces à joindre : CV, lettre de motivation, certificat de scolarité, bulletins de notes complets de l'année de Master 1 et du premier semestre du Master 2

Toute candidature incomplète sera rejetée