

## Sujet de stage Master 2 recherche / Ingénieur

### Synthèse et caractérisation des céramiques relaxeurs à haute-entropie pour le stockage de l'énergie électrique

#### Mots-clés

Céramiques, ferroélectriques relaxeurs, haute-entropie, stockage d'énergie.

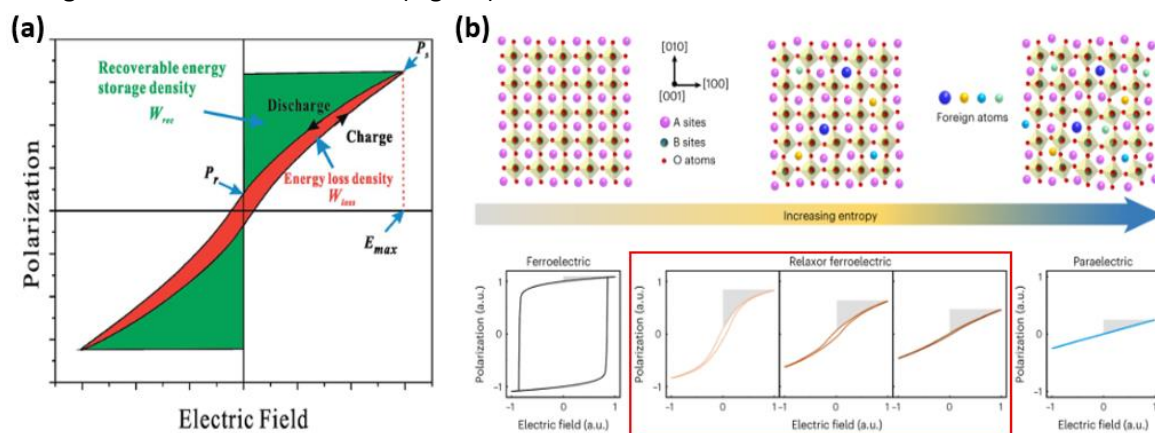
#### Résumé

Les condensateurs diélectriques présentant une densité d'énergie et une efficacité énergétique élevées sont essentiels pour le développement des dispositifs électroniques à puissance pulsée et des systèmes de stockage d'énergie avancés. La densité de stockage d'énergie électrostatique d'un condensateur diélectrique est directement liée à sa polarisation électrique sous un champ électrique et à la force du champ de claquage ( $E_b$ ). Elle peut être déterminée à l'aide de la formule suivante (Fig. 1a) :

$$W_{rec} = \int_{P_r}^{P_{max}} E dP$$

Une polarisation maximale ( $P_{max}$ ) élevée, une polarisation rémanente ( $P_r$ ) faible et un champ électrique appliqué ( $E_{max}$ ) élevé sont cruciaux pour atteindre des densités de stockage d'énergie récupérable ( $W_{rec}$ ) élevées ainsi qu'une efficacité énergétique élevée<sup>1-3</sup>. En raison d'une large  $P_r$  pour les ferroélectriques, d'une faible  $P_{max}$  pour les diélectriques linéaires et d'une large hystérésis pour les antiferroélectriques, il est difficile d'atteindre une densité et une efficacité de stockage d'énergie optimales. Pour optimiser les performances de stockage d'énergie, des nanorégions polaires (PNRs) avec une réponse rapide de la polarisation à un champ électrique appliqué sont généralement créées dans les matériaux relaxeurs, ce qui aboutit à des cycles d'hystérésis P-E fins, avec une  $P_{max}$  élevée et une  $P_r$  faible<sup>4</sup>.

Le projet propose de stabiliser une structure monophasée dans des céramiques relaxeurs sans plomb à base de  $Ba_{0.5}Na_{0.5}TiO_3$ , de structure pérovskite  $ABO_3$ , grâce à l'approche haute entropie<sup>5</sup> présentant un désordre local élevé et une distorsion significative du réseau, ce qui en fait une stratégie prometteuse et flexible pour le développement de matériaux ferroélectriques relaxeurs haute performance sur une large gamme de températures, destinés à des condensateurs ayant une densité d'énergie et une efficacité élevées (Fig. 1b).



Nat. Energy. 8 (2023) 956-964

**Fig.1** : Schéma (a) : densité d'énergie récupérable  $W_{rec}$  (zone verte) ; (b) : concept du relaxeur à haute entropie pour le stockage d'énergie

Durant ce stage, les principales étapes envisagées sont :

- La méthode de réaction à l'état solide et le procédé sol-gel sont proposés pour la synthèse des phases relaxeurs à haute entropie.
- La mise en forme et la densification des céramiques par frittage conventionnel et SPS.
- L'étude de la structure in situ (en température et sous champ électrique) par diffraction des rayons X (DRX) et spectroscopie Raman, ainsi que l'analyse de la microstructure par microscopie électronique à balayage (MEB-EDS) et en transmission (MET), pour examiner l'effet de l'hétérogénéité de la composition sur le désordre structural dans les céramiques relaxeurs à haute entropie.
- L'étude des propriétés diélectriques (constante diélectrique et pertes diélectriques) et ferroélectriques (polarisation-champ électrique) en fonction de la température et de la fréquence, afin d'évaluer la densité d'énergie et l'efficacité énergétique.

### Références

- [1] Wang *et al.* Electroceramics for high-energy density capacitors : Current status and future perspectives. *Chem. Rev.* 121 (2021) 6124-6172.
- [2] Ait Laasri *et al.* Ferroelectric BT-PVDF composite thick films for energy storage. *J. Electron. Mater.* 50 (2021) 1132-1139.
- [3] Autret-Lambert *et al.* A core-shell synthesis of CCTO ceramics showing colossal permittivity and low electric for application in capacitors. *Solid State Sci.* 109 (2020) 106431.
- [4] Shi *et al.* Tailoring ferroelectric polarization and relaxation of BNT-based lead-free relaxors for superior energy storage properties. *J. Chem. Eng.* 428 (2022) 132612.
- [5] Rost *et al.* Entropy-stabilized oxides. *Nat. Commun.* 6 (2015) 8485.

### Profil du candidat

Ce stage s'adresse à un(e) étudiant(e) d'un master 2 recherche ou d'école d'ingénieur, motivé(e) et curieux(se), ayant une bonne connaissance en chimie ou sciences des matériaux et en caractérisation.

### Lieu

Le stage se déroulera au laboratoire GREMAN (UMR CNRS 7347) entre le site de Blois (IUT de Blois) et le site Grandmont à Tours.

<http://greman.univ-tours.fr/>

### Rémunération

En vigueur (environ 610 € net mensuel).

### Période

Stage d'une durée de 6 mois à partir de Février 2025. Le sujet pourrait se poursuivre par une thèse de doctorat de 3 ans, à partir de la rentrée 2025, sous réserve de financement.

### Encadrement et contacts

CV et lettre de motivation à envoyer à :

Hicham Ait Laasri, Maître de Conférences, Laboratoire GREMAN, IUT de Blois - Université de Tours.

[hicham.aitlaasri@univ-tours.fr](mailto:hicham.aitlaasri@univ-tours.fr)

Cécile Autret-Lambert, Professeur des Universités, Laboratoire GREMAN, Université de Tours.

[cecile.autret@univ-tours.fr](mailto:cecile.autret@univ-tours.fr)