

## OFFRE DE THESE

### Intitulé du Sujet :

« Modélisation systémique multi-échelles, optimisation et analyse décisionnelle pour la recherche de solutions innovantes dans l'implantation de mix énergétiques. Prise en compte des échelles de temps variables pour assurer les transitions quotidiennes et saisonnières. »

### Mots clés :

Efficiencé énergétique, microgrids électriques, mix énergétique, optimisation, modélisation système, analyse décisionnelle, cycle de vie, stratégies de pilotage.

### Ecole doctorale :

Arts et Métiers ParisTech (ED SMI 432)

### Lieu de réalisation des travaux :

Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers Campus d'Aix-en-Provence – PACA – France.  
Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Physiques Et Numérique (LISPEN).

### Financement :

Bourse de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur « Emploi Jeunes Doctorants 2021-2024 » (financement sur 3 ans)

### Début de la thèse :

Entre le 1<sup>er</sup> Novembre 2021 et le 1<sup>er</sup> décembre 2021

### Date limite de candidature

Le 13 août 2021

### Contacts pour la réception des candidatures :

Pierre GARAMBOIS (Maître de Conférences, ENSAM Aix-en-Provence, LISPEN) : [pierre.garambois@ensam.eu](mailto:pierre.garambois@ensam.eu)  
Lionel ROUCOULES (Professeur des Universités, ENSAM Aix-en-Provence, LISPEN) : [lionel.roucoules@ensam.eu](mailto:lionel.roucoules@ensam.eu)

**Candidature** : CV + lettre de motivation (pièces facultatives : bulletins de notes des 2 dernières années universitaires + avis/recommandations d'un ou plusieurs enseignants dont les matières sont en lien avec les thématiques du sujet)

**Date de fin de dépôt des candidatures** : 15 août 2021 (choix du candidat avant le 25 août 2021).

### Compétences et spécialités :

Génie énergétique. Modélisation numérique et programmation (Matlab, Python). Optimisation.  
Un attrait particulier pour les problématiques énergétiques et environnementales est un plus.

### Rémunération :

Environ 1500 euros net / mois

Possibilité de faire des vacances d'enseignements à l'ENSAM d'Aix-en-Provence (200 euros net / mois supplémentaires)

### Partenariat :

Une convention a été signée entre l'ENSAM campus d'Aix-en-Provence et EDF, et couvre la problématique de boucle d'autoconsommation sur le Campus Aixois de Technologies (CAT) qui pourra servir de cas expérimental.

## Objectif du travail :

L'objectif à moyen terme du laboratoire est de développer un outil d'aide à la décision permettant, pour un territoire donné (données géographiques et météorologiques) de choisir un microgrid composé de différents producteurs (photovoltaïque, éolien, hydroélectrique, pile à hydrogène...) et stockeurs d'électricité (batterie, step, potentiel...), permettant de répondre à sa demande énergétique. L'objectif est de poursuivre le développement d'un outil déjà existant au laboratoire LISPEN, en prenant en compte des phénomènes liés à 2 échelles de temps antagonistes : une échelle fine (de l'ordre de la seconde) et une échelle plus large (simulation sur une année). L'enjeu étant d'être capable d'observer tous les phénomènes liés au fonctionnement d'un microgrid tout en conservant un temps de calcul raisonnable pour utiliser ces modèles dans des processus d'optimisation.

La version actuelle de l'outil, développée sous Matlab, est en capacité de simuler la réponse d'un microgrid électrique (i.e. une association de producteur, de stockeurs d'électricité et d'une stratégie de pilotage) à la demande énergétique d'un territoire, et d'en donner des indicateurs de performances énergétique, environnemental et économique [1]. Les figures 1 et 2 permettent d'illustrer les capacités actuelles de l'outil. Cet outil est basé sur les principes suivants :

- Utilisation de modèles locaux de producteurs (éolien, photovoltaïque, centrale à gaz, pile à hydrogène, barrage...) et de stockeurs (batterie, step, potentiel, inertiel, électrolyseur pour production d'hydrogène...) d'électricité
- Définition d'un ordre de priorité et d'une stratégie de pilotage propre à chaque système énergétique
- Simulation de la réponse du mix énergétique à une demande sur une ou plusieurs journées, avec un pas de temps de l'ordre d'une dizaine de minutes ou d'une heure
- Définition d'indicateurs de performance énergétique (autonomie, consommation énergétique globale, risque de chute du réseau), environnementale (consommation de ressources, émission de CO<sub>2</sub>) et économique (Coût global, LCOE...). Ces indicateurs prenant en compte l'ensemble du cycle de vie des systèmes énergétiques
- Intégration des modèles dans un algorithme d'optimisation multi-objectif permettant de trouver des mix qui soient les meilleurs compromis vis-à-vis des objectifs/indicateurs choisis

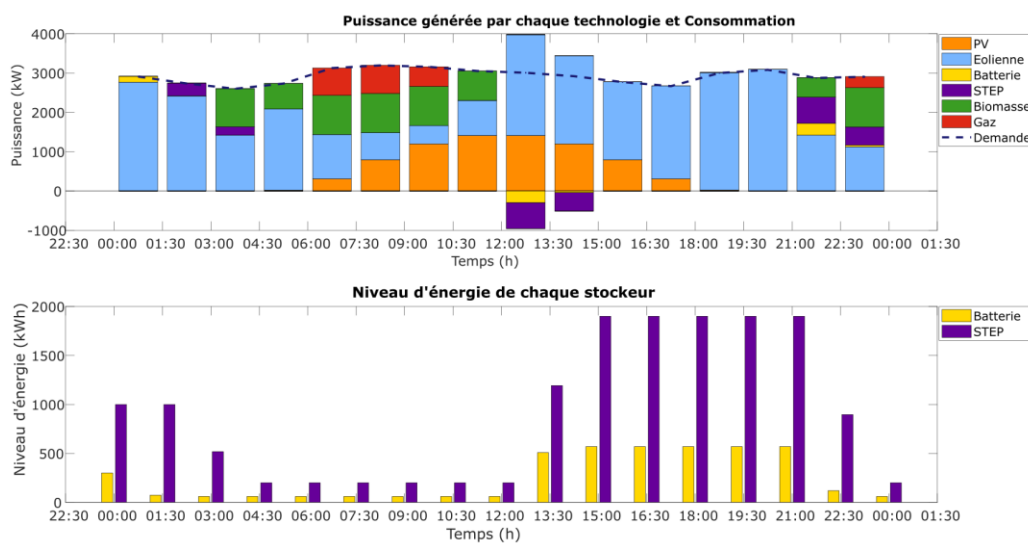


Figure 1. Réponse d'un mix énergétique à une demande sur une journée (Puissances générées et niveau d'énergie des stockeurs)

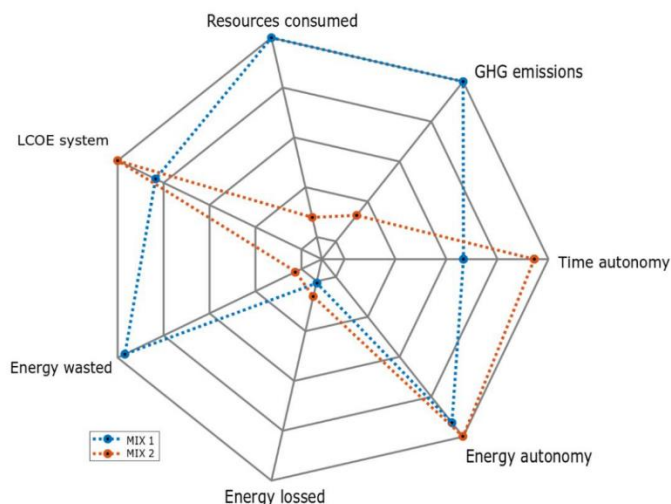


Figure 2. Exemple de comparaison par diagramme radar de deux microgrids

L'objectif de cette thèse est de traiter de nouveaux concepts fondamentaux sur lesquels s'appuiera la nouvelle version de l'outil. Ces concepts devront permettre de :

- Prendre en compte des phénomènes transitoires à une échelle fine (de l'ordre de la seconde ou moins) : réponse à un pic de demande soudain au sein d'une journée, mise en route des centrales, tenue en fréquence du réseau...
- Prendre en compte des phénomènes de transition à une échelle plus grande (de l'ordre du mois, de l'année ou de la dizaine d'année) : notion de saisonnalité, appauvrissement de ressources, d'évolution du marché de l'énergie...
- Modéliser à plusieurs échelles le système mix-énergétique afin de maîtriser les paramètres macro, méso et micro influents sur les performances du système
- Analyser les limites physiques et technologiques de chacun des sous-systèmes afin de pouvoir envisager de nouveaux espaces de solutions plus performants.
- Trouver une modélisation et une stratégie de simulation permettant de minimiser le temps de calcul des performances d'un mix. L'objectif final étant l'utilisation de ces simulations dans des algorithmes d'optimisation (actuellement coûteux en temps de calcul) permettant de trouver plus rapidement, en phase de conception architecturale et détaillée, le mix étant le meilleur compromis entre les objectifs choisis.

L'outil existant a été codé via du langage Matlab. Pour l'interfaçage et les performances de calcul, il est possible d'envisager l'utilisation du langage Python.

[1] N. Dougier, P. Garambois, J. Gomand and L. Roucoules, *Systemic Approach for Local Energy Mix Assessment*, *Advances on Mechanics, Design Engineering and Manufacturing III: Proceedings of the International Joint Conference on Mechanics, Design Engineering & Advanced Manufacturing, JCM 2020, June 2–4, 2020* (p. 143). Springer Nature. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-70566-4\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-030-70566-4_23)

### Démarche globale :

De manière assez classique, le travail de recherche se basera sur :

- Une expression argumentée des objectifs fonctionnels et la question de recherche afférente.
- Une analyse de l'état de l'art qui permettra de discuter l'existence et la pertinence des solutions de la communauté académique par rapport aux objectifs.
- La spécification de la proposition de thèse en réponse aux objectifs et aux manques identifiés dans l'état de l'art.
- L'expérimentation/illustration de la proposition sur un (des) cas d'étude.
- La validation de la proposition face aux solutions existantes de la communauté académique.