

**Offre de stage M1/M2/ingénieur : Evaluation environnementale de l'électricité solaire avec stockage**  
**Durée : 3-6 mois à compter de Juin-Juillet 2023**

**Encadrement :** Alexis Vossier (PROMES), Thomas Fasquelle (IUSTI), Yasmine Lalau (Mines d'Albi)

**Localisation :** au choix : Odeillo (66) et/ou Marseille (13) et/ou Albi (81)

Aujourd'hui, l'électricité issue de sources renouvelables « variables » (éolien, solaire) est essentiellement injectée sur le réseau électrique « au fil de l'eau », en fonction de la disponibilité de la ressource. Le déploiement massif d'électricité issue d'énergies renouvelables (EnR) variables soulèvera de nouveaux défis de compatibilité entre disponibilité de la ressource, et demande électrique. L'intégration de technologies de stockage de l'énergie constitue un levier prometteur permettant de lisser la production d'électricité renouvelable « variable » et à garantir une meilleure adéquation avec la demande électrique. Cependant, l'intégration de moyens de stockage de l'énergie occasionnera des pertes d'énergies spécifiques (associées au rendement du processus de stockage-déstockage de l'énergie, ou encore à l'effacement d'une partie de l'énergie produite). Ces pertes d'énergie spécifiques impacteront nécessairement l'efficacité énergétique globale de la centrale, ainsi que l'empreinte carbone de l'électricité injectée sur le réseau.

Dans ce projet, il est proposé d'étudier comment l'intégration massive de systèmes de stockage affectera l'empreinte carbone de l'électricité injectée sur le réseau. Deux technologies de production d'électricité solaire seront étudiées :

- 1) Les systèmes de conversion *photovoltaïque* (PV) qui reposent sur la conversion directe de l'énergie solaire en électricité grâce à l'effet photovoltaïque.
- 2) Les systèmes de conversion *thermodynamique* (CSP) qui utilisent la chaleur comme vecteur énergétique. Cette chaleur est ensuite, soit utilisée pour activer une turbine et produire de l'électricité, soit stockée pour une utilisation ultérieure.

A ces systèmes de conversion seront associées trois différentes technologies de stockage de l'énergie, à savoir 1) *le stockage électrochimique* (batteries) 2) *le stockage thermique* sous forme de chaleur latente ou de chaleur sensible 3) *le stockage thermophotovoltaïque* de l'énergie, qui repose sur l'association d'une source de chaleur haute-température (typiquement du Silicium fondu), et de cellules thermophotovoltaïques.

#### *Méthodologie envisagée*

L'évaluation de l'empreinte carbone de l'électricité issue de centrale solaire intégrant différentes technologies de stockage impliquera s'articulera autour de 3 axes distincts

- **Axe 1 : Calcul du productible énergétique de chaque technologie solaire** : un modèle optique, thermique, et électrique des différentes centrales solaires étudiées (systèmes de conversion et de stockage) permettra d'estimer l'énergie annuelle délivrée par chaque technologie.
- **Axe 2 : Estimation des ressources nécessaires** : un deuxième volet de ce travail sera dédié à l'évaluation des ressources matérielles nécessaires pour la construction des différentes technologies de centrales envisagées.
- **Axe 3 : Evaluation des impacts environnementaux** : En se basant sur les résultats précédents, il sera possible d'associer à chaque système étudié un bilan matière (Axe 2) et énergie (Axe 1), à partir duquel seront calculés les impacts environnementaux de l'électricité fournie. Il est envisagé de se centrer en premier lieu sur les indicateurs de potentiel de changement climatique (émissions de CO<sub>2</sub>eq) et d'épuisement des ressources abiotiques. L'objectif sera de

déterminer quel système fournit l'électricité au plus faible impact environnemental par kWh fourni.

### *Résultats attendus*

Le modèle développé dans le cadre de ce projet nous permettra d'estimer les performances énergétiques et environnementales des principales technologies de production d'électricité solaire intégrant des systèmes de stockage de l'énergie électrochimique, thermique ou thermophotovoltaïque. A la lumière de ces résultats, nous serons alors en mesure :

- 1) De déterminer les technologies de conversion et de stockage les plus prometteuses du point de vue des indicateurs environnementaux de l'électricité produite et de la pilotabilité du service rendu.
- 2) D'identifier les composants clés des technologies étudiées qu'il conviendra d'optimiser dans le futur afin de garantir les meilleurs indicateurs techniques et environnementaux possibles.

**Profil recherché** : Formation de type Ingénieur ou Master (physique/énergie/matériaux).

Compétences en physique, énergétique, et analyse de cycle de vie seront appréciées.

**Date limite de candidature** : 31 Mai 2023

**Contact** : Alexis Vossier (email : [alexis.vossier@promes.cnrs.fr](mailto:alexis.vossier@promes.cnrs.fr) tel : 04 68 30 77 52)

Thomas Fasquelle (email : [thomas.fasquelle@univ-amu.fr](mailto:thomas.fasquelle@univ-amu.fr) tel : 04 91 10 68 90)

Yasmine Lalau (email : [yasmine.lalau@mines-albi.fr](mailto:yasmine.lalau@mines-albi.fr) tel : 05 63 49 33 61)