UNIVERSITA DI CORSICA - PASQUALE PAOLI

ECOLE DOCTORALE "Environnement et Société"

BP 52, 20250 Corti – Tel : 04 95 37 23 22 / 45 02 20 – E.mail : ecole.doctorale@univ-corse.fr
Site : http://ed.univ-corse.fr

FICHE PROJET DE THESE pour ANNEE 2024-2025

Discipline du Doctorat	4200014 – Mécanique des fluides, Energétique, Thermique, Combustion, Acoustique
Mention du Doctorat	Energétique, Génie des procédés – 62°
Domaine scientifique principal	Energétique – Génie Electrique - informatique
Domaines scientifiques secondaires	Economie
Entités de rattachement	UMR SPE / ENR
Direction de la thèse	Pr Christian Cristofari christian.cristofari@univ-corse.fr Co-encadrant monde universitaire : IGR Guillaume Pigelet, Responsable Plateforme MYRTE
Collaborations extérieures éventuelles envisagées	-
Type de financement visé	Contrat doctoral
Connaissances et compétences requises chez l'étudiant	Compétences en énergétique et génie des process. Informatique, Diagnostic, Traitement de données La thèse couplant des aspects théoriques scientifiques d'une part, et des aspects relevant potentiellement de la mise en œuvre d'approche expérimentale, le doctorant devra faire preuve d'un sens pragmatique scientifique et pratique.
Titre de la thèse	**Contribution prédictive de l'Etat de Performance des composants technologiques du couplage Pile à Combustible- Cycle à Adsorption- Batteries (TR3 MYRTE)**
Abstract 1	Contribuer à caractériser la tranche 3 de MYRTE, étudier le vieillissement et estimer l'état de santé en usage réel de la pile à combustible (4 Stacks – 100kW), des batteries (100kW-100kWh) et du cycle à adsorption (30kWhth)
Abstract 2	Continuité des travaux scientifiques menés sur MYRTE et ce afin de viabiliser au niveau technico-économique cette PFT. L'approche relevant des performances du système dans le temps s'inscrit dans la feuille de route prédéfinie optimisant ainsi le fonctionnement de MYRTE et minimisant le coût final de l'énergie produite.
	Explicitation sur page suivante

Explicitation du Projet de thèse

1°) Présentation des aspects scientifiques du projet de thèse

Le projet de thèse s'appuiera sur la recette de la Tranche 3 de la Plateforme MYRTE en vue de décliner des préconisations quant à la perfectibilité technico-économique d'un système hybridé complexe PV-PAC-BATT-CADs-H2.

Cette tranche 3 intègre un grand instrument scientifique « MYRTE » - Mission hYdrogène-Renouvelable pour l'inTégration au réseau Electrique.

MYRTE hybride un générateur photovoltaïque d'une puissance de 560 kW_c (2240 modules TENESOL 250 W_c couplés à 28 onduleurs SMA de 17 kW triphasés) avec une chaîne hydrogène constituée d'un électrolyseur de 50 kW-Tranche 1 (10 Nm^3/h H_2 - 5 Nm^3/h O_2), d'un 2ème électrolyseur de 57 kW-Tranche 2 GreenBox® (13 Nm^3/h H_2 – 11,5 Nm^3/h O_2), d'un stockage de gaz H_2 (2000 Nm^3 @35 bars) et O_2 (1000 Nm^3 @35 bars), d'une pile à combustible de 100 kW_e-***Tranche 1*** et d'une 2ème pile à combustible de 50 kW_e-***Tranche 2*** GreenBox®. Ce couplage présente une « première mondiale » en termes d'hybridation de puissances installées. Il représente un budget de 25M€ inauguré en janvier 2012.

La ***Tranche 3*** (TR3) a été livrée (MYRTE 2020) dernier trimestre 2022, elle intègre une unité de Contrôle Commande, une Pile à Combustible 100kW_e FCRACK™ + CVS, un pack Batterie 100kWh +CVS, une machine à Adsorption pour Climatisation et Chauffage et une station de Refueling H_2 avec un Véhicule léger.

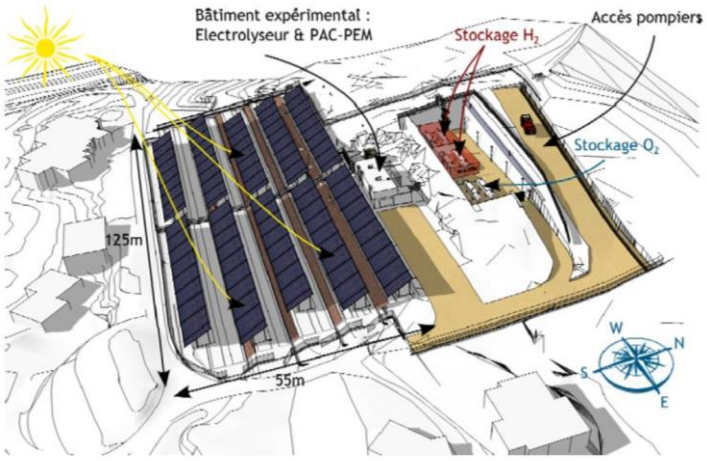

Figure 1 : Schéma représentatif de la plateforme MYRTE (Ajaccio)

Ces blocs technologiques constitutifs du système stationnaire complexe hybridé doivent faire l'objet d'une caractérisation dans un premier temps et de différents essais de cyclage en production afin d'assurer une prédiction de la dégradation et du comportement dynamique des composants.

L'objectif de ces travaux de thèse sera donc de proposer une méthodologie d'analyse et d'estimation des performances et de l'état de santé online simple, efficace et robuste de ce système hybridé TR3 intégrant le pack batterie, la FCRACK™ et le cycle à adsorption et ce en condition réel de fonctionnement.

L'évolution des performances et de l'état de santé sera analysée afin de comprendre les causes et l'influence de différents paramètres comme celui de l'environnement littoral marin ainsi que des conditions de fonctionnement. L'objectif *infine* sera de prédire la dégradation et le comportement dynamique des composants afin d'optimiser leur gestion d'énergie en vue de maximiser leur durée de vie respectif.

Une bonne connaissance des performances et de l'état de santé des différents packs technologiques et des cellules qui les composent est donc un atout majeur pour une optimisation de cette gestion de l'énergie.

Le rôle du diagnostic étant d'identifier des conditions de fonctionnement dégradant pour les systèmes et de les corriger en vue d'améliorer la durée de vie ; Le rôle du pronostic étant de prédire la durée de vie restante afin d'anticiper des opérations de maintenance ;

Il s'agira dans un premier temps de développer des modèles numériques simples et rapides qui traduisent le comportement dynamique des différents éléments technologiques et de situer le meilleur point de fonctionnement, de disposer de procédures d'identification des paramètres du modèle à partir de mesures expérimentales, de disposer d'une estimation précise de l'état de santé des éléments technologiques afin d'en déduire précisément leurs performances, de développer et de capitaliser sur des procédures de diagnostic afin d'identifier et corriger des conditions de fonctionnement dégradante. Enfin, des méthodes de

modélisation et de prédiction du vieillissement devront être développées afin de décliner un ensemble d'actions correctives.

Il s'agira ensuite de développer des algorithmes de gestion de l'énergie en vue de maximiser l'autonomie et leur durée de vie.

Le projet de thèse se déclinera par une première partie relevant des fondamentaux nécessaire à la compréhension de cette problématique scientifique. Une étude bibliographique, dans une seconde partie, sera nécessaire afin de dresser un état de l'art sur les méthodes existantes d'estimation des états de santé des éléments technologiques ciblés comme le pack batterie, la FCRACK^{TM} ou le Cycle à adsorption. Les parties suivantes relèveront successivement de l'étude du vieillissement des trois éléments technologiques et ce avec une analyse des performances et d'estimation de l'état de santé et une proposition de scénarii de fonctionnement optimisé maximisant la durée de vie du système stationnaire.

L'enjeu est important car ce projet scientifique relève de la viabilité technologique d'une chaine H2 dans le temps et présente potentiellement un impact économique qui reste, à cette échelle de puissance, à quantifier.

2°) Présentation des enjeux de la thèse

Nous vivons un XXIème siècle durant lequel de nombreux défis majeurs sont à relever avec notamment le défi environnemental sur la perte de la biodiversité, la dégradation des écosystèmes terrestres et aquatiques et la modification de la composition chimique de l'atmosphère induisant une accélération du changement climatique.
En effet, les causes anthropiques du dérèglement climatique ne sont plus à démontrer et l'utilisation des énergies fossiles prédominant dans le mix énergétique mondial reste l'une des principales causes du réchauffement planétaire et du changement climatique.
Une poursuite de nos activités humaines avec cette même dynamique, en utilisant ces mêmes énergies conventionnelles sans la prise en compte de préservation de notre environnement sera susceptible d'engendrer une augmentation importante des risques majeurs à l'échelle planétaire.
En revanche, une poursuite de nos activités humaines plus réfléchie basée sur une réflexion internationale environnementale commune équitable permettrait de maitriser la dynamique irréversible du réchauffement climatique et permettrait d'entrevoir une adaptation de l'homme à cette nouvelle future situation climatique.
De surcroît, la pandémie à l'échelle mondiale de 2019 (COVID19) et la crise ukrainienne de 2022 ont eu comme conséquence une volonté des pays de disposer d'une souveraineté industrielle et énergétique et ont, par conséquent, renforcé les politiques internationales pour une sortie des énergies fossiles.
L'Europe, aujourd'hui a opté pour **une transition énergétique reposant sur le vecteur Hydrogène** avec la création d'une banque publique dédiée au développement de la filière hydrogène dotée de 3 milliards d'euros et un plan de relance 2030 doté de près de 10 milliards notamment pour la France.
Dans ce contexte à forts enjeux sociétaux, la définition de la stratégie scientifique de l'équipe ENR de l'UMR CNRS-UDC SPE s'appuie essentiellement sur la nécessité de répondre à un enjeu majeur pour les prochaines années qui est celui lié à la problématique énergétique des îles très carbonées. La Corse présente un facteur carbone neuf fois plus important que la France continentale et présente ainsi des enjeux techniques, économiques, environnementaux et sanitaires très forts. Aussi, il existe 700 îles dans l'UE représentant 16 millions d'habitants et 10 000 îles existantes à l'international représentant 500 millions d'habitants avec une similitude de mix énergétique et une même problématique multi-critères. L'objectif scientifique étant de permettre une intégration massive des Energies Renouvelables dites intermittentes (solaire et éolien) dans les réseaux électriques insulaires ou dans les Zones Non-Interconnectées. Il s'agit ainsi de pouvoir dépasser le seuil limite des 35% définit par arrêté ministériel pour l'intégration de ces énergies renouvelables. Ce seuil ne pouvant être dépassé qu'à la seule condition d'hybridation avec des moyens de stockage. Ce positionnement scientifique s'inscrit parfaitement dans une cohérence d'objectifs stratégiques européens.

Aussi, sur l'Hydrogène, l'Université de Corse a été visionnaire et pionnière à l'échelle internationale. En effet, à travers la mise en place, au sein du Centre de Recherches Scientifiques Georges Peri à Ajaccio, des plateformes technologiques MYRTE (Mission hYdrogène-Renouvelable pour l'inTégration au réseau Electrique) depuis 2009 et PAGLIA ORBA (Plateforme Avancée de Gestion éLectrique en milieu Insulaire Associant stOckage et énergie Renouvelable - oBjectif Autonomie) depuis 2012 en partenariat avec HELION Power by ALSTOM SAS et le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), la Corse s'est positionné comme pionnière dans les domaines de l'hydrogène POUR et PAR les énergies renouvelables et dans celui des micro-réseaux intelligents insulaires.

Le projet de thèse scientifique sur le vieillissement du système H_2 vise à répondre aux objectifs de sécurisation de l'approvisionnement énergétique, non carboné, via un projet s'appuyant sur un **modèle économique viable**, d'une part basée sur de la **production d'hydrogène renouvelable** et d'autre part favorisant **l'intégration d'EnR intermittentes au réseau électrique.** Ce modèle prédictif de performance permettra d'alimenter les matrices budgétaires de projets sur le territoire permettant ainsi de vérifier la projection d'une viabilité économique.