



Offre de thèse : Naval Far Offshore Wind Energy Conversion and Storage

1- Partenaires du projet

- IREENA, Institut de Recherche en Energie Electrique de Nantes Atlantique, Nantes Université, UR 4642
- LTEN, Laboratoire de Thermocinétique et d'Energie de Nantes, Nantes Université, UMR CNRS 6607
- FARWIND, 1 rue de la Noë, 44300 Nantes

2- Résumé du projet

Les énergies renouvelables sont une source d'énergie durable et prometteuse pour la production décarbonnée d'électricité. De nombreuses solutions sont aujourd'hui déployées ou à l'étude : éolien posé, éolien flottant, houlomoteur, hydrolien. Le niveau de maturité de ces différentes solutions n'est pas homogène et le coût de l'énergie produite doit encore baisser pour être réellement compétitif. Par ailleurs, ces solutions sont toutes raccordées à un réseau électrique de collecte et de transport, ce qui impose de nombreuses contraintes sur l'emplacement du site de production et sur la technologie utilisée. D'autres solutions sont néanmoins possibles et la société Farwind propose une alternative déconnectée du réseau et utilisant de nombreux degrés de liberté. L'idée est de déployer des navires propulsés par le vent qui entraînent un hydrogénérateur sous sa coque de manière à produire de l'énergie en se déplaçant. De cette manière, un navire Farwind peut se déplacer de manière opportune et "récolter" l'énergie issue d'un vent plus stable, plus régulier et plus fort en haute mer.

Le déploiement de cette solution prometteuse fait appel à des actions pluri-disciplinaires concernant la définition du navire. Après une première étape, menée par ses concepteurs, qui a consisté à définir l'architecture navale et dimensionner le système de propulsion du navire, la société Farwind peut aujourd'hui s'appuyer sur des preuves de concept obtenues lors de projets d'innovation récents, et est capable de définir les profils de production en fonction de la situation météorologique sur une zone donnée. Le présent projet se propose de développer un premier outil d'optimisation de la conversion d'énergie et son stockage à bord du FARWINDER.

Dans le cadre de l'appel à projet WEAMEC 2022, le projet WinStor a pour but d'initier la collaboration et traitera de plusieurs problématiques ciblées :

- Définir les architectures du système de conversion d'énergie à bord des navires
- Définir les modèles énergétiques et économiques des composants retenus
- Etudier les grandeurs impactant le dimensionnement du système énergétique
- Etudier les stratégies de gestion du système
- Etablir un outil d'optimisation du système pour aider à la conception

Le projet propose une collaboration forte entre les laboratoires ligériens d'une part sur l'expertise unique

de l'IREENA et du L'TEN et d'autre part sur celle de la société Farwind, jeune entreprise prometteuse et porteuse d'un concept original de production d'énergie décarbonnée en haute mer. Le projet constitué permettra ainsi de couvrir l'ensemble de la chaîne de conversion d'énergie par une approche systémique et expérimentale menée sur les installations des deux laboratoires et les prototypes Farwind si nécessaire.

A terme, cette collaboration devra être poursuivie et étendue à d'autres sujets tels que :

- Optimisation du fonctionnement du système de stockage et temps réel et fonction du profil d'emploi lors d'une mission réelle,
- La prise en compte du vieillissement des composants du système (stacks d'électrolyseur, électroniques de puissance, batteries,)
- Validations expérimentales de plus en plus représentatives des systèmes réels à la fois en terme de puissances et d'environnements d'exploitation, ...

3- Description technique du travail

- **Etape 1 - modèles de composants** : il s'agira ici de développer une bibliothèque de modèles de composants de la chaîne de conversion embarquée. L'idée générale est d'obtenir des modèles macroscopiques des équipements d'électronique de puissance, de conversion (électrolyseur, séparateur de phases,...) et de stockage (batteries électrochimiques, compresseurs, réservoirs hydrogène). Ces modèles seront établis dans les hypothèses d'un environnement réaliste en lien avec les profils d'emplois de Farwind. Les modèles devront intégrer également une partie économique de manière à alimenter les outils des lots suivants, en particulier sur l'optimisation de système à la fois sur des critères de performances énergétiques mais également sur des critères de performances économiques.
- **Etape 2 - définition d'architectures** : deux types de systèmes d'électrolyseurs seront modélisés et comparés (électrolyseurs alcalins et PEM) et un système de stockage sous pression (compresseurs, réservoirs,... pour deux pressions 200 et 500 bars) dans le cadre d'un couplage à une énergie intermittente et des profils d'emplois fournis par FARWIND. Des systèmes de stockage électrochimiques permettant d'optimiser le fonctionnement global du système seront également intégrés à la modélisation globale du système de conversion d'énergie. L'enjeu sera ici de proposer une approche de modélisation multi-domaine, capable de gérer des écarts de dynamique importants, liés à la nature des phénomènes à considérer (électrique, thermique, mécanique, vieillissement). La principale difficulté à dépasser sera la mise en œuvre de ces modèles couplés tout en conservant une certaine flexibilité de conception. Des approches de modélisation acausale seront ainsi envisagées pour faciliter cette intégration et le développement de nouveaux modèles, adaptés au cadre applicatif de ce projet.
- **Etape 3 - gestion d'énergie** : l'objet de cette partie est de se centrer sur les lois de gestion d'énergie que suppose un tel système. L'idée est d'y intégrer une première couche de gestion du système qui garantit son fonctionnement ainsi que d'introduire des éléments liés à son vieillissement (sur la base de lois de vieillissements expérimentales qui pourront être alimentés par la littérature ou d'autres travaux à mener en parallèle ou à la suite de ce projet) au travers de la modification de ses caractéristiques et aptitudes à fonctionner efficacement dans la durée. Encore aujourd'hui, les ressources et références sur ce type de données restent parcellaires et nécessiteront un travail de synthèse important. De plus, les échelles de temps en jeu pour ces phénomènes impliquent une augmentation significative des temps de simulation. Il sera ainsi nécessaire de trouver des moyens efficaces de coupler ces modèles de vieillissement aux autres modèles électriques, thermiques et mécaniques, au travers de méthodes spécifiques de découplage telles que les approches multi-pas ou de co-simulation.
- **Etape 4 - optimisation conjointe dimensionnement - gestion** : l'objectif est ici de se concentrer sur la définition de comportements énergétiques plus globaux du système. De fait, l'introduction d'une optimisation sur cycles de fonctionnement, avec une approche stochastique, sera mise en œuvre. L'idée étant ici de développer une méthodologie spécifique à l'application visée, en

intégrant à la fois les modèles développés au lot 1, les différentes architectures retenues au lot 2 et les lois de gestion mis en place au lot 3. Par ailleurs, les performances du bateau sont très liées à sa capacité à aller chercher le bon vent, de convertir l'énergie récoltée, puis d'assurer un retour au port. Ces trois missions doivent être opérées dans le souci d'optimiser le rendement énergétique global. Un enjeu du lot 4 sera donc également d'introduire une gestion de l'incertain lié à la ressource en vent et au routage du navire. Les optimisations réalisées dans ce lot devront également observer les performances économiques des systèmes mis au point. Ce dernier point constituant un résultat indispensable pour choisir la ou les meilleures solutions.

- **Etape 5 - Validation expérimentale** : l'objectif de ce dernier lot est de valider expérimentalement, à échelle réduite, les principes de fonctionnement de l'architecture retenue. Dans un second temps, il s'agira d'intégrer les lois de gestion établies au lot 3 et de comparer les éventuels scénarii résultant de l'optimisation du lot 4. L'ensemble de ces validations demanderont une mise à l'échelle par un raisonnement adimensionnel sur les caractéristiques principales du système. L'utilisation d'un électrolyseur PEM est envisagé à ce jour pour cette partie.

4- Profil et compétences

a. Formation initiale

Master recherche ou dernière année d'école d'ingénieur dans un cursus avec une composante électrique forte

b. Connaissances spécifiques

Requises

- Rédaction en anglais
- Programmation en Matlab, Python, Julia
- Insertion dans une équipe projet multi-disciplinaire et multi-sites

Souhaitées

- Production d'hydrogène renouvelable
- Méthodes d'optimisation multi objectif

5- Informations pratiques

- Type de contrat : CDD à temps plein
- Durée du contrat : 36 mois
- Statut : Doctorant
- Lieu de travail : Saint-Nazaire (44), déplacements à Nantes (44)
- Date de prise de poste : 01/10/2022
- Date limite de candidature : 15/07/2022

6- Modalités de candidature

- Les dossiers de candidature doivent être constitués d'un CV et d'une lettre de motivation
- Joindre les éléments de scolarité (relevé de notes, classement, diplômes)
- Pour toute question relative à la thèse, contacter : salvy.bourguet@univ-nantes.fr



PhD offer: Naval Far Offshore Wind Energy Conversion and Storage

1- Project partners

- IREENA, Nantes Atlantic Institute of Electrical Energy Research, Nantes University, UR 4642
- LTEN, Laboratory of Thermokinetics and Energy of Nantes, Nantes University, UMR CNRS 6607
- FARWIND, 1 rue de la Noë, 44300 Nantes

2- Summary of the project

Renewable energies are a sustainable and promising source of energy for the decarbonised production of electricity. Numerous solutions are currently deployed or under study: wind power, floating wind power, wave power and tidal power. The level of maturity of these different solutions is not homogeneous and the cost of the energy produced still needs to fall to be truly competitive. Moreover, these solutions are all connected to an electrical collection and transport network, which imposes numerous constraints on the location of the production site and on the technology used. However, other solutions are possible and Farwind is proposing an alternative that is disconnected from the grid and uses many degrees of freedom. The idea is to deploy wind-powered vessels that drive a hydro-generator underneath their hulls to produce energy as they move. In this way, a Farwind vessel can move in a timely manner and "harvest" energy from more stable, steady and stronger winds on the high seas.

The deployment of this promising solution requires multi-disciplinary actions regarding the definition of the vessel. After a first step, led by its designers, which consisted in defining the naval architecture and dimensioning the ship's propulsion system, Farwind can now rely on proofs of concept obtained during recent innovation projects, and is able to define the production profiles according to the meteorological situation in a given area. The present project aims to develop a first tool for optimising energy conversion and storage on board the FARWINDER.

Within the framework of the WEAMEC 2022 call for projects, the WinStor project aims to initiate collaboration and will address several targeted issues

- Defining the architectures of the energy conversion system on board ships
- Defining the energy and economic models of the selected components
- Study the quantities impacting the dimensioning of the energy system
- Study the system management strategies

- Establish a system optimisation tool to assist in the design

The project proposes a strong collaboration between the Loire laboratories on the one hand on the unique expertise of IREENA and LTEN and on the other hand on that of Farwind, a promising young company with an original concept of low-carbon energy production in the open sea. The project will thus cover the entire energy conversion chain through a systemic and experimental approach carried out on the installations of the two laboratories and the Farwind prototypes if necessary.

In the long term, this collaboration should be continued and extended to other subjects such as

- Optimisation of the operation of the storage system in real time and as a function of the job profile during a real mission,
- Taking into account the ageing of system components (electrolyzer stacks, power electronics, batteries, etc.)
- Experimental validations that are increasingly representative of real systems in terms of both power and operating environments, ...

3- Technical description of the work

- **Stage 1 - component models:** the aim here is to develop a library of component models for the on-board conversion chain. The general idea is to obtain macroscopic models of the power electronics, conversion (electrolyser, phase separator, etc.) and storage (electrochemical batteries, compressors, hydrogen tanks) equipment. These models will be established under the hypotheses of a realistic environment in line with Farwind's job profiles. The models will also have to integrate an economic part in order to feed the tools of the following batches, in particular on the optimisation of the system both on energy performance criteria and on economic performance criteria.
- **Stage 3 - energy management:** the purpose of this part is to focus on the energy management laws that such a system requires. The idea is to integrate a first layer of management of the system which guarantees its operation as well as to introduce elements related to its ageing (on the basis of experimental ageing laws which could be fed by the literature or other work to be carried out in parallel or following this project) through the modification of its characteristics and abilities to operate efficiently over time. Even today, the resources and references on this type of data remain fragmented and will require significant synthesis work. Moreover, the time scales involved in these phenomena imply a significant increase in simulation times. It will thus be necessary to find efficient ways of coupling these ageing models to other electrical, thermal and mechanical models, through specific decoupling methods such as multi-step approaches or co-simulation.
- **Step 4 - joint optimisation - sizing - management:** the objective here is to focus on the definition of more global energy behaviour of the system. In fact, the introduction of an optimisation on operating cycles, with a stochastic approach, will be implemented. The idea here is to develop a methodology specific to the targeted application, by integrating the models developed in lot 1, the different architectures selected in lot 2 and the management laws implemented in lot 3. Furthermore, the boat's performance is closely linked to its ability to find the right wind, to convert the energy harvested, and then to ensure a return to port. These three tasks must be carried out with a view to optimising overall energy efficiency. One of the challenges of lot 4 will therefore be to introduce management of the uncertainties linked to the wind resource and the routing of the vessel. The optimisations carried out in this lot will also have to observe the economic performance of the systems developed. This last point is an essential result for choosing the best solution(s).
- **Stage 5 - Experimental validation:** the objective of this last batch is to validate experimentally, on a reduced scale, the operating principles of the chosen architecture. In a second phase, the

management laws established in phase 3 will be integrated and the possible scenarios resulting from the optimisation of phase 4 will be compared. All of these validations will require scaling up by dimensional reasoning on the main characteristics of the system. The use of a PEM electrolyser is currently envisaged for this part.

4- Profile and skills

a. Initial training

Research Master's degree or final year of engineering school in a course with a strong electrical component

b. Specific knowledge

Required

- Writing in English
- Programming in Matlab, Python, Julia
- Integration in a multi-disciplinary and multi-site project team

Desired

- Renewable hydrogen production
- Multi-objective optimisation methods

5- Practical information

- Type of contract: full-time fixed-term contract
- Contract duration: 36 months
- Status: PhD student
- Workplace: Saint-Nazaire (44), travel to Nantes (44)
- Starting date: 01/10/2022
- Application deadline: 15/07/2022

6- Application procedures

- Applications must include a CV and a covering letter
- Enclose your academic records (transcripts, grades, diplomas)
- For any question concerning the thesis, please contact: salvy.bourguet@univ-nantes.fr