

Sujet de thèse en énergétique et génie des procédés

Modélisation dynamique d'une chaîne énergétique de type Power-to-H₂ avec stockage LOHC

Contexte de l'étude

Les grands défis technologiques de la lutte contre le réchauffement climatique sont de concevoir des solutions de production d'électricité et de stockage saisonnier de l'énergie durables, sûres, efficaces et économiquement viables. Bien que de nombreuses technologies aient été testées, la production d'électricité à partir de petites éoliennes à axe vertical et le stockage d'énergie sous forme de *Liquid Organic Hydrogen Carrier* (LOHC) ont assez peu été étudiés.

Une chaîne énergétique de type Power-to-H₂ avec stockage LOHC est composée des opérations unitaires en série suivantes :

- production d'hydrogène (H₂) par électrolyse ;
- hydrogénation de molécules organiques pauvres en H₂ (LOHC-) pour former des molécules chargées en H₂ (LOHC+) ;
- stockage ou transport des LOHC+ ;
- déshydrogénation des LOHC+ en LOHC- et H₂ ;
- conversion du H₂ produit en électricité dans une pile à combustible, un moteur à combustion interne H₂ ou une turbine à gaz.

Les fortes densités massique et volumique des composés hydrogénés (comprises entre 5 et 8 % en poids, ce qui représente entre 50 et 70 g_{H₂}/L) et leur stabilité dans les conditions ambiantes rendent leur transport et leur stockage très compétitifs par rapport à l'hydrogène à 700 bar ou l'hydrogène liquide à 20 K. En effet, à la pression atmosphérique et à température ambiante, de simples réservoirs (citernes ou pipelines utilisés pour les produits pétroliers) sont suffisants pour le stockage. La déshydrogénation, qui se fait généralement à haute température et à pression modérée (2-3 bar, 200-300 °C, ΔrH>0), nécessite un apport important de chaleur alors que l'hydrogénation, qui se fait à plus haute pression et à température modérée (30-70 bar, 120-180 °C, ΔrH<0), produit de la chaleur.

Le défi est de concevoir une chaîne de stockage d'électricité optimisée (quant aux flux de matière et de chaleur afin de maximiser l'efficacité énergétique globale) et résiliente face aux variations de production et de consommation d'énergie électrique.

Cette thèse entre dans le cadre du projet EOLOHC, financé par l'Institut Carnot Ingénierie@Lyon, et a pour but d'évaluer les performances énergétiques et économiques de ces deux technologies (petites éoliennes à axe vertical et stockage d'énergie sous forme de LOHC), ainsi que leur couplage temporel.

Sujet de thèse

Les travaux de thèse consisteront à développer un modèle dynamique de toute la chaîne de stockage. Il s'agira d'évaluer l'efficacité énergétique globale pour différents scénarios de production d'énergie par des éoliennes ainsi que différents scénarios de consommation. Les tâches principales de la thèse seront les suivantes :

- réaliser une étude bibliographique complète sur les technologies et les modèles dynamiques des opérations unitaires nécessaires à la chaîne de stockage ;
- valider une architecture de la chaîne de stockage sur la base d'une première topologie définie grâce à des points obtenus en régime stationnaire (travaux antérieurs de l'équipe). La

- définition de cette topologie s'appuiera notamment sur une démarche d'intégration énergétique (méthode pincement et/ou analyse exergetique) ;
- développer les modèles dynamiques physiques des sous-chaînes « électrolyseur + hydrogénation » et « déshydrogénation + conversion d'hydrogène ». Les modèles physiques seront basés sur des modèles cinétiques et hydrodynamiques de la littérature ou en cours de développement au LAGEPP. En raison du couplage fort entre la température et les cinétiques, les méthodes numériques classiques ne sont pas adaptées. Pour cette raison, les modèles dynamiques physiques seront utilisés pour générer des données massives, et ce pour de larges gammes des variables d'entrée ;
 - générer des méta-modèles sur la base des données simulées et des données expérimentales du LAGEPP. Deux approches seront conduites en parallèle :
 - i. développement de méta-modèles par apprentissage profond ou *deep learning* (CETHIL) où il s'agira d'optimiser un jeu de paramètres pour un réseau de neurones multi-couches,
 - ii. développement de modèles réduits (LAGEPP) qui utiliseront les méthodes traditionnelles en automatique afin d'avoir des modèles encore physiques (en général plus fiables en cas de sortie du domaine des conditions d'apprentissage) mais plus lents que les méta-modèles,
 - iii. comparaison des deux approches ; validation et exploitation des différents modèles ;
 - évaluer énergétiquement et économiquement la chaîne de stockage de l'électricité pour des scénarios de production d'électricité intermittente (éolien, solaire) et des profils de consommation d'électricité journalière, mensuelle et annuelle.

Directeur de thèse :

Marc CLAUSSE, INSA Lyon, CETHIL

Co-directeur de thèse :

François ROUSSET, INSA Lyon, CETHIL

francois.rousset@insa-lyon.fr

Co-directrice de thèse :

Isabelle PITAULT, CNRS, LAGEPP

isabelle.pitault@univ-lyon1.fr

École doctorale :

MEGA

Localisation du doctorant :

Campus LyonTech-la Doua (Villeurbanne, France) : Centre d'énergétique et de thermique de Lyon (CETHIL) et Laboratoire d'Automatique, de Génie des Procédés et de Génie Pharmaceutique (LAGEPP)

Durée et date de début :

3 ans à partir du quatrième trimestre 2024 (vers octobre 2024)

Rémunération :

entre 2140 € (plancher) et 2300 € brut par mois selon le profil

Employeur :

INSA Lyon

Profil requis et qualifications :

Master ou ingénieur(e) en énergétique ; numérique / science des données ; connaissances en génie des procédés et en thermodynamique chimique ; appétence pour la modélisation et la thermodynamique ; connaissance de Matlab et Simulink ; connaissance de Python ; bonne maîtrise de l'anglais indispensable ; maîtrise du français souhaitable

Pour postuler :

envoyer lettre de motivation, CV et notes de bac+4 et bac+5 aux deux adresses électroniques indiquées avant le 15/06/2024