

THESE DE DOCTORAT DE

NANTES UNIVERSITE

ECOLE DOCTORALE N° 641

*Mathématiques et Sciences et Technologies du numérique,
de l'Information et de la Communication*

Spécialité : Génie Electrique

Par

« Nouhaila BEN ABDELOUAHAB »

**« Contribution à l'étude du prédimensionnement optimal de systèmes
Hydrogène couplés aux énergies renouvelables »**

Thèse présentée et soutenue à « Saint-Nazaire », le « 21 Janvier 2026 »

Unité de recherche : Institut de Recherche en Energie Electrique Nantes Atlantique (IREENA)

Rapporteurs avant soutenance :

Marie-Cécile Péra
Loïc Boulon

Professeur des Universités, Université Marie et Louis Pasteur, Besançon, FCLAB
Professeur, Université du Québec à Trois-Rivières, IRH

Composition du Jury :

Président :

Examinateurs : Alain Bouscayrol,
Benoit Delinchant
Amine Jaafar

Professeur des Universités, Université de Lille, L2EP
Professeur des Universités, Université Grenoble Alpes, G2Elab
Maitre de conférences, INP Toulouse / ENSEEIHT, LAPLACE

Dir. de thèse : Salvy Bourguet
Co-dir. de thèse : Jean-Christophe Olivier
Co-encadrement : Bruno Auvity

Professeur des Universités, Nantes Université, IREENA
Professeur des Universités, Nantes Université, IREENA
Professeur des Universités, Nantes Université, LTEN

Titre : Contribution à l'étude du prédimensionnement optimal de systèmes hydrogène couplés aux énergies renouvelables

Mots clés : Production d'hydrogène renouvelable, Prédimensionnement optimal, Performances technico-économiques, faisabilité économique, LCOH, Dégradation de l'électrolyseur

Résumé : Cette thèse propose un outil de prédimensionnement permettant d'évaluer rapidement la faisabilité technico-économique de systèmes de production d'hydrogène couplés aux sources renouvelables. L'approche repose sur une modélisation physique cohérente des composants : électrolyseur PEM, compresseur, réservoir haute pression et batterie tampon. Une stratégie de gestion énergétique basée sur la séparation fréquentielle des profils renouvelables est considérée. Et une optimisation bi-objectif utilisant l'algorithme génétique NSGA-II, qui vise simultanément la minimisation du coût annualisé et la maximisation de la production de l'hydrogène annuelle est introduite. L'application de la méthodologie développée à différents scénarios (offshore, solaire, éolien terrestre)

met en évidence les facteurs clés du dimensionnement, en particulier le rôle central de l'électrolyseur, et l'impact de l'intermittence des profils renouvelables. Les résultats montrent que le stockage tampon par batterie n'est pas économiquement pertinent lorsque la priorité est la minimisation du coût de l'hydrogène. Par ailleurs, le modèle de dégradation électrolyseur, basé sur la densité de puissance, révèle que la batterie, bien qu'elle réduise les phases marche-arrêt, peut accélérer le vieillissement du système en fonction des conditions de fonctionnement. Cela souligne que l'efficacité d'un stockage batterie dépend étroitement de la stratégie de gestion adoptée et du modèle de dégradation considéré.

Title: Contribution to the Optimal Pre-Sizing of Hydrogen Systems Coupled with Renewable Sources

Keywords: Renewable hydrogen production, Optimal preliminary sizing, Techno-economic performance, Economic feasibility, Levelized Cost of Hydrogen (LCOH), Electrolyzer degradation.

Abstract: This thesis presents a pre-sizing tool designed to rapidly assess the techno-economic feasibility of renewable-powered hydrogen production systems. The approach is based on a physically consistent modeling of key components, including a PEM electrolyzer, compressor, high-pressure storage tank, and buffer battery. An energy management strategy based on the frequency-domain separation of renewable power profiles is employed. In addition, a bi-objective optimization framework using the NSGA-II algorithm is introduced, simultaneously minimizing the annualized cost of hydrogen and maximizing annual hydrogen production. The methodology is applied to offshore wind, solar, and onshore wind scenarios,

highlighting the key drivers of system sizing, particularly the central role of the electrolyzer and the impact of renewable resource intermittency. The results indicate that battery buffering is not economically favorable when minimizing the cost of hydrogen is the primary objective. Furthermore, incorporating a degradation model based on electrolyzer power density reveals that, although the battery reduces start-stop cycling, it may accelerate electrolyzer aging depending on operating conditions. This emphasizes that the relevance of battery integration strongly depends on the energy management strategy and the degradation model considered.