

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 Électrique

Par

Haniyeh MAREFATJOUIKILEVAEE

**Improvement of the performance and reliability of hydrogen generation
units by electrolysis.**

Thèse présentée et soutenue à Saint-Nazaire, le 17 Mars 2026

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

Rapporteurs avant soutenance :

Catherine CADET
Elodie PAHON

Professeur des universités, Université Grenoble Alpes (Grenoble)
Maitre de conférences HDR, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM)

Composition du Jury :

Président :

Examineurs : Rachid OUTBIB
Christophe TURPIN

Dir. de thèse : Jean-Christophe OLIVIER

Co-dir. de thèse : François AUGER

Professeur des universités, Aix Marseille Université

Directeur de Recherche CNRS, Laboratoire LAPLACE, Toulouse

Professeur des universités, Nantes Université

Professeur des universités, Nantes Université

Invité(s)

François PELLAUMAIL Ingénieur EHSFA, COMECA France (Le Mans)

Titre : Amélioration des performances et de la fiabilité des unités de génération d'hydrogène par électrolyse

Mots clés : Électrolyseur à eau PEM, Méthodes de diagnostic, Dégradation, Fiabilité, Production d'hydrogène, Modèle de vieillissement

Résumé : L'hydrogène est reconnu comme vecteur clé pour une société neutre en carbone. La Commission européenne vise 6 GW de capacité de production d'hydrogène d'ici 2024 et 40 GW d'ici 2030, initialement à partir d'énergie électrique, puis exclusivement d'énergies renouvelables. COMECA (Le Mans, France) possède l'expertise pour interfacier les électrolyseurs avec le réseau électrique. Cependant, des incertitudes persistent sur le comportement à long terme et les mécanismes de dégradation. Cette thèse développe des méthodologies de surveillance de l'état de santé des électrolyseurs haute puissance, en utilisant les degrés de liberté du convertisseur de puissance pour minimiser l'intrusion. Un cadre de modélisation électrique complet est proposé, incluant des représentations statiques et dynamiques intégrées aux mécanismes de

dégradation. Le modèle incorpore les phénomènes d'activation et de diffusion, modélisant la dégradation via deux paramètres diagnostiques : taux de dégradation de surface et de membrane. Les résultats de simulation montrent une forte concordance avec la courbe de polarisation expérimentale, validant ainsi le modèle. Deux approches diagnostiques sont introduites : une courbe de polarisation linéarisée (développement de Taylor) pour estimer la durée de vie utile restante, et une formulation Butler-Volmer simplifiée pour le diagnostic de dégradation. Une analyse comparative identifie la méthode optimale pour la validation expérimentale et l'application industrielle.

Subject: Improvement of the performance and reliability of hydrogen generation units by electrolysis

Key Words: PEM Water Electrolyzer, Diagnosis Methods, Degradation, Reliability, Hydrogen Production, Aging Model

Abstract: Hydrogen is recognized as a key vector for achieving a carbon-neutral society. The European Commission targets 6 GW of hydrogen production capacity by 2024 and 40 GW by 2030, initially from electrical energy, then exclusively from renewable sources. COMECA (Le Mans, France) possesses the expertise to interface electrolyzers with the electrical network. However, uncertainties persist regarding long-term behavior and degradation mechanisms. This thesis develops methodologies for monitoring high-power electrolyzer health status, utilizing power converter degrees of freedom to minimize intrusiveness. A comprehensive electrical modeling framework is proposed, encompassing static and dynamic

representations integrated with degradation mechanisms. The model incorporates activation and diffusion phenomena, modeling degradation through two diagnosis parameters: surface and membrane degradation ratios. Simulation results show strong agreement with experimental polarization curve, validating the model. Two diagnosis approaches are introduced: a linearized polarization curve (Taylor expansion) to estimate remaining useful life, and a simplified Butler-Volmer formulation for degradation diagnosis. A comparative analysis identifies the optimal method for experimental validation and industrial application.

