

Systeme énergétique de production, stockage et d'utilisation d'hydrogène décarboné pour la mobilité et le bâtiment : Intégration, pilotage et optimisation

Encadrants : Elyes NEFZAOUI, Patrick POULICHET

Laboratoire : ESYCOM, ESIEE Paris.

Partenaire international : Tshwane University of Technology (Afrique du Sud)

Filière : Energie

Contexte : les annonces de plans stratégiques de développement de la filière hydrogène se multiplient à travers le monde. L'Union Européenne et la France ont présenté des plans d'investissement ambitieux pour produire de l'hydrogène décarboné. L'hydrogène peut être vu comme une solution pour pallier l'intermittence des sources d'énergie renouvelables qui produisent peu de gaz à effet de serre. Une conversion de l'électricité en hydrogène fournit un moyen de stockage de l'électricité qui manque cruellement aux filières renouvelables. Le recours à l'hydrogène paraît incontournable dans un objectif de réduction des émissions pour les principaux secteurs consommateurs d'énergie et émetteurs de gaz à effet de serre que sont le bâtiment, le transport et l'industrie. Cet impératif s'impose plus fortement dans le contexte de crise énergétique inédite que nous traversons. Toutefois, l'intégration des systèmes de production et de consommation d'hydrogène pour ces différents usages finaux n'est toujours pas opérationnelle et optimisée. C'est le sujet du présent projet.

Dans le cadre d'une collaboration entre ESIEE Paris, un partenaire industriel et d'autres laboratoires de l'Université Gustave Eiffel, un banc expérimental de production d'hydrogène et de consommation d'hydrogène pour la production d'électricité par pile à combustible (PAC) a été mis en place depuis 2020. Ce banc sera utilisé et développé davantage et optimisé dans le cadre du présent projet.

Description du banc existant de production et d'utilisation d'hydrogène :

Il comprend :

- un électrolyseur qui assure la production d'hydrogène à partir d'électricité,
- des bouteilles d'hydrures métalliques pour le stockage de l'hydrogène,
- une pile à combustible (PAC) pour la production d'électricité,
- un débitmètre de mesure du débit d'hydrogène,
- deux charges électroniques pour simuler la consommation d'électricité correspondant à différents cas d'usage,

En 2022, le banc été complété par :

- une batterie,
- des supercondensateurs,
- des convertisseurs DC-DC.

- des relais,
- une alimentation bi-directionnelle,

Par ailleurs, des équipements supplémentaires ont été acquis et ne sont toujours pas intégrés au banc :

- une charge inductive (moteur)
- un moyen de production d'électricité renouvelable sous la forme de modules photovoltaïques (PV) d'une puissance de 1320 Wc.

Les panneaux solaires sont actuellement connectés au réseau électrique par l'intermédiaire d'un onduleur. Indirectement, cette énergie alimente l'électrolyseur. Des moyens de stockage électrique (batteries, supercondensateurs) seront également employés pour assurer un appoint électrique lorsque la puissance des piles à combustible n'est pas suffisante pour répondre à la demande donnant plus de flexibilité au système.

Les charges électroniques permettent de simuler différents types de demande électrique :

- demande type pour la mobilité électrique (recharge de véhicule électrique),
- demande type dans le secteur du bâtiment.

Cela permettra d'évaluer la pertinence d'un système de production-stockage-consommation d'hydrogène décarboné pour les besoins électriques principaux hors industrie.

Objectifs :

Le projet tremplin recherche 2021-2022 a permis de faire fonctionner le banc expérimental de production d'hydrogène. Une gestion avec le logiciel Labview a pu être faite pour visualiser et enregistrer la consommation d'hydrogène, la production de la PAC, piloter la charge électronique et déterminer le rendement de la PAC. Ce travail doit être approfondi en associant les différents éléments du banc pour répondre à une demande de puissance rapide ou à une demande de stockage de l'énergie électrique : cela sera obtenu par l'utilisation des supercondensateurs ou de la batterie en liaison avec les convertisseurs DC-DC pour adapter les tensions.

Lors des appels d'énergie rapide, la PAC ne peut pas délivrer l'énergie de façon rapide. Il est alors judicieux de faire appel à d'autres moyens de stockage (batterie ou supercondensateurs) pour délivrer la puissance électrique durant ces phases. La gestion de la charge de la batterie ou des supercondensateurs peut alors être définie à l'avance lors de l'utilisation de la PAC à faible charge. Ce type de stratégie peut être mis en place à l'aide d'un système de gestion de l'énergie (EMS : Energy Management System). Un objectif majeur du projet est de mettre en œuvre une EMS et de l'optimiser pour différents cas d'usage. Une attention particulière sera accordée au cas d'usage bâtiment, premier consommateur d'énergie en France et en Europe.

Ces travaux permettront d'évaluer la pertinence de l'application d'un système de zéro émission de dioxyde de carbone (CO₂) à base d'une PAC alimentée en hydrogène par un

électrolyseur alimenté par des moyens de production d'électricité renouvelable pour différents facteurs d'échelle urbaine : du bâtiment à l'écoquartier.

Références:

- [1] L'Hydrogène électrolytique comme moyen de stockage d'électricité pour systèmes photovoltaïques isolés, Julien Labbé, 2007.
- [2] Production d'hydrogène par électrolyse de l'eau – AFHYPAC, 2015.
- [3] Quentin Cacciuttolo. Apport de la pression sur les performances d'une cellule. d'électrolyse de la vapeur d'eau à haute température. Chimie théorique et/ou physique. Université Pierre et Marie Curie – Paris VI, 2014. Français.
- [4] W. Friede, « Modélisation et caractérisation d'une pile à combustible de type PEM ». Thèse INPL, Nancy, 28 août 2003.
- [5] A. LACHICHI, « Modélisation et stabilité d'un régulateur hybride de courant – Application aux convertisseurs pour pile à combustible », thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, novembre 2005.
- [6] R. Borgogno, "Procédé thermo-hydraulique solaire appliqué à la trigénération dans le secteur résidentiel . To cite this version : HAL Id : tel-01620245 Énergie Environnement E² Présentée par Rémy BORGOGNO Procédé thermo-hydraulique solaire appliqué à la," 2017.
- [7] Fuel Cell Handbook EG&G Technical Services, Inc., 6ème édition, novembre 2002.
- [8] H. Oman, « Fuel cells for personal electricity ». Aerospace and Electronic Systems Magazine, IEEE, vol. 15, n° 9, septembre 2000, pp.43-45.
- [9] P. Stevens, F. Novel-Cattin, A. Hammou, C. Lamy, M. Cassir, « piles à combustible Technique de l'Ingénieur, D 3 340-1/28.
- [10] B.WAHDAME, « Analyse et optimisation du fonctionnement de piles à combustible par la méthode des plans d'expériences », thèse de doctorat, université de technologie de belfort Montbéliard et de l'université de Franche-Comté, 2006.
- [11] P. STEVENS, F. NOVEL-CATTIN, A. HAMMOU, C. LAMY, et M. CASSIR, « Piles à combustible », Ref : TIP301WEB - « Conversion de l'énergie électrique », 10-août-2000.
- [12] T. Akiki, « Modélisation de la dégradation de la production de puissance d'une pile à combustible suite aux sollicitations mécaniques », thèse de doctorat, Belfort-Montbéliard, 2011.
- [13] Amel LACHICHI."Modélisation et stabilité d'un régulateur hybride de courant : Application aux convertisseurs pour pile à combustible". Thèse de Doctorat (2005). Université de franche comté.
- [14] Site Internet: www.fuelcellknowledge.org
- [15] K. S. Agbli, "Modélisation multiphysique des flux énergétiques d'un Couplage Photovoltaïque - Electrolyseur PEM-Pile à Combustible PEM en vue d'une application stationnaire. To cite this version : HAL Id : tel-00767882," 2013.
- [16] B. E. Boya Bi, P. Gbaha, M. P. E. Koffi, and K. B. Koua, "Modélisation Des Composants D'un Système Hybride Panneaux Photovoltaïque – Stockage D'énergie Via L'hydrogène – Batteries," Eur. Sci. Journal, ESJ, vol. 14.