

Titre: Optimisation d'un système énergétique de production, stockage et d'utilisation d'hydrogène renouvelable pour la mobilité et le bâtiment

Encadrants : Elyes NEFZAOUI, Patrick POULICHET

Laboratoire : ESYCOM, ESIEE Paris.

Partenaire international : Energy Research Institute @NTU (eri@n)

Filière : Energie

Contexte:

Depuis quelques mois, les annonces de plans stratégiques de développement de la filière hydrogène se multiplient à travers le monde. La France a récemment présenté un plan d'investissement pour produire de l'hydrogène vert. L'hydrogène peut être vu comme une solution optimale pour la décarbonation du système énergétique. En effet, les sources d'énergie renouvelables produisent peu de gaz à effet de serre mais elles ne sont pas permanentes. Une conversion de l'électricité en hydrogène assure une réserve et permet d'assurer en quelque sorte le stockage de l'électricité. Le recours à l'hydrogène paraît incontournable dans cet objectif pour les principaux secteurs consommateurs d'énergie et émetteurs de gaz à effet de serre que sont le bâtiment, le transport et l'industrie. 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 a été mis en place en 2020. Ce banc sera utilisé et développé davantage dans le cadre du présent projet.

Objectifs:

Le banc expérimental mis en place en 2020 comprend aujourd'hui :

- 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 pour la production d'électricité,
- deux charges électronique pour simuler la consommation d'électricité correspondant à différents cas d'usage.

L'objectif à terme est d'utiliser des procédés renouvelables de production d'électricité (panneaux solaires photovoltaïques par exemple) pour l'alimentation de l'électrolyseur. Des moyens de stockage électrique (batteries, super-condensateurs) seront également employés pour garantir une production de l'hydrogène. Ainsi, diverses sources d'électricité donneront une flexibilité au système, au travers des moyens de stockage, lorsque la production d'hydrogène sera insuffisante.

Une fois le système complet intégré, il sera testé en simulant avec les charges électroniques différents types de demande électrique :

- demande caractéristique de systèmes de mobilité (recharge de véhicule électrique),
- demande caractéristique du secteur du bâtiment.

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

Un système de management de l'énergie, au travers d'un logiciel du type Labview par exemple, est également à mettre en place pour piloter le système de façon optimisée. Le fonctionnement de la pile à combustible ou des divers composants du banc de mesure sera également simulé avec un logiciel du type de Matlab par exemple.

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 trigénération zéro émission de dioxyde de carbone (CO₂) à base d'une pile à combustible 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. Les enjeux sont multiples :

- favoriser une filière entièrement décarbonée de production simultanée d'électricité, de chaleur et froid,
- cibler au mieux l'adéquation de la technologie selon le facteur d'échelle urbain grâce à l'analyse des courbes de charge et de consommation des bâtiments,
- réaliser des économies d'énergie en réduisant voire supprimant la consommation des énergies primaires fossiles,
- générer une performance énergétique accrue couplant le bâti et les énergies renouvelables.

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.