



PROJETS « PILES A COMBUSTIBLES » DANS LA HES-SO / HEIG-VD

APPLICATIONS A LA NAVIGATION

Rapport annuel 2007

Auteur et coauteurs	Affolter Jean-François
Institution mandatée	HES-SO / HEIG-VD / IESE (institut d'énergie & systèmes électriques)
Adresse	CP / 1401 Yverdon
Téléphone, e-mail, site Internet	+24 55 76 306, jean-francois.affolter@heig-vd.ch , http://iese.heig-vd.ch/
N° projet / n° contrat OFEN	projets OFEN 101520 et 102309
Responsable OFEN du projet	Gut Andreas
Durée prévue du projet (de - à)	2007 - 2008
Date	Décembre 2007

RÉSUMÉ

Depuis 1997 l'institut d'énergie et systèmes électriques de l'EIVD réalise des projets appliquant des piles à combustibles [1-6]. Ces projets sont appliqués principalement à la navigation.

Cette année 2007 fut une année de transition entre projets, avec la fin du projet « PacBat : limite des piles à combustibles dans la navigation », la fin du projet « PacBoat : Intégration d'une pile à combustible 300 W pour la motorisation électrique de petites embarcations », et le début du projet « H2Ports : hydrogène dans les ports ».

Le projet « PacBat : limite des piles à combustibles dans la navigation » a permis de dégager les avantages principaux des piles à combustibles, utilisées dans la navigation lacustre (silence, absence de vibrations, sans odeur, favorisant la protection des eaux) et ses limitations (principalement les problèmes dus aux carburants). Ce projet a fait l'objet d'une conférence et d'une publication [7].

Le projet « PacBoat : Intégration d'une pile à combustible 300 W pour la motorisation électrique de petites embarcations » a permis le développement d'une petite pile 300W, utilisable comme « range extender » sur les petits bateaux de pêches à motorisation électrique, ou comme « APU : auxiliary power unit » sur d'autres embarcations. Ce projet a fait l'objet de publications [8,9].

Le nouveau projet « H2Ports : hydrogène dans les ports » propose d'étudier les différentes possibilités de procurer de l'hydrogène dans les ports, à destination de la navigation. Des résultats plus complets sont attendus en fin d'année 08.

Ces projets ont donné lieu à de nombreuses conférences, articles, démonstrations et contacts avec les entreprises. Au niveau enseignement, le sujet des piles à combustibles a fourni, comme chaque année, matière à plusieurs diplômes.

Buts des projets

Les projets réalisés à la HES-SO / EIVD / IESE visent les objectifs suivants :

- **Tester les piles à combustibles dans des conditions d'utilisation réelles**, qui diffèrent des conditions de laboratoires. Il est encore nécessaire de **trouver des solutions** aux **problèmes pratiques** rencontrés lors de l'application en fonctionnement pratique et perfectionner ce produit émergent.
- Offrir aux **étudiants** une **formation** sur un produit **de pointe**. Les étudiants d'aujourd'hui sont les **décideurs de demain**. La pile à combustible est un produit dont la maturité est attendue d'ici quelques années (niveau commercial). D'avoir été formé sur cette technologie permettra un choix éclairé aux décideurs de demain qui devront résoudre nos problèmes énergétiques futurs. Un transfert technologique s'opère aussi par ce biais dans les entreprises, lors d'engagement d'ingénieurs ayant travaillé sur cette technique.
- Travailler en collaboration avec instituts de recherche fondamentale, donner un feed-back aux développeurs et permettre la mise en valeur de leur développements au moyen de projets de **d'essai et démonstrations**. Cette relation doit permettre l'amélioration des systèmes développée par lesdits instituts, ainsi que de proposer à un large public les résultats de leurs recherches.
- Offrir un **soutien aux entreprises** qui envisagent des développements dans ce domaine. Le transfert technologique réalisé par le biais de projets avec les entreprises favorise ce but. La pile à combustible et les technologies qui l'entourent sont parfaitement adaptées aux performances et technologies maîtrisées par les PME Suisses. Par exemple, l'entreprise *MW-Line* maîtrise désormais la fabrication de bateaux mus par piles à combustibles.
- **Promouvoir cette technologie** novatrice en touchant un large public. Le grand public finance la recherche au moyen des impôts. Les projets démonstrations offrent un feed-back au contribuable et permettent de convaincre le public ainsi que le pouvoir politique d'encourager la recherche de nouvelles solutions, en démontrant que la recherche fondamentale atteint des objectifs réalisés.
- Offrir **de nouvelles places de travail** en Suisse. L'emploi industriel est en récession dans les pays occidentaux. Il s'agit de développer de nouvelles technologies, permettant de maintenir les emplois. La pile à combustible et les technologies qui l'entourent sont parfaitement adaptées aux PME Suisses. Les objectifs mentionnés ci-dessus se conjuguent pour favoriser cet objectif.
- Favoriser une **utilisation rationnelle de l'énergie, la protection des eaux et de l'air**. Avec une efficacité environ deux fois meilleure que les moteurs à combustion à essence utilisés aujourd'hui dans la navigation, la pile à combustible offre de meilleures performances, même avec une énergie primaire basée sur du non-renouvelable. La plus faible puissance nécessaire offrent cependant des perspectives plus réalistes pour la fourniture de **combustible renouvelable** ; par exemple, 5 à 10 m² de panneaux solaires photovoltaïques suffisent à produire l'hydrogène nécessaire au fonctionnement annuel du bateau Hydroxy3000. **L'absence d'essence à bord des embarcations exclut toute pollution des eaux** et évite la pollution de l'air (dans l'utilisation). Cette technologie limite fortement le bruit, nouvelle forme de pollution de moins en moins acceptée.

Travaux effectués et résultats acquis

Bateau Hydroxy3000 (OFEN 43692):

Mis à l'eau en décembre 2003, le bateau a effectué sa quatrième année d'exploitation. La pile de 3 kW a subi plus de 1000 démarrages et plus de mille deux cent heures de fonctionnement. On note encore un bon fonctionnement général du système. Il serait toutefois intéressant de mesurer les performances de la pile sur banc d'essai, pour évaluer son vieillissement.



Fig. 1 : Bateau Hydroxy3000

Possibilités et limites des piles à combustibles dans la navigation (OFEN 100418):

Ce projet, terminé en 2006, a fait l'objet d'une publication en 2007 [7]. L'objectif du projet était d'évaluer le potentiel des piles à combustibles dans la navigation lacustre au moyen d'études de cas, de la petite embarcation de pêcheur au gros bateau de passager, en passant par le bateau de plaisance familial. Les résultats principaux sont les suivants :

- Avantages : liés au confort de l'utilisateur (silence, absence de vibrations, d'odeur) et sur le plan environnemental (protection de l'air et des eaux, absence de nuisances sonores).
- Inconvénients : liés au carburant. La première difficulté est l'autonomie ; si pour les petites embarcations une solution avec de l'hydrogène est réaliste, ce n'est plus le cas pour des embarcations dépassant une centaine de passagers. Pour de gros bateaux, une solution avec reformage de carburant liquide est nécessaire. Le type de carburant nécessaire à cette opération modérant les avantages environnementaux cités ci-dessus. L'élaboration de certains carburants n'est pas gratuite énergétiquement et leur accès au port est encore inexistant, empêchant la commercialisation de bateaux à piles à combustibles.

Intégration d'une pile À combustible 300 W pour la motorisation électrique de petites embarcations (OFEN 101520)

Ce projet, terminé en 2007, a fait l'objet de publications en 2007 [8,9], ainsi que d'une conférence lors du congrès EVER07 à Monaco. Ce développement a permis la réalisation d'un système PEM d'une puissance de 300 W, basé sur un stack de l'entreprise HorizonFC et d'une motorisation électrique pour bateaux de l'entreprise MinneKota.

L'aspect coût devient intéressant avec un projet de ce type ; en effet, le dimensionnement pour un cycle de pêche permet de considérer une puissance de pile à combustible d'environ un cinquième de la puissance de motorisation, avec l'utilisation d'une batterie tampon. Dans ce cas, la puissance de 300 W est suffisante et le coût du système devrait atteindre le seuil commercial d'intérêt (env. 1'000.- à 1'500.- sfr) avec une production de série.

Ce prototype atteint un rendement de 40-45% dans les conditions d'utilisation. Son comportement est adéquat et ne pose pas de problème pour des cycles de pêches, ni avec d'autres motorisations que celles fournies pour le projet. Une utilisation comme APU (Auxiliary Power Unit) et comme chargeur de batteries pour des endroits inaccessibles au réseau électrique est aussi possible sans modifications.



Figure 2 : bateau Piccolo et motorisation Jonson - MinneKota

Hydrogène dans les ports (OFEN 102309)

Un des freins majeurs actuels à une commercialisation de bateaux à piles à combustibles est l'absence d'un accès facile à l'hydrogène, ainsi que sa fabrication, actuellement basée à 96% sur les énergies non renouvelables. Ces éléments ont été explicités lors des études antérieures. L'intention est aujourd'hui d'examiner la possibilité de réaliser une telle installation dans les ports, de la dimensionner, de réaliser un petit prototype et de préparer un projet pilote et de démonstration grandeur réelle.

A cet effet, ce nouveau projet a été lancé fin octobre 2007 et des résultats sont envisagés pour fin 2008. L'objectif est une première phase d'étude, permettant de dimensionner un système et d'évaluer son coût. Sur cette base, des objectifs ultérieurs de réalisation seront définis pour une réalisation concrète si les conditions s'y prêtent.

Autres projets et activités concernant les piles à combustibles à la HEIG-VD

Présentations sur les piles à combustibles (sur les projets ou en général) ; Ces activités montrent l'intérêt que suscitent ces projets et notre volonté d'information, tout aussi bien auprès du grand public que du milieu professionnel.

- conférence lors du congrès EVER07 à Monaco « *Compact hydrogen fuel cell solution for recreational fishing boats* », avril 07
- Elaboration de banc de test et évaluation d'auxiliaires pour piles à combustibles de type SOFC (collaboration avec l'entreprise HTceramix)
- Démonstration de l'Hydroxy3000 lors des journées de la mobilité, Neuchâtel 26 et 27 avril
- Conférence publique donnée dans le cadre de l'exposition Energissima : « à quand la voiture à pile à combustible ? », 16 juin à Bulle
- Exposition des bateaux Hydroxy300 et Hydroxy3000 lors de l'exposition Energissima à Bulle, 14-17 juin
- Alimentation des ordinateurs permettant l'envoi d'éco-mails au moyen de la pile à combustible 300 W lors du festival de la terre à Lausanne, 21-25 juin
- Participation aux « European FC review days », Bruxelles, 9-10 octobre
- Présentation à l' « HFC impulse day », 30 novembre, Villigen

Travaux d'étudiants; Des expérimentations sont régulièrement effectuées dans le cadre des laboratoires de physique ainsi que d'énergie électrique. Plusieurs travaux de diplômes ont été réalisés sur le sujet :

- N. Gaillard : Pile à combustible pour PlanetSolar
- A. Reymond : Village écologique pour PlanetSolar

- T Huszar : Etude des possibilités de bateaux hybrides à piles à combustibles

Collaboration nationale

- *Collaborations avec les institutions de recherche* : PSI, EMPA, HTA-Biel, HES-SO/HEVs Sion, HES-SO/ARC, EPFL, Hydropôle.
- *Collaborations avec l'économie privée* : CGN, MW-Line, service de l'énergie Neuchâtel, Romande Energie, Groupe-E, Enegissima, HTCeramix

Les partenaires de recherche et industriels avec participations financières ou en matériel pour les projets concernant les bateaux à piles à combustibles sont les suivantes :

- Office Fédéral de l'Energie – Cofinancement (Resp. Dr. A. Gut)
- Groupe-E – Cofinancement
- HES-SO/RCSO-TE/Réserve stratégique – Cofinancement
- HES-SO/Le Locle – étude compression (Prof. T. Robert)

Collaboration internationale

Les collaborations avec les entités suivantes ont été actives cette année :

- Participation aux journées « European FC review days », les 9 et 10 octobre à Bruxelles
- Université de Turin (Italie) ; Préparation d'un projet concernant la co-génération par piles à combustibles et le réglage du réseau.
- Participation à la préparation du projet européen COMPCRAFT « Competitive Manufacture and Operation of Sustainable Recreational Craft » (Resp. R. Birmingham, Newcastle Univ. UK) ; projet MapEESB/CompCraft (SST.2007.5.1.2), en attente de décision.
- Participation des entreprises Johnson/MinnKota (USA) et Horizon Fuel Cells (Singapour) au projet PacBoat.

Évaluation de l'année 2007 et perspectives pour 2008

L'évolution des projets concernant les applications des piles à combustibles dans la navigation peuvent être résumés par la figure ci-dessous :

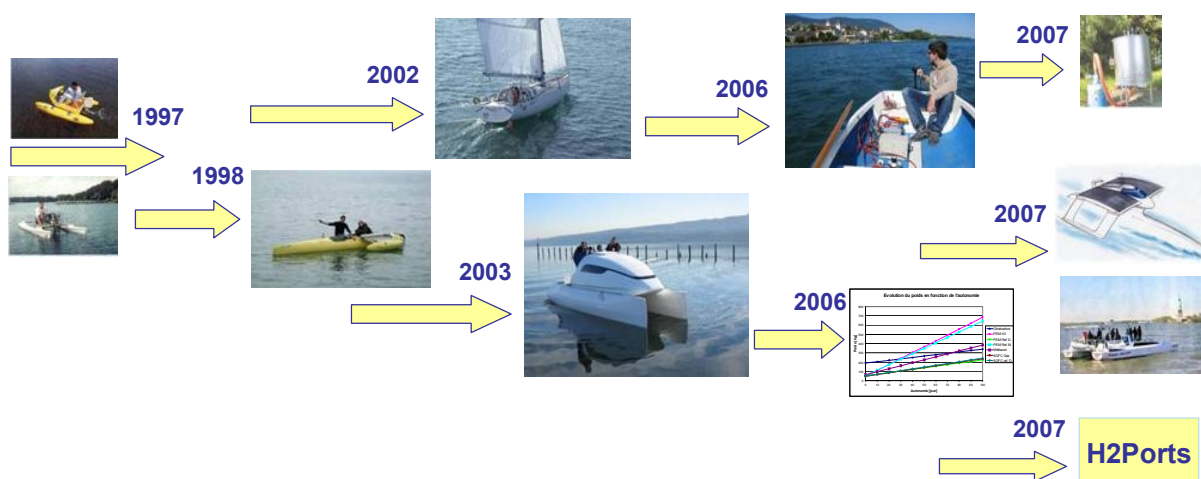


Figure 3 : évolution des projets à la HEIG-VD

Depuis les premières « funny » applications, la première traversée de l'Atlantique avec une pile comme APU sur un voilier de course, un bateau hybride solaire/hydrogène (Hydroxy300), le bateau de plaisance Hydroxy3000 (7 passagers), les développements ont été focalisés sur des petites unités de type PEM (HorizonFC) ou SOFC (HTceramix) en vue de systèmes plus facilement commercialisables en raison des coûts actuels et de l'accès à l'hydrogène probablement plus facile pour des petites quantités, pour l'instant. Ces bases ont permis la mise sur pieds de nouveaux projets, comme par

exemple PlanetSolar [10], bateau solaire et à pile à combustible, destiné à faire le tour du monde. Le dimensionnement du système pile à combustible ainsi que le routage solaire sont actuellement à l'étude dans notre institut.

En résumé, nous pouvons dire que les succès résultent des développements intégrant les piles dans des applications pratiques, des démonstrations et de l'intégration des projets dans l'enseignement. Les freins aux développements proviennent de l'absence de perspectives commerciales des produits basés sur les piles à combustibles (de type PEM) par manque d'accès de la clientèle à l'hydrogène. On remarque par exemple un bon succès commercial des piles au méthanol, qui toutefois fonctionnent avec un rendement (mesuré dans nos laboratoires) bien inférieur aux piles de type PEM. Ce succès s'explique par l'accès et la gestion plus facile d'un carburant liquide.

C'est pourquoi nous proposons d'étudier cette problématique et, à l'aide des partenaires qualifiés, de proposer une solution pour l'accès à l'hydrogène dans les ports. Le projet H2Ports doit permettre d'apporter des réponses vers la fin de l'année 2008.

Concernant les études, nous poursuivons les travaux de routage solaire et de dimensionnement de la pile à combustible pour le bateau PlanetSolar.

Côté réalisation, nous souhaitons tester la pile de 3 kW (développement PSI) utilisée depuis 5 ans dans les laboratoires et dans le bateau Hydroxy3000, afin d'avoir une meilleure idée de son vieillissement. Un budget est en cours d'élaboration pour cette opération, qui se réaliserait en collaboration avec l'école d'ingénieurs de Bienne.

Puis, suite à certaines demandes et du marché, nous pensons entamer un transfert technologique pour la réalisation de bateaux hybrides solaires/hydrogène avec une entreprise du domaine de la navigation. De même pour les entreprises intéressées par les systèmes piles à combustibles, quelques soient les applications.

Bien entendu, des démonstrations, conférences, la veille technologique ainsi que des travaux de laboratoires et de diplômes continueront à être réalisés sur le sujet.



Figure 4 : démonstrations, semaine de la mobilité 07 (Neuchâtel)

Références

- [1] JF Affolter, Ph Léchaire, P Mariotti, « **Projet pilote d'un bateau mû par pile à combustible de 2 kW, pré-étude** », rapport HES-SO, novembre 00
- [2] JF Affolter, A Gianinazzi, Y Leuppi « **Hydroxy3000, third generation FC boat**», European Fuel Cells Forum, Lucerne, 2004
- [3] J.-F. Affolter, B. Dakyo, P. Reghem, C. Neveu « **Une pile à combustible sur la route du Rhum** » Rapport final, mars 03
- [4] F. Buchi, JF Affolter &Al, « **PEFC stacks, systems and applications** », Chimia 2004 Vol.58 p869
- [5] JF Affolter, A. Gianinazzi, Y. Leuppi “**Recent FC Boat Developments in Switzerland**”, EVS21, Monaco, avril 2005
- [6] C Badan, JF Affolter « **Danger of damages in electric Fuel Cell boats due to lightning strokes** », Poster paper, AES 2005, Paris
- [7] Jean-François Affolter, Mauro Carpita, François Gaille, Silvia Schintke “**Des piles à combustible dans la navigation**”, Bulletin Electrosuisse, 1/2007 p.31
- [8] Jean-François Affolter, Taras Wankewicz, Jeff Davison « **Compact hydrogen fuel cell solution for recreational fishing boats** », EVER07, Monaco, avril 07
- [9] Jean-François Affolter, Mauro Carpita, Olivier Garcia “**Electronique de puissance pour piles à combustible**”, Bulletin Electrosuisse, 5/2007 p.19
- [10] www.planetsolar.org

Internet : <http://iese.heig-vd.ch/Projets/Hydroxy/hydroxy.html>