

Présentation des projets financés au titre de l'édition 2008 du
Programme Plan d'action national sur l'hydrogène
et les piles à combustible

ACRONYME et titre du projet	Page
AIRELLES-1 - AMEs Innovants pour l'ElectroLyse PEM haute pression couplée aux Energies renouvelables	3
ARTEMIS - Action de Réduction du Temps de démarrage et d'optimisation des systèmes de puissance à pile à combustible pour le Secours électrique	4
CATIMINHY - Couches Actives développées par des Technologies d'IMpression HYbrides	5
CONDOR - Pile à Céramique conductrice protonique: Développement, Optimisation et Réalisation d'un stack PCFC fonctionnant aux températures intermédiaires (400-600°C)	6
CYRANO-1 - Canalisations hydrogène pour Réserve tampon d'énergie renouvelable-1	7
DIMITRHY - Données et Instrumentation de la Mitigation du Risque Hydrogène pour des applications grand public des systèmes pile à combustible	8
ENDEMAT - Endommagement des Matériaux constitutifs des réservoirs de stockage gazeux de type IV	9
ENZHYd - Enzymes et catalyseurs organométalliques dans les piles à hydrogène	10
ICARE - InterConnecteurs en Alliage Revêtu pour l'électrolyse de la vapeur d'eau à haute température	11
ICARE-CSP - Investigations, Caractérisation et Développement de Compresseurs pour Systèmes PAC de Puissance supérieure à 10 kW	12
METALICA - Cartouches polymères à base d'hydrures métalliques bas coût pour piles à combustible portables	13

OXYGENE - Contrôle de l'OXYdation des anodes d'une pile SOFC au sein d'une chaudière électroGENE	14
MODERNHY-T - Modèle et Outil pour le Dimensionnement et l'Évaluation de Réservoirs iNnovants à HYdrures pour les Transports	15
MAFALDA - Etudes expérimentales et par modélisation pour comprendre la dégradation des couches actives des piles à combustible de type PEM	16

Programme Plan d'Action National sur l'Hydrogène
et les piles à combustible

Edition 2008

Titre du projet

**AIRELLES-1 - AMEs Innovants pour l'ElectroLyse PEM haute
pression couplée aux Energies renouvelables**

Résumé

Le projet AIRELLES propose des actions de recherches fondamentale et technologique sur les Assemblages Membrane Electrodes (AMEs) pour électrolyse PEM. L'objectif majeur des travaux proposés dans ce projet est de diminuer le coût de l'hydrogène en particulier pour des applications de couplage aux énergies renouvelables.

Afin d'atteindre cet objectif, il est nécessaire :

- d'augmenter conjointement le rendement et la densité de courant des électrolyseurs PEM actuels;
- de permettre un fonctionnement à des pressions supérieures à 50 barg sans compresseur ;
- d'améliorer la durabilité et d'analyser les phénomènes intervenant dans la dégradation des performances de l'électrolyseur et leur évolution sur la longue durée, en particulier dans le cas de couplage aux énergies renouvelables.

Ce projet propose donc de développer et de tester en longue durée et à différentes échelles des catalyseurs, des membranes et des AMEs innovants selon un protocole permettant de simuler le fonctionnement intermittent lié à une utilisation de l'électrolyseur couplé à des énergies renouvelables.

L'originalité du positionnement de ce projet réside en premier lieu dans les voies scientifiques innovantes proposées dans la recherche de catalyseurs, de membranes et de réalisation d'AME pour électrolyseur PEM.

Par ailleurs, ce projet propose de tester un grand nombre d'options et de combinaisons d'AMEs à l'échelle 25 cm²

Enfin, ce projet propose d'analyser et de mieux comprendre les phénomènes de dégradation d'AMEs pour électrolyseur PEM. Ce point particulier n'a fait l'objet que de très rares études scientifiques en particulier dans une perspective de fonctionnement couplé aux énergies renouvelables.

Ce projet se propose également d'atteindre des niveaux de rendement et de densité de courant supérieurs à ceux atteints dans les projets français et internationaux.

Il propose également des actions de R&D novatrices visant à résoudre la limitation mise en évidence par HELION dans le projet DEPEM HP en matière de perméabilité des gaz à travers la membrane. Ceci devrait permettre d'atteindre des pressions de fonctionnement plus élevées et ainsi autant que possible de s'affranchir de l'utilisation d'un compresseur en aval du stack d'électrolyse PEM.

Enfin, le projet propose de développer un modèle fréquentiel de l'électrolyseur PEM sur la base de mesures de spectroscopie d'impédance. Les modèles fréquentiels sont en effet assez peu décrits dans la littérature pour l'application électrolyse PEM. Cette étape de modélisation constitue une première étape vers une démarche de diagnostic et de pronostic telle que celle proposée pour les piles à combustible.

Partenaires

HELION (partenaire coordinateur)
CEA - LITEN
INPT - LAPLACE
CNRS - LACCO

Coordinateur

M Christophe BIDAULT - HELION
christophe.bidault@helion-fuelcells.com

Aide de l'ANR

673 809 €

Début et durée

Décembre 2008 - 30 mois

Référence

ANR-08-PANH-001

Programme Plan d'Action National sur l'Hydrogène
et les piles à combustible

Edition 2008

Titre du projet **ARTEMIS - Action de Réduction du Temps de dEmarrage et
d'optiMisation des systèmes de puissance à pile à
combustible pour le Secours électrique**

Résumé A partir des travaux et des systèmes précédemment réalisés (systèmes de 5 à 30 kWe dont le système en exploitation au CEA Saclay depuis fin 2006), HELION propose une solution innovante de système de secours électrique à base de pile à combustible. Utilisant un procédé propriétaire, cette solution répond positivement aux inconvénients apportés par les systèmes actuels (autonomie, pollution, niveau sonore, fiabilité, etc...). Le retour d'expérience du système de 30 kWe en fonctionnement au CEA Saclay est globalement positif. Cependant, des points d'amélioration ont été notés. Il faudrait, d'une part, réduire la quantité, encore notable, de batteries nécessaires lors de la phase de démarrage du système ou lors des appels de puissance, et d'autre part, améliorer la durabilité du système dans des conditions particulières de fonctionnement (démarrage à basse température ou fonctionnement à basse puissance). ARTEMIS entre dans le cadre de l'industrialisation de ces groupes de secours et a pour objectif de répondre favorablement à ces deux aspects.

Ce projet permettra de poursuivre les développements pour aboutir à d'importantes innovations scientifiques et techniques en terme de réduction de la durée de démarrage et de durabilité, notamment dans des conditions de fonctionnement particulières. Pour ce faire, le projet comprend 4 tâches. La tâche 1 permettra de définir la stratégie optimale d'arrêt et de veille sous gaz réactifs afin de réduire notablement cette durée de démarrage (d'une trentaine de seconde actuellement, cette durée de démarrage pourrait in fine être proche de la seconde) sans dégradation, due au vieillissement, des AME (ceci permettra de réduire la quantité de batteries nécessaires, ayant de fait un impact sur la structure porteuse et le coût du système). La deuxième tâche du projet consiste à étudier, de façon approfondie, les conditions de fonctionnement particulières (prise de charge rapide, fonctionnement à basse puissance et démarrage à basse température) afin de mettre en place des solutions pour éviter une dégradation accélérée des AME dans ces situations.

La tâche 3 est dédiée spécifiquement à l'étude du vieillissement des AME afin d'en comprendre et maîtriser les mécanismes pour aider à l'obtention des solutions objectives des tâches précédentes. En tâche 4, un modèle de coeur de pile, traitant les configurations instationnaires, sera développé pour aider aux études théoriques menées dans les tâches 1 et 2 pour la compréhension des phénomènes mis en jeu.

Partenaires HELION (partenaire coordinateur)
Institut National Polytechnique de Lorraine - LEMTA
Institut Polytechnique de Grenoble - LEPMI
CEA - LITEN

Coordinateur M Thierry GENESTON - HELION
thierry.geneston@helion-fuelcells.com

Aide de l'ANR 684 670 €

Début et durée Décembre 2008 - 28 mois

Référence ANR-08-PANH-002

Programme Plan d'Action National sur l'Hydrogène et les piles à combustible

Edition 2008

Titre du projet

CATIMINHY - Couches Actives développées par des Technologies d'IMpressIoN HYbrides

Résumé

L'innovation dans les composants de piles à combustible de type PEMFC est limité par l'usage prépondérant de quelques technologies de fabrication traditionnelle. De plus, une demande de plus en forte se fait sentir au niveau de la réduction de la quantité des matériaux, et notamment du platine dont le coût ne cesse d'augmenter. Le projet CATIMINHY qui consiste en la réalisation de couches actives par des technologies d'impression hybrides, propose une rupture technologique. Il s'agit de réaliser un AME (Assemblage Membrane Electrode) 5 couches à partir de procédés issus de l'imprimerie, en essayant d'empiler le plus de composants possible, sans assemblage à chaud. Par l'amélioration des interfaces, la réduction des résistances de contact, l'amincissement des composants, ce concept apportera des gains en performances et une optimisation de la quantité de platine. Cette rupture sera rendue possible par l'exploration de procédés innovants de dépôts, basés sur des techniques utilisées dans d'autres secteurs comme l'imprimerie.

Ces procédés, permettant une production automatisée par "batch", pourront être valorisés à court terme par la réalisation d'une ligne pilote pour la fabrication d'AME conventionnels de type CCM (Catalyst Coated Membrane).

Partenaires

CEA - LITEN (partenaire coordinateur)
INPG - LGP2
SILIFLOW
Université Joseph Fourier - LEGI
PAXITECH
RHODIA
CNRS - CFL

Coordinateur

Mme Christine NAYOZE - CEA / LITEN
christine.nayoze@cea.fr

Aide de l'ANR

1 541 563 €

Début et durée

Décembre 2008 - 36 mois

Référence

ANR-08-PANH-003

Programme Plan d'Action National sur l'Hydrogène
et les piles à combustible

Edition 2008

Titre du projet

**CONDOR - Pile à Céramique cONDductrice protonique:
Développement, Optimisation et Réalisation d'un stack PCFC
fonctionnant aux températures intermédiaires (400-600°C)**

Résumé

Ce projet s'inscrit dans le cadre d'un développement à l'échelle semi pilote de matériaux céramiques et d'une cellule pour cœur de pile à combustible PCFC (Proton Ceramic Fuel Cell) fonctionnant dans la gamme de température 400-600°C. L'enjeu est de s'affranchir à la fois des inconvénients de la filière basse température PEMFC et haute température SOFC :

- Une température de fonctionnement inférieure à celle des SOFC permettra l'emploi de matériaux moins coûteux (interconnecteurs commerciaux, joints d'étanchéité) et une meilleure résistance au cyclage thermique.
- Une température de fonctionnement supérieure à celle des PEMFC permettra de s'affranchir des problèmes de gestion de l'eau et de tolérance des électrodes au monoxyde de carbone, d'atteindre des cinétiques de réaction plus élevées et d'accéder à une meilleure utilisation de chaleur dégagée.

En alliant les avantages des deux technologies SOFC et PEMFC, la technologie PCFC apporterait des solutions en accord avec le cahier des charges industriel. Une première phase de recherche dans le cadre du projet ANR2005 TECTONIC (coordination: EDF) a permis de révéler d'une part la faisabilité de la technologie et, d'autre part, l'intérêt scientifique dans l'emploi de tels matériaux en cellule complète PCFC opérant dans une gamme de température encore peu visitée (400-600°C). En effet, les travaux ont permis d'élaborer et de tester sur une longue durée une cellule complète PCFC de surface 5 cm² comportant des matériaux perovskites avancés aux performances électriques prometteuses (conductivité >10 mS à 500°C).

Désormais, cette deuxième phase a pour objectif majeur la réalisation d'un stack PCFC de puissance électrique de l'ordre de 20W et sa validation sous des conditions opératoires applicables en microcogénération.

Pour cela, l'accent sera mis sur l'optimisation des propriétés électriques et physico-chimiques des matériaux oxydes utilisés et des interfaces. Une étude approfondie des cellules de base puis des cellules plus avancées sera réalisée sous modes dynamique et stationnaire. L'objectif étant d'atteindre des performances comparables à celles obtenues à la fois dans les technologies PEMFC et SOFC (0,6 V @1A/cm²). L'enjeu de ce projet sera de promouvoir cette technologie comme un système alternatif aux technologies conventionnelles que sont les piles à oxyde solide et les piles à membrane. Pour ce faire, une étude technico-économique et une analyse de cycle de vie permettra d'évaluer cette technologie en terme de coûts et d'impacts sur l'environnement.

Partenaires

EDF (partenaire coordinateur)
CNRS - ICMCB
MTECH
CTI
CNRS - AIME
CNRS - IMN
INPG - LEPMI

Coordinateur

M Mathieu Marrony - EDF
mmarrony@eifer.org

Aide de l'ANR

1 215 149 €

Début et durée

Décembre 2008 - 36 mois

Référence

ANR-08-PANH-004

Programme Plan d'Action National sur l'Hydrogène
et les piles à combustible

Edition 2008

Titre du projet **CYRANO-1 - Canalisations hYdrogène pour Réserve
tAmpon d'éNergie renOUvelable-1**

Résumé

Les énergies renouvelables (ENR) produisent l'énergie électrique de manière intermittente en fonction des conditions climatiques. Ces moyens de production ne sont pas toujours en phase avec les pointes de demandes en énergie. Le couplage de ces moyens de production avec un réservoir tampon d'énergie permettrait de pallier cette déficience. Le projet CYRANO-1 s'intéresse à la production éolienne d'électricité associée à un stockage d'énergie sous forme d'hydrogène gazeux pressurisé dans une canalisation qui assure aussi la fonction de transport d'énergie. La production électrique éolienne est convertie en hydrogène qui est compressé et stocké dans un gazoduc. Le gazoduc alimente une pile à combustible qui renforce la distribution électrique en période de pointe lorsque la production éolienne est insuffisante. Le système "éolien-gazoduc hydrogène-PAC", sera dimensionné pour une population de 500.000 habitants, soit environ la population d'une île (Réunion, Guadeloupe, ...) ou d'un département français.

Ce projet est une analyse technico-économique, réglementaire et sécuritaire d'un réseau intégré "Eolien-électrolyseur-gazoduc sous pression hydrogène-PAC" pour garantir en période de pointe de demande la fourniture électrique complémentaire provenant de sources renouvelables pour une population de 500.000 habitants. Il apportera un éclairage quantitatif sur les plages de fonctionnement de ce système intégré "CYRANO-1" pour garantir l'approvisionnement électrique à une population de 500.000 habitants pendant leur forte période de demande. Ces résultats et l'approche de cette étude seront exploitables pour d'autres dimensionnements de population et utilisables pour des transpositions à d'autres ENR tel que le photovoltaïque, ou d'autres natures de réservoirs tampon (volant d'inertie, air comprimé,...).des solutions de dimensionnement de ce système intégré.

Partenaires

GDF SUEZ (partenaire coordinateur)
INERIS
CEA - LITEN
HELION

Coordinateur

M Rémi BATISSE - GDF SUEZ
remi.batisse@gdfsuez.com

Aide de l'ANR

271 124 €

Début et durée

Décembre 2008 - 30 mois

Référence

ANR-08-PANH-005

Programme Plan d'Action National sur l'Hydrogène et les piles à combustible

Edition 2008

Titre du projet **DIMITRHY - Données et Instrumentation de la MITigation du Risque HYdrogène pour des applications grand public des systèmes pile à combustible**

Résumé

Fort du constat du manque de données expérimentales sur lesquelles les industriels, les organismes de normalisation et les centres de recherches pilotant des expertises pourraient s'appuyer pour évaluer à un juste niveau les risques des systèmes hydrogène et ainsi proposer des recommandations pour en assurer la maîtrise du risque et la limitation de ses effets. L'ambition du projet DIMITRHY (Données et Instrumentation de la MITigation du Risque HYdrogène pour des applications grand public des systèmes pile à combustible) est de poursuivre l'effort engagé sur cet axe transversal à la filière hydrogène vecteur d'énergie qu'est la sécurité, en établissant des données de référence sur les moyens de réduire le risque et les conséquences d'une fuite d'hydrogène par mitigation des ATEX et des explosion, pour les applications des systèmes pile à combustible en vue d'un déploiement dans un domaine moins industriel et visant des applications grand public.

Ce projet se positionne dans le prolongement du projet DRIVE (PANH 2005) (Données expérimentales pour l'évaluation des RISques hydrogène, la Validation d'outils numériques et l'Edition de référentiels) qui s'intéresse à la chaîne accidentelle allant de la fuite d'hydrogène à l'explosion. Le projet DIMITRHY se propose d'aller plus avant sur la maîtrise du risque hydrogène et en produisant des données sur la mitigation de ce risque et des ses effets. Le programme de travail s'articulera autour de 3 tâches techniques :

- la mitigation d'une atmosphère explosive (réduire le risque potentiel d'explosion) par ventilation forcée, naturelle et par adaptation géométrique des enveloppes systèmes,
- la mitigation des explosions (réduire les effets) en apportant des améliorations sur la compréhension des principaux mécanismes de propagation de la flamme en tenant compte des spécificités de l'atmosphère explosive générée et de son confinement. Apporter des données pour les règles de dimensionnement des événements qui ne sont pas adaptées à l'hydrogène.

L'approche système constituera le point d'entrée du projet et son point de sortie. En premier lieu, une approche descriptive des systèmes que ceux-ci soient stationnaires (AIR LIQUIDE & HELION) ou mobiles (PSA PEUGEOT CITROËN, automobile, AIR LIQUIDE, petits véhicules spéciaux) sera faite pour définir les paramètres géométriques des systèmes, les scénarii de rejets et leur environnement. De cette approche des configurations géométriques et des scénarii génériques seront établis pour les tâches expérimentales sur la mitigation des ATEX et des explosions. Et en fin de projet, l'objectif sera de tirer les enseignements en termes de recommandation de conception, d'installation et d'utilisation des systèmes PAC stationnaires et mobiles. Une édition de guides de bonnes pratiques sera l'objectif final de ce projet. Notre démarche s'appuiera sur les approches complémentaires, expérimentales et numériques, ainsi que sur l'expérience de l'ensemble de partenaires sur cette thématique.

Les résultats du projet DIMITRHY devront permettre de combler en partie ce manque de données pour une prise en compte optimisée du risque hydrogène pour le développement et l'implantation de ces systèmes par les industriels AIR LIQUIDE (AXANE) HELION et PSA PEUGEOT CITROËN, pour les expertises de ce risque réalisées par des organismes de recherches industrielles comme le CEA et l'INERIS et pour servir de base à une future évolution des réglementations au service de l'ensemble des acteurs du domaines dans un premier temps au niveau français, on considérera ici une contribution pré-normative.

Partenaires

CEA (partenaire coordinateur)
AIR LIQUIDE
HELION
INERIS
CNRS - IRPHE
PCA SA

Coordinateur

Mme Isabelle TKATSCHENKO - CEA
isabelle.tkatschenko@cea.fr

Aide de l'ANR

1 034 957 €

Début et durée

Décembre 2008 - 36 mois

Référence

ANR-08-PANH-006

Programme Plan d'Action National sur l'Hydrogène
et les piles à combustible

Edition 2008

Titre du projet

**ENDEMAT - ENDommagement DEs MATériaux constitutifs des
réservoirs de stockage gazeux de type IV**

Résumé

Actuellement la conception, la fabrication, la qualification et l'exploitation des réservoirs composites pour le stockage de gaz comprimé sont principalement réalisées selon des méthodes empiriques basées sur le retour d'expérience du gaz naturel (GN), des appareils respiratoires, de la défense et de l'aéronautique (avec des pressions de service pour la très grande majorité ≤ 300 bar).

En outre, la superposition de plusieurs coefficients ou marges de sécurité lors de la conception ou de l'élaboration de réservoirs à très haute pression, le manque de consensus et de recherche sur une procédure de qualification et/ou de ré-épreuve adaptée aux réservoirs composites (tests de timbrage, inspections visuelles et contrôles en ligne de fabrication, tests binaires de qualification et de requalification, utilisation rudimentaire d'émission acoustique...) sont autant de facteurs qui témoignent des lacunes de connaissances relatives à l'endommagement et à la durabilité des matériaux constitutifs des réservoirs composites.

Ce manque de connaissance peut constituer un frein notable au développement des réservoirs composites pour le stockage gazeux sous pression et notamment pour l'hydrogène à 700 bar. Du fait de la haute pression et de la nature du gaz, un réservoir mal dimensionné peut avoir des conséquences importantes sur la sûreté, la fiabilité, les performances, le coût et donc sur l'acceptabilité sociale à court et long terme de ces systèmes. L'étude de trois composants est a minima nécessaire :

- le polymère constitutif du liner interne (polyamide -thermoplastique- ou polyuréthane -thermodurcissable-)
- l'assemblage liner-embase (adhésion métal-polymère impliquant ou non un primaire d'adhérence)
- le composite et notamment sa matrice polymère et les interfaces fibres de renfort-matrice.

En conséquence, le projet présenté est particulièrement original puisque, contrairement à tous les projets passés ou en cours traitant de nouveaux matériaux ou nouveaux concepts, ce dernier vise à étudier les mécanismes et processus d'endommagement spécifiques de ces différents constituants des réservoirs et à déterminer leur durabilité en conditions normales de service (hors accident/incident) dans le but de rétroagir sur les technologies et outils de conception, d'élaboration, de caractérisation voir de qualification des réservoirs. Ce projet se basera sur une part de recherche fondamentale et expérimentale importante focalisée sur des matériaux faisant référence au niveau national, international et industriel pour l'hydrogène (PA-6, composite carbone-résine) et sur des matériaux en fin de développement et à fort potentiel (PUR).

Les travaux menés et efforts consentis par le consortium permettront de développer et mutualiser les compétences et connaissances pour répondre aussi bien aux contraintes et problématiques de l'embarqué, du transportable que du stationnaire pour l'hydrogène mais avec des retombées plus que probables pour d'autres gaz industriels dont notamment le gaz naturel (CH4).

Partenaires

CEA (partenaire coordinateur)
ARMINES - CDM
SERAM
AIR LIQUIDE
RAIGI

Coordinateur

M Fabien NONY - CEA
fabien.nony@cea.fr

Aide de l'ANR

1 089 529 €

Début et durée

Décembre 2008 - 36 mois

Référence

ANR-08-PANH-007

Programme Plan d'Action National sur l'Hydrogène et les piles à combustible

Edition 2008

Titre du projet **ENZHYd - Enzymes et catalyseurs organométalliques dans les piles à hydrogène**

Résumé Face à l'impact environnemental croissant de l'usage des dérivés du pétrole dans les transports, les piles à combustible (PAC) ont le vent en poupe. Le développement rapide de leur marché dévoile des difficultés à venir car les PAC actuellement disponibles ou en développement utilisent comme catalyseurs d'oxydation et de réduction des nanoparticules de platine, un métal noble trop rare pour qu'une telle technologie puisse jamais répondre à un marché de masse. Cependant d'autres catalyseurs, moléculaires, ont été récemment découverts et ont montré des activités catalytiques intéressantes : des enzymes issues de microorganismes des sols marécageux, les hydrogénases, catalysent l'oxydation de l'hydrogène ; des complexes organométalliques biomimétiques ont été construits en s'inspirant de leur structure, certains montrent déjà une bonne capacité catalytique d'oxydation de l'hydrogène ; enfin, des complexes de cobalt catalysent la réduction de l'oxygène.

Le projet EnzHyd propose de réaliser deux piles à hydrogène sans platine fonctionnant pour l'une avec des hydrogénases, pour l'autre avec des complexes organométalliques comme catalyseur d'oxydation de l'hydrogène, et avec des complexes de cobalt comme catalyseurs de la réduction de l'oxygène. Premièrement, on s'efforcera de découvrir et de développer de nouveaux catalyseurs organométalliques pour la cathode et pour l'anode des piles à hydrogène. L'effort sur les catalyseurs d'anode se portera sur le criblage d'une grande variété de structures en minimisant les besoins en synthèse organique. Pour les catalyseurs de cathode, on s'intéressera aux polymères azotés comme complexant des ions cobalt afin de minimiser les coûts de production.

Deuxièmement, on utilisera les meilleurs catalyseurs actuellement disponibles : les hydrogénases d'une part, des complexes organométalliques décrits d'autre part, pour la réalisation de minipiles à hydrogène fonctionnant en mode passif, afin de tester dans des conditions aussi proches que possible du réel les qualités de ses nouveaux catalyseurs. Si de nouveaux catalyseurs étaient découverts dans la première partie, ils seraient rapidement testés en PAC dans ces conditions. L'effort se portera d'abord sur le couplage électrochimique efficace entre les catalyseurs moléculaires et leur support d'électrode, les nanotubes de carbone, choisis pour leur excellente conductivité et leur bonne capacité de couplage électrochimique avec des petites molécules redox ou des protéines. Les procédés de fabrication et de test des minipiles devront ensuite être adaptés à ces nouveaux matériaux, peu sensibles aux polluants organiques et au monoxyde de carbone, mais sensibles à l'oxygène et à la chaleur.

Enfin, ce projet permettra d'évaluer ces nouveaux catalyseurs dans une pile en fonctionnement, de mesurer leurs performances et mettra en évidence leurs fragilités et leurs atouts.

Partenaires CEA - IRAMIS/SPEC (partenaire coordinateur)
CEA - IBS
CEA - iRTSV/LCBM
CEA - IRAMIS/SPCSI
CEA - LITEN

Coordinateur Mme Pascale Chenevier - CEA - IRAMIS/SPEC
pascale.chenevier@cea.fr

Aide de l'ANR 818 328 €

Début et durée Décembre 2008 - 36 mois

Référence ANR-08-PANH-008

Programme Plan d'Action National sur l'Hydrogène et les piles à combustible

Edition 2008

Titre du projet **ICARE - InterConnecteurs en Alliage Revêtu pour l'électrolyse de la vapeur d'eau à haute température**

Résumé Le projet ICARE, de type recherche industrielle, porte sur un des verrous majeurs actuels de la technologie d'électrolyse de la vapeur d'eau à haute température (EVHT), à savoir la mise au point d'interconnecteurs métalliques fonctionnant efficacement sur le long terme. Dans les conditions de l'EVHT (atmosphère riche en oxygène côté anode et riche en vapeur d'eau côté cathode à 800°C) les interconnecteurs ne doivent pas s'oxyder trop rapidement ni former d'oxydes isolants électriquement afin de préserver une valeur de résistance de contact aux électrodes la plus faible possible. En outre, ils doivent être stables chimiquement et ne pas émettre de composés susceptibles de polluer et dégrader les électrodes tels que des oxyde de chrome. Le problème posé est donc celui de la mise au point d'interconnecteurs EVHT à propriétés de surface adaptées. Les solutions que l'on propose d'examiner dans le projet ICARE concernent l'association alliage métallique / traitements de surface.

Le projet est organisé autour des enjeux qu'il appréhende avec une première étape d'identification précise des besoins de revêtement pour l'EVHT afin de définir un cahier des charges des couples alliage métallique/revêtement. Une attention particulière est portée à la contamination des cellules par des vapeurs émises par les alliages d'interconnecteur. A noter, les alliages d'interconnecteur retenus sont pour démarrer le projet : - un acier ferritique inoxydable : l'acier F18TNb produit par Arcelor Mittal Stainless, qui représente une alternative commerciale moins onéreuse que le Crofer 22APU et un alliage à faible coefficient de dilatation basé sur le système Fe-Ni-Co qui offre une possibilité d'innovation réelle pour cette application.

La seconde étape du projet concerne la mise au point de revêtements adaptés à ces alliages avec des procédés performants couplant l'opération de dépôt proprement dite et des opérations de stabilisation du dépôt (traitement thermique sous atmosphère notamment).

Les matériaux constitutifs des dépôts feront partie de la famille des spinelles et des pérovskites. Deux types de procédés seront étudiés : le dépôt physique sous vide en phase vapeur et les dépôts par voie humide à partir de barbotines. Le projet aboutit sur une étape finale d'évaluation des performances des couples alliage/revêtement dans des conditions représentatives des conditions EVHT.

Les mécanismes de dégradation des surfaces revêtues en conditions EVHT, en particulier leur oxydation en atmosphère EVHT duale et l'effet du courant sur la cinétique de croissance des couches seront étudiés de façon approfondie avec des outils expérimentaux développés ou adaptés dans le cadre du projet. L'objectif du projet est de comprendre les mécanismes pour maîtriser le comportement des interconnecteurs afin de proposer une solution technologique satisfaisante.

Pour appréhender la démarche de recherche complète du projet ICARE allant du développement industriel à la compréhension fine des mécanismes mis en jeu, le projet associe des partenaires industriels directement concernés par le déploiement d'une filière EVHT (ArcelorMittal et la PME PVDCo), des laboratoires académiques reconnus dans le domaine de la réactivité des alliages métalliques à haute température en environnement sévère (ICB et SIMaP) autour d'un laboratoire de recherches appliquées (CEA-Liten), déjà fortement impliqué dans le développement de la filière hydrogène, qui coordonne les travaux.

Partenaires CEA- LITEN (partenaire coordinateur)
Université de Bourgogne - ICB
Institut Polytechnique de Grenoble - SIMaP
ArcelorMittal
PVDCo

Coordinateur M Emmanuel RIGAL - CEA/LITEN
emmanuel.rigal@cea.fr

Aide de l'ANR 998 236 €

Début et durée Décembre 2008 - 48 mois

Référence ANR-08-PANH-009

Programme Plan d'Action National sur l'Hydrogène
et les piles à combustible

Edition 2008

Titre du projet	ICARE-CSP - Investigations, CARactérisation et dÉveloppement de Compresseurs pour Systèmes PAC de Puissance supérieure à 10 kW
Résumé	<p>Un certain nombre de verrous technologiques doivent encore être levés avant de voir apparaître sur le marché des systèmes pile à combustible de type PEMFC performants et compétitifs. Parmi ces verrous système, l'un des plus importants est lié à la compression d'air. En effet, ce sous-système présente des rendements énergétiques relativement mauvais, il est souvent très bruyant et il est, en outre, délicat de trouver des compresseurs d'air dimensionnés de manière optimale pour un cahier des charges pile à combustible donné. Ceci a notamment été mis en évidence dans des projets ANR PAN-H récents, à titre d'illustration les projets SPACT80 et FISYPAC.</p> <p>Le projet ICARE-CSP vise à proposer une étude spécifique sur les systèmes de compression d'air destinés aux piles à combustible de type PEMFC pour des applications transport et stationnaire (avec une alimentation en hydrogène directe ou à base de reformeur). En particulier, ce projet « coup de poing » (2 ans) proposera un état de l'art exhaustif des solutions technologiques de compression d'air pour piles PEMFC existantes sur le marché en 2009, la définition de cahiers des charges génériques pour les systèmes de compression d'air dans le cas des applications citées ci-dessus, le test et la caractérisation des solutions existantes sur le marché, l'implantation d'une solution optimisée sur un groupe électrogène à pile à combustible équipant un véhicule hybride lourd ainsi que la définition de lois de commande optimisées pour les groupes motocompresseur d'air.</p> <p>A l'issue du projet ICARE-CSP, les solutions technologiques de compression d'air pour piles à combustible PEMFC (dans différents types d'applications) les plus pertinentes en 2009/2010 auront non seulement été définies mais les solutions existantes sur le marché auront également été testées, caractérisées et évaluées. Un état des lieux exhaustif et actualisé des besoins et des solutions existantes sur le marché aura donc été réalisé. Il contribuera à l'émergence d'une production dédiée de compresseurs d'air performants pour piles à combustible PEMFC.</p>
Partenaires	UTBM - FC LAB (partenaire coordinateur) ECOLE CENTRALE DE LYON - LMFA HELION INEVA
Coordinateur	M Christophe Espanet - UTBM - FC LAB christophe.espanet@univ-fcomte.fr
Aide de l'ANR	603 199 €
Début et durée	Décembre 2008 - 24 mois
Référence	ANR-08-PANH-010

Programme Plan d'Action National sur l'Hydrogène
et les piles à combustible

Edition 2008

Titre du projet

**METALICA - Cartouches polymères à base
d'hydrures métalliques bas coût pour piles à
combustible portables**

Résumé

L'industrie des batteries est confrontée depuis quelques années à un écart entre l'offre et la demande en énergie pour de nombreuses applications portables. Le besoin croissant de nouvelles fonctions dans les objets nomades qui agrémentent nos vies quotidiennes engendrent une augmentation de la demande en énergie et par conséquent de l'autonomie de ces appareils. Dans ce contexte, la pile à combustible est capable de créer une réelle rupture technologique du fait de la densité d'énergie qu'elle est susceptible de disposer. Même si les cœurs de piles sont actuellement matures, il reste néanmoins à lever le principal verrou pour assurer l'émergence de cette technologie. En effet, le combustible et la cartouche associée nécessite encore de nombreux développements. Le projet METALICA vise par conséquent à développer une cartouche polymère recyclable à base d'hydrure métallique bas coût.

Trois familles de matériaux seront étudiées afin d'une part d'adapter leurs propriétés thermodynamiques et cinétiques au regard des applications visées et d'autre part de les mettre en œuvre dans un réservoir léger, fiable, sure et sans danger.

'Le consortium scientifique et industriel à l'origine de ce projet devrait permettre d'aboutir à des résultats majeurs dans le domaine et surtout à une exploitation des résultats en cas de succès.

Ce projet devrait permettre à terme d'aboutir à des piles à combustible d'une densité d'énergie proche de 600 Wh/l.

Le consortium scientifique et industriel à l'origine de ce projet devrait permettre d'aboutir à des résultats majeurs dans le domaine et surtout à une exploitation des résultats en cas de succès.

Ce projet devrait permettre à terme d'aboutir à des piles à combustible d'une densité d'énergie proche de 600 Wh/l.

Partenaires

CEA - LITEN (partenaire coordinateur)
CNRS - CMTR-ICMPE
Société BIC

Coordinateur

M Philippe CAPRON - CEA / LITEN
philippe.capron@cea.fr

Aide de l'ANR

1 038 042 €

Début et durée

Décembre 2008 - 36 mois

Référence

ANR-08-PANH-11

Programme Plan d'Action National sur l'Hydrogène
et les piles à combustible

Edition 2008

Titre du projet **OXYGENE - Contrôle de l'OXYdation des anodes d'une pile SOFC au sein d'une chaudière électroGENE**

Résumé

Un des verrous forts de la technologie SOFC est celui lié à l'endommagement des cellules associé à la ré-oxydation des anodes en cermet Ni/YSZ. En effet, la forte sensibilité à la ré-oxydation de ce matériau entraîne la dégradation des cellules au cours des cycles de marche/arrêt du système, mais également en fonctionnement avec des taux d'utilisation élevés du combustible. Il a été démontré dans le cadre du projet CIEL (ANR PAN'H 2005) que de tels taux sont cependant indispensables pour atteindre un rendement électrique élevé. Ce verrou est particulièrement problématique dans le cas d'une application en chaudière électrogène (micro-cogénération). Ce type d'application requiert en effet un rendement électrique élevé, un taux de dégradation faible et une tenue importante aux cycles de marche/arrêt du système.

Le projet proposé ici ne se situe pas sur le développement d'un nouveau matériau d'anode hypothétique, qui soit à la fois insensible à une atmosphère oxydante tout en présentant de très bonnes propriétés d'électrocatalyse de l'hydrogène. Ce projet cherche avant tout à identifier les conditions de fonctionnement et de marche/arrêt d'une pile SOFC permettant de prévenir la dégradation liée à la ré-oxydation du cermet anodique Ni-YSZ classique.

Ce résultat ne pourra être établi que par une étape préalable de compréhension poussée des phénomènes de dégradation liés à l'oxydation du cermet. Des préconisations pourront alors être faites sur la gamme de fonctionnement acceptable pour un cermet (taux d'utilisation du combustible notamment) et les conditions gazeuses à maintenir au voisinage du cermet pour éviter les dégradations mécaniques des cellules.

Par delà ces préconisations, une réflexion sera menée sur l'architecture des cellules et les protocoles de marche/arrêt du système. Des solutions innovantes pourront alors être proposées pour contourner ces limitations et augmenter la robustesse et la durabilité du cœur de pile. Ces nouvelles architectures et protocoles permettront d'obtenir une technologie SOFC basée sur le matériau performant qu'est le cermet Ni/YSZ, fonctionnant avec un haut rendement électrique et capable de supporter un nombre important de cycles de marche/arrêt tout en évitant l'endommagement du cœur de pile.

Partenaires

GDF SUEZ (partenaire coordinateur)
CEA - LITEN
CNRS - SIMAP
CNRS - LEPMI
CNRS - IJLRA

Coordinateur

M Stéphane HODY - GDF SUEZ
stephane.hody@gdfsuez.com

Aide de l'ANR

581 041 €

Début et durée

Décembre 2008 - 36 mois

Référence

ANR-08-PANH-12

Programme Plan d'Action National sur l'Hydrogène et les piles à combustible

Edition 2008

Titre du projet **MODERNHY-T - Modèle et Outil pour le Dimensionnement et l'Évaluation de Réservoirs iNnovants à HYdrures pour les Transports**

Résumé Le projet MODERNHY-T se place dans la thématique du développement d'une chaîne hydrogène comme vecteur propre de l'énergie. Celle-ci n'a de sens que si l'on arrive à le stocker efficacement. Ce projet s'inscrit dans la thématique de l'approvisionnement en hydrogène et plus particulièrement celle du stockage par le développement de réservoirs d'hydrogène pour applications embarquées. Il focalise plus précisément encore sur le développement de réservoirs d'hydrogène à base d'hydrures, en particulier ceux couplant l'hydrure à une pression d'hydrogène "moyenne" (de l'ordre de 100 à 200 bars). Cette pression permet d'assurer un tampon pour améliorer la disponibilité d'hydrogène. Dans ce genre de réservoir, pour un matériau donné, l'efficacité découle directement de la gestion de la thermique. L'idée nouvelle proposée dans ce projet est de gérer correctement le matériau hydrure introduit dans l'échangeur thermique à l'aide de la mécanique des milieux granulaires.

Un des objectifs est de réduire le volume et de gagner en efficacité en maximisant le contact de la poudre avec l'échangeur thermique. Cette tâche est particulièrement délicate lorsque l'on considère les gonflements et retraites de la poudre lors des cycles d'absorption/désorption. En regard de ces objectifs, les espaces vides de dilatation sont proscrits, mais les dilatations du matériau pulvérulent emprisonné dans des structures ajustées créent de fortes contraintes sur le conteneur. En complément, lorsque le matériau hydrure se contracte, il y a décroissance de contact thermique avec le conteneur, voire simplement perte de contact.

Ce projet part aussi de la constatation que l'homme de l'art est actuellement démuné pour dimensionner mécaniquement un conteneur rempli de poudre hydrure. La littérature se fait seulement l'écho d'observations sommaires rapportant une augmentation des contraintes – parfois importante – dans les parois d'un conteneur, mais aucun modèle prédictif n'est proposé.

Notre étude vise au développement d'un tel modèle pour assurer le dimensionnement mécanique et thermique d'un conteneur d'hydrures.

Cet objectif implique de caractériser le matériau granulaire de manière extensive – thermiquement, mécaniquement et en cours de cyclage d'absorption/désorption – et de développer en conséquence des échangeurs de chaleur qui répondent aux exigences sus-citées.

Le caractère dilatant et pulvérulent est commun à une majorité de matériaux dits hydrures (d'un simple TiFe à un hydrure complexe comme NaAlH₄). Nous proposons cependant de focaliser notre étude sur un hydrure des plus performants du moment (un hydrure BCC, TiVCr) dans l'optique du développement de réservoirs hybrides pression-hydrure, qui semblent séduisant pour des applications embarquées.

Ce projet englobe donc un travail de recherche appliquée, alliant travail expérimental et modélisation du comportement mécanique d'hydrures, en même temps que la mise en place du couplage de ces effets à la thermique. L'aspect applicatif est également fortement présent puisque un module de test sera construit, suivant un cahier des charges enveloppe défini par deux industriels français, afin de valider les développements réalisés.

Partenaires CEA - LITEN (partenaire coordinateur)
PCA SA
SNCF
NPG - L3SR
CNRS - IN MCMF
McPHY Energy

Coordinateur M Olivier GILLIA - CEA/LITEN
olivier.gillia@cea.fr

Aide de l'ANR 511 920 €

Début et durée Décembre 2008 - 36 mois

Référence ANR-08-PANH-013

Titre du projet	MAFALDA - Etudes expérimentales et par modélisation pour comprendre la dégradation des couches actives des piles à combustible de type PEM
Résumé	<p>La durabilité des assemblages membrane-électrodes dans les piles à combustible à membrane échangeuse de protons (PEMFC) actuelles est un des principaux facteurs limitant le développement et la commercialisation de cette technologie à grande échelle. La durée de vie typique des PEMFC est de l'ordre de 300-500 heures sous des conditions de fonctionnement représentatives de l'application automobile. Pour cette application, 3000 à 5000 heures de fonctionnement au moins sont requises et jusqu'à 40000 heures pour les applications stationnaires.</p> <p>Dans ce contexte, le projet MAFALDA propose une approche couplant expériences et modélisation centrée sur la compréhension et l'amélioration des performances et de la durabilité des piles à combustible.</p> <p>Le développement d'un outil théorique est essentiel pour les industriels et la communauté scientifique afin d'évaluer la dégradation des AME et prédire leur durée de vie en fonction de leurs propriétés et des conditions de fonctionnement.</p> <p>Du fait d'un fort couplage entre les différents phénomènes physicochimiques, l'interprétation des observations expérimentales est difficile, et l'analyse par la modélisation devient cruciale pour élucider la dégradation des assemblages membrane-électrodes et les mécanismes associés.</p> <p>Dans ce cadre, le projet est constitué de deux parties principales:</p> <ul style="list-style-type: none">- La première est dédiée aux expériences de vieillissement sur banc d'essais. Quelques expériences électrochimiques ex-situ seront aussi réalisées pour se concentrer sur certains mécanismes responsables de la dégradation. Les objectifs de cette tâche sont l'établissement d'une base de données solide grâce à un plan d'expériences adapté.- Dans la seconde partie, le modèle multi-échelle global sera développé sur la base d'un modèle existant au CEA. Pour les paramètres dont les valeurs ne sont pas toujours accessibles expérimentalement, DLR, ENSL et Ulm utiliseront des outils théoriques spécifiques pour fournir des données particulières au modèle global. <p>Les études expérimentales et par modélisation concerneront à la fois des AME du laboratoire et commerciaux. Les AME du laboratoire offrent la possibilité de contrôler complètement tous les paramètres des composants. Ceci permettra de valider le modèle sur une large gamme de conditions de fabrication et de fonctionnement. Puis, le modèle sera appliqué aux AME commerciaux dans les conditions représentatives de l'application automobile.</p> <p>Le partenariat du projet MAFALDA est basé sur une collaboration scientifique et technique étroite entre des laboratoires et instituts de recherche français et allemands (CEA, DLR, ENSL, Ulm) et un industriel (PSA).</p>
Partenaires	CEA - LITEN (partenaire coordinateur) Ecole Normale Supérieure de Lyon - LC UMR 5182 PCA SA Ulm DLR-TT-ECE
Coordinateur	M Alejandro FRANCO - CEA/LITEN alejandro.franco@cea.fr
Aide de l'ANR	678 545 €
Début et durée	Décembre 2008 - 36 mois
Référence	ANR-08-PANH-014