

1- BATT+

Titre :

Nouvelles électrodes de batteries pour le stockage électrique à haute densité

Promoteur :

Université de Mons, Laboratoire de Physique des Surfaces et Interfaces,
Professeur Joël De Coninck

Résumé :

Le projet BATT+ a l'ambition de développer de nouveaux types d'électrodes autorisant une densité de matière active significativement plus importante que la technologie actuelle. Une attention toute particulière sera portée sur le nombre de cycles 'charge/décharge' que ces nouvelles électrodes seront capables de satisfaire.

Plusieurs challenges majeurs seront abordés dans ce développement parmi lesquels nous aurons : le besoin d'une conductivité électronique suffisante ainsi que la capacité de résister aux contraintes mécaniques d'utilisation.

A l'issue du projet, nous devrions être capables de proposer des électrodes plus denses avec une aire effective utile (mAh/cm^2) de plus de 5 fois celle atteinte par les technologies actuelles pour un coût moindre.

2- CASH

Titre :

Faisabilité technique et économique d'un système de stockage d'énergie à air comprimé, pour les besoins domestiques d'un ménage wallon

Promoteur :

Atelier d'Architecture et de Stabilité Jacques Mariette

Résumé :

Le projet concerne l'étude de la faisabilité technique et économique d'un système de stockage d'énergie à air comprimé, pour les besoins domestiques d'un ménage wallon, mais dont l'étude des résultats permettra la perspective d'un stockage à de plus larges échelles que celle du logement domestique : industries, bureaux, écoles...

Il s'agit donc de stocker l'énergie renouvelable provenant de capteurs solaires photovoltaïques, d'une éolienne domestique, pompe à chaleur ou autre, lorsqu'elle est excédentaire, dans un réservoir d'air comprimé, via un moteur réversible MDI. Cette énergie peut être restituée, à la demande, en alimentant le même moteur, produisant cette fois de l'électricité.

Le partenariat comporte :

- L'Atelier d'Architecture et de Stabilité Jacques Mariette srl, coordinateur et ir. architecte ;
- La société IVI (Ingénierie VIétoise, srl en formation, dont le gérant est M. Yvan HALYCKYJ) qui prépare la production de groupes électrogènes à air comprimé, sous licence Motor Development International (MDI). Cette société pourra produire et commercialiser ces groupes électrogènes ;
- L'Université de Liège, avec :
 - o Le Laboratoire de Thermodynamique Appliquée, avec les Prof. Pierre DUYSINX (Architecture et contrôle du système de récupération), Vincent LEMORT (compresseurs) et Pierre DEWALLEF (apports des énergies renouvelables) ;
 - o L'unité de recherche EnergySuD (Prof. Jean-Marie HAUGLUSTAINE), pour la définition du profil d'occupation et du profil de besoins d'énergie (chauffage du bâtiment, eau chaude sanitaire, utilisation de l'éclairage et des appareils électroménagers).

Le projet se décompose en 4 phases, à savoir :

1. (6 mois) Etude des besoins d'électricité pour l'éclairage, le chauffage (si chauffage électrique), la ventilation, l'eau chaude sanitaire, les appareils électroménagers. De cette étude résulte une méthodologie d'établissement d'un profil de besoin d'énergie, et de stockage des apports provenant d'énergies renouvelables. Elle permet enfin le dimensionnement d'un réservoir de stockage (en béton tapissé intérieurement de résine, en

matériau polymère, ou en acier), à inclure dans la chaîne (apport – stockage – utilisation) pour un ménage type, selon son profil d'occupation et le bâtiment qu'il occupe.

2. (6 mois) Application de la méthodologie à un logement occupé par un client de l'Atelier d'Architecture et de Stabilité Jacques Mariette, et réalisation d'un prototype par la société IVI.

3. (6 mois) Monitoring du prototype in situ et corrections pour amélioration du système – Appel à intérêt auprès de bâtiments résidentiels collectifs, bureaux et écoles

4. (6 mois) Etablissement d'un catalogue donnant une réponse technologique type à des ménages typifiés selon leur bâtiment résidentiel et leur profil d'occupation

En cas de résultats satisfaisants (go – no go), le projet se renouvelle sur les 4 mêmes phases, mais cette fois en s'appliquant à un autre type de bâtiment (résidentiel collectif, bureau ou école) selon l'intérêt qui aura pu être manifesté lors de l'appel à intérêt lancé en fin de 3e phase.

3- DEMA-B

Titre :

Demand side Management in Buildings

Promoteur :

Greenwatch SA

Résumé :

Le projet DeMa-B a pour objectif de construire une base de connaissances spécifiques dans le domaine de la gestion active de la demande d'énergie électrique des bâtiments.

Un important gisement d'amélioration existe en effet à ce niveau, et des solutions de gestion de la demande d'énergie, permettant -entre autres- le déplacement de la consommation d'énergie électrique des bâtiments et la réduction des consommations en période de pic, sont parfaitement complémentaires à des solutions de stockage d'énergie. La mise en œuvre à grande échelle de solutions de ce type est cependant particulièrement complexe, d'une part en raison des multiples contraintes technologiques associées, d'autre part en raison du grand nombre d'acteurs de natures très différentes, créant un écosystème complexe dans lesquelles des solutions inadaptées n'auraient que peu de chances de succès.

De nombreuses connaissances devront donc être rassemblées sur les aspects techniques et socioéconomiques liés au sujet, avant de pouvoir développer, dans un second temps, des produits et services dans ce domaine. Le projet veut donc se focaliser sur les deux aspects suivants :

1. Aspects technologiques de la gestion active de la demande d'énergie électrique, et de l'optimisation énergétique des bâtiments.

- o Etablissement de stratégies intelligentes et adaptatives de gestion de la demande d'énergie électrique dans les bâtiments, intégrant des prévisions de consommation et des stratégies d'optimisation énergétique, et compatibles avec l'utilisation d'équipements de production d'énergie décentralisée et d'équipements de stockage électro-chimiques locaux.

- o Evaluation de la pertinence technique de ces stratégies, entre autres via la caractérisation de leur impact sur l'équilibrage des réseaux électriques, et via l'analyse des contraintes technologiques associées sur l'ensemble de la chaîne (depuis le réseau de distribution électrique jusqu'à l'utilisateur final).

- o Veille technologique sur l'état de l'art des éléments techniques de la chaîne.

2. Aspects sociaux et économiques influençant les futurs développements de produits et services :

- o Clarification de l'écosystème existant et des évolutions possibles : segmentation des acteurs (utilisateurs finaux, particuliers, entreprises, acteurs du marché de l'électricité, institutionnels), identification de leurs

intérêts et contraintes spécifiques dans le domaine, synthèse du cadre réglementaire, et estimation des évolutions possibles.

- o Identification de pistes de développement : identification de futurs produits et services à destination de chacune des catégories d'acteurs identifiées, et construction de modèles d'affaires possibles pour chacun d'eux.

- o Construction de scénarios de développement et de déploiement : identification des produits et services et des modèles d'affaires ayant un potentiel de marché, et identification de scénarios permettant la mise en place réussie des futurs produits et services développés.

La société Greenwatch mettra à disposition son expertise dans le monitoring d'installations photovoltaïques et d'équipements de chauffage (plus de 6000 installations monitorées en Région Wallonne).

La société B12 Consulting, forte du profil académique et de l'expérience industrielle de ses collaborateurs, apportera son expertise dans la simulation de processus physiques liés aux bâtiments ainsi que dans la construction de stratégies de pilotage et d'algorithmes d'optimisation.

Les partenaires feront appel à plusieurs sous-traitants pour les aider dans cette tâche, dont L'Universidad Politécnica de Madrid (Espagne) qui apportera son expertise technique de pointe dans le domaine des systèmes de stockage électro-chimiques.

Les connaissances ainsi créées permettront de développer des solutions techniques contribuant directement à l'objectif de la Région d'assurer l'équilibre entre production et consommation électrique sur les réseaux de demain.

4- EQUILIBRE

Titre :

Outil d'optimisation d'EQUILIBRE entre production et consommation électrique décentralisée aux fins d'économies du besoin de stockage

Promoteur :

ATM-PRO SA

Résumé :

Introduction

Tout comme les besoins de production énergétique peuvent être réduits par des « comportements » visant les économies d'énergie, les « besoins de stockage » sous toute forme peuvent-ils bénéficier d'une optimisation de l'EQUILIBRE entre les productions et les consommations, décentralisées en particulier. Cette économie de besoins participe à la faisabilité et la définition même des moyens de stockage et en fait donc partie intégrante.

L'idée du projet « EQUILIBRE » est de fournir aux consommateurs/producteurs, i.e. utilisateurs, à une échelle individuelle ou collective, des outils faciles à installer et peu onéreux de gestion personnalisée et non intrusive de leurs productions et consommations afin d'équilibrer ces deux paramètres importants. Le résultat attendu est une diminution drastique du besoin de stockage et donc une réduction importante des coûts de mise en place de solution de stockage.

Description

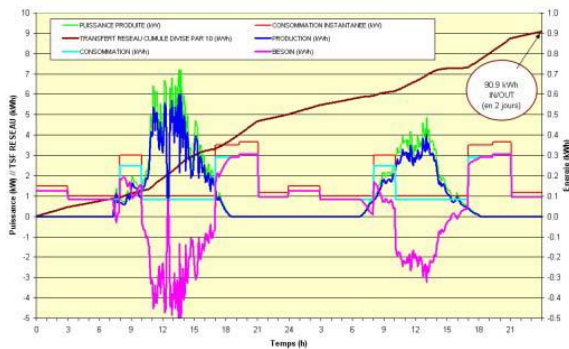
Outre le workpackage de coordination, le projet sera subdivisé en 5 autres WPs :

WP01 : développement d'outils d'historisation (BDs), de visualisation (interface) et d'analyse (module « d'expertise ») des consommations et productions intégrant des systèmes de comptage intelligent et de télérelève. Ces éléments de « connaissance » des cycles de consommation visent donc à supprimer un frein important à l'optimisation de l'EQUILIBRE entre production et consommation.

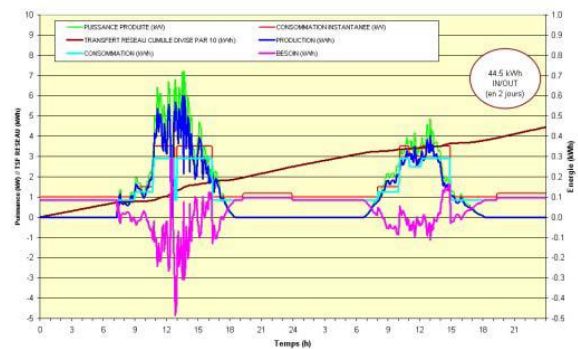
WP02 : développement d'outils de modélisation climatologique de production des systèmes SER (PV, Eolien), par installation délocalisée et sur le long terme, aux fins de permettre d'analyser les productions en termes de moyennes, fluctuations, sur diverses échelles de temps (court terme, moyen terme, long terme). Un module de prévision alimentera les BDs nécessaires avec les productions potentielles par installation.

WP03 : développement d'une interface intégrée et sécurisée permettant à l'utilisateur individuel (maison, entreprise, collectivité ...) d'optimiser ses consommations en fonction de ses besoins (cf. WP1 – historisation et définition de « blocs » de consommation) et de ses productions à venir (cf. WP2 – climatologie et prévision des productions), ainsi que d'en

mesurer l'impact sur ses besoins de « compléments » en provenance du réseau (voir exemple théorique de déplacements des consommations ci-dessous).



Besoin du réseau sur 2 jours = 90 kWh



Besoin du réseau sur 2 jours = 45 kWh

WP04 : Portage de l'interface à l'échelle collective (cf. « sous-stations »). La mutualisation des ressources ou production permettra aux utilisateurs, via une interface anonymisée et sécurisée, de « consommer » ce productible global et permettra de définir le besoin réaliste de stockage à l'échelle du quartier ou de la sous-station.

Outre, les problèmes de surtension évités, ce module aura l'avantage de définir des besoins de stockage dont le coût de mise en place pourra être réduit, mais aussi supprimera un frein à l'intégration des « smartsolutions » qui sont en général plus intrusives (cf. vie privée, pilotage externe de processus, etc. ...)

WP05 : élaboration stratégique de commercialisation des solutions individuelles et collectives, et ce pour chaque output des WPs.

5- FLEXIPAC2

Titre :

Déploiement de la flexibilisation des usages des pompes à chaleur et des autres charges déplaçables pour l'optimisation d'une production locale de sources d'énergies renouvelables intermittentes

Promoteur :

Université de Liège, Laboratoire BEMS, Professeur Philippe André

Résumé :

Le projet Flexipac examine la problématique de l'utilisation des pompes à chaleur pour participer à la gestion du réseau électrique et permettre de déplacer certaines charges électriques au cours d'une journée. La reconversion de l'énergie électrique consommée en énergie thermique permet en effet le stockage de cette énergie sous une forme plus adaptée et plus économique. Ce stockage peut se réaliser dans la structure des bâtiments eux-mêmes (en tirant parti d'une masse thermique accessible ou en tolérant certaines variations de températures par rapport à une consigne stricte) ou dans des dispositifs dédiés (réservoirs d'eau, matériaux à changement de phase).

Cette proposition, introduite par la majorité des membres du consortium Flexipac, vise à approfondir la recherche sur la problématique du déplacement des charges électriques en vue d'améliorer la gestion du réseau électrique. Les nouveaux développements sont proposés dans l'une ou l'autre des directions suivantes :

- Poursuite du développement des algorithmes d'optimisation
- Test des solutions développées en vraie grandeur
- Extension de la réflexion réalisée dans le projet Flexipac à une échelle plus importante.

L'objectif est dans ce dernier cas d'étudier le potentiel offert par le déploiement des solutions de pilotage optimal développées dans Flexipac à une échelle territoriale supérieure (comme la Région Wallonne). Les éléments décisionnels suivants devront intervenir dans la recherche : variabilité de la production renouvelable, localisation des centres de production renouvelables (PV, éolien, hydraulique), topologie du réseau électrique, répartition spatiale du bâti wallon et typologie d'habitat associée, variabilité locale de la demande d'énergie thermique en fonction du climat et du type d'habitat (neuf, rénovation). Le produit de la recherche sera alors un macro outil de pilotage permettant d'organiser à l'échelle wallonne la gestion du réseau électrique.

6- HYB2HYB

Titre :

Amélioration de caractéristiques du stockage des batteries Li-ion/super condensateurs électrochimiques hybrides et de performances vis-à-vis des systèmes d'énergie photovoltaïque hybrides

Promoteur :

Université catholique de Louvain, ICTM : Institut de Technologies de l'Information et de la Communication, Electronique et Mathématiques Appliquées, Dr. Sorin Melinte

Résumé :

Contexte. Un défi majeur de notre société est la production décentralisée d'énergies renouvelables à impact minimal sur l'environnement permettant davantage d'autonomie. En suivant deux lignes stratégiques, il s'agit d'une part de réduire le contenu en carbone de l'offre énergétique (20% de sources d'énergie renouvelable en 2020 dans la consommation finale brute en Belgique) et d'autre part, de réaliser une gestion intelligente et optimisée du réseau en intégrant du stockage de faible capacité (<1 kWh) et de grande capacité (> 10 MWh). Les obstacles à surmonter sont : (i) la structuration du stockage énergétique en adéquation avec la production d'énergie en tenant compte de deux échelles de temps différentes, phénomènes à dynamique lente (énergies renouvelables) et phénomènes à dynamique rapide (stockage) et (ii) l'adaptation du réseau à la croissance démographique et par conséquent à l'évolution de profils personnalisés de consommation électrique.

Les batteries au lithium sont actuellement la technologie dominante dans le stockage de l'énergie en raison de leurs caractéristiques de densité d'énergie (250 Wh/kg). Néanmoins, les super condensateurs électrochimiques (SCEs) captent et libèrent de l'énergie en quelques secondes et peuvent faire des millions de cycles charge-décharge, mais leur densité d'énergie est seulement de 5% par rapport aux batteries Li-ion. La technologie de batteries Li-ion/SCEs hybrides est idéale pour les applications domestiques, faible capacité notamment en habitat collectif ou individuel qui nécessitent à la fois l'énergie de batteries Li-ion et la puissance de SCEs. Cette technologie innovante est en expansion et peut être améliorée par des avancées dans la nano-structuration des matériaux et l'incorporation d'éléments de gestion multifonctionnels.

Objectifs. Dans ce projet nous visons à développer la technologie de stockage hybride batterie Li-ion/SCE pour un couplage efficace aux dispositifs de production d'énergie photovoltaïque. Les objectifs de la *première phase* sont (i) la recherche intensive en matériaux pour améliorer les coûts, la durée de vie, les capacités de charge-décharge des batteries Li-ion/SCEs hybrides, (ii) l'identification des critères d'optimalité

des systèmes de stockage à base de batteries Li-ion/SCEs hybrides (e.g. densités d'énergie, puissances et consignes de puissance distribuées dans le temps pour des applications nomades) et (iii) la compréhension des mécanismes de dégradation des batteries Li-ion/SCEs hybrides. Les objectifs de la *deuxième phase* sont (i) la recherche intensive en matériaux afin de favoriser l'intégration dans les micro-réseaux électriques la connexion et la gestion de systèmes de stockage développés dans la première phase, (ii) la mise en relation des degrés de liberté dans le processus de charge-décharge des batteries Li-ion/SCEs hybrides, leur intervalle de variation ainsi que les contraintes liées aux systèmes de stockage de ce type alimentés par la technologie photovoltaïque et (iii) le pré-dimensionnement d'un système énergétique complet intégrant des sources photovoltaïques ainsi que divers moyens de stockage batteries Li-ion, SCEs, batteries Li-ion/SCEs hybrides. Le focus sera placé sur la technologie photovoltaïque hybride organique-inorganique qui est considérée aujourd'hui la plus prometteuse pour les applications personnalisées.

Phase I. Nous avons déjà conçu une batterie Li-ion/SCE hybride pour le stockage de l'énergie du réseau qui utilise des matériaux dérivés de produits chimiques de base peu coûteux. Nous améliorerons d'abord les caractéristiques de cette technologie hybride par l'inclusion séquentielle des nouveaux matériaux nanostructurés nanotubes de carbone, oligomères, polymères, nanostructures de silicium. L'accent sera mis sur le développement d'une stratégie de stockage hybride présentant un compromis idéal de performances en ce qui concerne d'une part la capacité de stockage conférée par la composante batterie et d'autre part la capacité de délivrer rapidement l'énergie stockée en relation avec la composante SCE. L'efficacité énergétique sera déterminée en fonction des habitudes de consommation (qui peuvent varier) ou lorsque certains paramètres externes sont extrêmes. Cette démarche permettra d'identifier les conditions optimales pour l'implémentation des systèmes de stockage à base de batteries Li-ion/SCEs hybrides. La compréhension des mécanismes de dégradation sera implémentée au moyen de tests de vieillissement accéléré et des mesures de cellules individuelles à long terme, afin de prévoir la durée de vie et d'agir en rétroaction sur l'élaboration d'éléments de la batterie et du super condensateur électrochimique. L'amélioration des modèles de gestion passe nécessairement par la récolte et l'analyse de ce type de données.

Phase II. Dans la deuxième phase du projet, il s'agira de déterminer par recherche industrielle les paramètres d'interaction des systèmes de stockage à base de batteries Li-ion/SCEs hybrides avec les sources photovoltaïques les mieux adaptées, leur connexion et leurs consignes pour chaque pas de temps au long du cycle charge-décharge. Nous distinguerons les paramètres dépendants du temps de ceux qui ne le sont pas tels que la taille des systèmes de production d'énergie photovoltaïque et celle des systèmes de stockage (batteries Li-ion, SCEs, batteries Li-ion/SCEs hybrides). Les données dépendantes du temps seront couplées à

des contraintes pour assurer la cohérence des résultats sur une période du temps significative et leur optimisation.

Conclusion. La Région Wallonne est forte de ressources énergétiques dans la filière photovoltaïque et des nouvelles technologies du stockage d'énergie. Grâce au projet HYB2HYB, cette énergie renouvelable pourra être harmonieusement mobilisée et mise en valeur. Le projet bénéficiera de la synergie découlant du savoir-faire de plusieurs groupes de recherche des universités ainsi que des connaissances techniques et l'expertise des industries œuvrant au développement des matériaux pour la conversion photovoltaïque de l'énergie solaire et le stockage électrochimique d'énergie.

7- HYDROVAL

Titre :

Valorisation conjointe d'Hydrogène et de CO2

Promoteur :

SOLVAY SA

Résumé :

De nombreuses activités économiques engendrent des flux de CO2 sous forme diluée dans des fumées ou plus largement dans des effluents gazeux. C'est le cas de la société Solvay. Celle-ci dispose en plus de flux d'hydrogène produits lors de la fabrication du P.V.C. Cet hydrogène n'est actuellement pas totalement valorisé.

Le projet comporte deux volets. D'une part, la capture et la concentration du CO2 par voies électrochimiques. D'autre part, la transformation et la valorisation de ce CO2 en méthane ou en d'autres molécules à haute valeur ajoutée via une filière du type « Power To Gas ». Ce qui permet aussi de valoriser l'hydrogène.

L'énergie électrique nécessaire à la production de CO2 concentré proviendrait du surplus de production d'électricité éolienne ou photovoltaïque non consommé par le réseau. Si nécessaire, notamment dans d'autres situations industrielles, l'hydrogène pourrait également être produit à partir d'excédents d'électricité.

Ce projet s'inscrit dans la thématique du stockage d'excédents d'électricité en vue d'une restitution soit sous forme d'un vecteur gazeux (méthane) convertible en électricité ou en chaleur soit éventuellement sous forme de molécules à haute valeur ajoutée.

Par rapport à la filière basée sur la production d'hydrogène et la restitution d'électricité via une pile à combustible, l'originalité du projet consiste en la valorisation conjointe du CO2 et de l'H2 vers des vecteurs adaptés aux réseaux énergétiques existants. Par rapport aux autres filières « power to gas », la proposition comporte une solution innovante pour le stockage et la restitution du CO2.

Le livrable principal du projet serait une installation micro-pilote de capture et concentration de CO2 à l'université de Mons. La réalisation de cette installation serait soutenue par Solvay pour les aspects génies des procédés et son expérience sur la problématique CO2 et Xfive pour son savoir faire dans la mise au point d'unités micro-pilote. Les universités (UCL-UMons) interviendraient en plus dans l'étude de faisabilité et de rentabilité des différentes filières de valorisation d'hydrogène et de CO2.

D'un point de vue scientifique, un autre aspect novateur du projet est de tenir en compte le caractère intermittent de la source d'énergie électrique et de son impact sur les procédés électrochimiques utilisés pour la concentration du CO2 et la production du méthane.

8- HYLIFE

Titre :

Matériaux à longue durée de vie pour piles à combustible PEM hydrogène-air.

Promoteur :

Université de Liège, Département de Chimie appliquée, Laboratoire de Génie chimique – Nanomatériaux, Catalyse, Electrochimie, Dr. Nathalie Job

Résumé :

Le stockage et la restitution électrochimique de l'énergie constitue une des voies de gestion optimale des ressources énergétiques. En effet, dans un contexte de raréfaction des ressources fossiles et de développement des énergies renouvelables, généralement intermittentes, la possibilité de stocker l'énergie électrique et de la restituer avec des rendements intéressants apparaît comme une solution à long terme vers un développement durable. Une des voies de stockage-restitution de l'énergie électrique consiste à passer par un vecteur énergétique, c'est-à-dire à transformer l'énergie électrique en énergie chimique via la production d'un combustible, l'hydrogène par exemple (électrolyse). Les systèmes de restitution constituent un maillon important de la chaîne de stockage : en effet, une fois l'énergie stockée, encore faut-il que celle-ci soit restituée, en temps opportun, avec des rendements intéressants. Si l'hydrogène peut, comme tout combustible, être brûlé, il est bien plus intéressant, du point de vue du rendement, de l'utiliser dans des systèmes électrochimiques ouverts tels que les piles à combustibles.

Parmi tous les types de piles existantes, les piles à électrolyte polymère solide (Proton Exchange Membrane, ou PEM) hydrogène/air sont les plus versatiles, et donc adaptables tant aux applications mobiles que stationnaires. Ces piles sont constituées d'une membrane ionique conductrice de protons, à laquelle sont accolées, de part et d'autre, deux couches catalytiques (anodique et cathodique - nanoparticules de platine ou d'alliage supportées sur carbone); cette couche catalytique est elle-même revêtue d'un tissu de carbone permettant la répartition de l'air ou de l'hydrogène sur toute la surface de l'électrode ainsi que l'évacuation de l'eau formée. L'assemblage est placé entre deux plaques bipolaires, constituées de graphite usiné, qui servent à la fois de collecteurs d'électrons et de distributeurs de gaz aux électrodes.

Lors d'une recherche précédente (projet INNOPEM), menée par l'ULg, l'ULB, l'UNamur et Arceo, des avancées significatives ont été obtenues au niveau des trois constituants principaux des piles PEM : (i) des catalyseurs Pt/carbone nanostructuré (type xérogel ou nanotube de carbone) présentant des caractéristiques optimales pour cette application ont été

obtenus par des procédés contrôlés d'imprégnation ou plasma (basse et haute pression); (ii) des membranes échangeuses de proton ont pu être produites par procédé plasma haute pression ; (iii) des plaques bipolaires en acier revêtu, obtenues par emboutissage de feuilles d'acier traitées par PVD, et présentant une faible résistance de contact et une bonne résistance à la corrosion dans le milieu-type d'une pile PEM ont été réalisées, à l'échelle du laboratoire et sur la ligne pilote Arceo. Tous ces éléments concourent à diminuer le coût des piles, qui reste un obstacle majeur à leur déploiement. La réduction des coûts est basée sur une diminution de la quantité de matière précieuse à utiliser (Pt), la modification des procédés de fabrication (membranes, catalyseurs) ou encore le remplacement d'un matériau par un autre beaucoup moins cher (plaques bipolaires).

Néanmoins, les éléments développés nécessitent, pour la plupart, des améliorations au niveau de leur durée de vie. **Ainsi, le projet HYLIFE aura pour but de développer les matériaux et procédés issus d'INNOPEM dans une optique d'augmentation de leur durée de vie, et donc de la diminution du coût global de ces équipements.**

Le projet concernera à nouveau les trois éléments constitutifs de la pile. Au niveau des catalyseurs, l'accent sera mis sur (i) la modification de la chimie/cristallinité de surface des supports et (ii) la fabrication de catalyseurs bimétalliques core-shell (Co-Pt, essentiellement) par imprégnation ou plasma (haute ou basse pression) après fonctionnalisation du support. En ce qui concerne les membranes, les recherches les plus récentes ont abouti à une membrane de polystyrène sulfoné fortement fluorée, susceptible de présenter une résistance chimique supérieure aux matériaux actuels. Ces membranes doivent être optimisées et le procédé de dépôt adapté, notamment pour augmenter la résistance mécanique. Enfin, pour les plaques bipolaires en acier revêtu, les recherches partiront des résultats obtenus avec les revêtements PVD (type CrxN) dont la tenue à la déformation et à la corrosion après emboutissage constituera une référence de comparaison. L'approche, complémentaire, qu'il serait intéressant d'aborder concerne le dépôt sur acier de films polymériques (éventuellement dopés en nanoparticules conductrices) par électro-polymérisation ou de films organiques de type polymère conjugué (polypyrolle, polythiophène ou polyaniline) par voie plasma atmosphérique « sèche ». La littérature a en effet montré qu'une telle approche est réalisable, même si les films déposés par cette approche ne sont pas encore parfaits.

Le consortium initial du projet INNOPEM sera élargi : Materia Nova apportera son expertise dans le domaine des revêtements polymériques dopés et l'INP-Grenoble interviendra en support pour la caractérisation électrochimique fondamentale des catalyseurs bimétalliques. Arceo s.a. interviendra en tant que parrain industriel.

9- IEBS

Titre :

Intelligent Energy Behaviour System.

Promoteur :

The Smart Company sprl

Résumé :

The Smart Company est une société active dans le développement technologique (ICT) destiné à une utilisation plus intelligente de l'énergie. Avec ses solutions, la société vise plus particulièrement les particuliers ainsi que les petites et moyennes entreprises.

Beaucoup de recherche ont été faites dans la gestion de la demande énergétique au niveau industriel. En s'associant avec l'université de Liège dans le cadre de ce projet de recherche, nous voulons travailler ensemble sur les aspects sociologiques et technologiques à mettre en œuvre afin d'influencer la demande en énergie (électrique) des PME et des particuliers.

La recherche porterait sur les aspects suivants :

1. L'analyse du comportement des usagers de l'énergie face à une demande de changement.
2. Les outils technologiques à mettre en place pour agréger les recommandations.
3. Les outils à destination des PME et particuliers qui permettraient d'automatiser l'application de certaines recommandations.

La connaissance approfondie de l'université de Liège sur le « demand side management » et l'expérience acquise auprès des PME et particuliers par The Smart Company représente un atout majeur pour le bon déroulement de ce projet de recherche. Nous pensons que le potentiel de stockage et de déplacement de la courbe chez les particuliers et PME

- constituant le plus gros du tissu économique Wallon – est pour le moment un chaînon manquant et pourtant nécessaire à la constitution d'un réseau électrique intelligent (Smart Grid).

Les résultats de cette recherche permettraient d'avoir une idée plus précise des possibilités de développement du Smart Grid en Wallonie (et ailleurs).

Ceci profiterait à la région ainsi qu'à ses citoyens qui pourraient tirer des effets bénéfiques de l'application des résultats de cette recherche.

10- INDUSTORE

Titre :

Gestion optimisée des moyens de flexibilité, de stockage et de production des grands sites industriels.

Promoteur :

Université Catholique de Louvain, ICTEAM-INGI, Professeur Pierre Schaus

Résumé :

Pour améliorer leur compétitivité les industries belges et européennes doivent continuellement innover tout en maîtrisant leurs coûts. Dans un secteur électrique en pleine mutation, l'accroissement des énergies renouvelables dans le mix énergétique occasionne une augmentation de la volatilité des prix, et rend la production d'électricité moins contrôlable. Les industries électro-intensives doivent par conséquent s'adapter, de manière à bénéficier des prix bas (voire négatifs) lorsque l'offre est élevée, et à pouvoir rendre des services au système électrique pour l'équilibrage et la levée de congestion.

Idéalement, cette adaptation doit se faire à travers l'optimisation des plans de production à l'échelle d'un site industriel, et à un horizon de quelques jours. Elle requiert des mesures afin de pouvoir caractériser empiriquement les processus, et un contrôle centralisé des processus. La plupart du temps les mesures existent, et la centralisation et la capacité de contrôle peuvent être obtenues par l'addition d'une couche de communication aux différents processus. Nous nous intéresserons principalement à l'élaboration d'outils d'aide à la décision pour répondre à la question sensible de l'emploi de ces capacités de contrôle. À cette fin, ce projet propose une modélisation adaptée des processus et des possibilités de stockages et, ensuite, une analyse des variables de décision : comment agencer le déroulement des processus, comment planifier le soutirage et l'injection dans le réseau, l'autoproduction, le stockage (de coproduits), l'achat d'électricité sur le marché de gros ou les contrats long terme. Finalement, les contraintes qui gouvernent le fonctionnement du site doivent être prises en compte : délais de production, contraintes de personnel, ...

Les avantages d'une approche de ce type sont nombreux. D'une part, la mesure et l'analyse des principaux postes consommateurs d'électricité d'une entreprise apportent à elles seules des indicateurs clés aux dirigeants. D'autre part, les achats d'électricité peuvent être optimisés, le respect des engagements en matière de consommation permet d'éviter des pénalités (du gestionnaire de réseau ou du fournisseur), et certaines opportunités de vente de services d'équilibrage ou de levée de congestion peuvent se révéler financièrement intéressantes. À plus long terme, par une meilleure connaissance des consommations, des améliorations de la

politique d'investissement sont envisageables : gestion des contrats de raccordement, achat d'équipements plus flexibles, de capacités de stockage, ... D'un point de vue sociétal, cette approche permettrait de rendre visible au marché la flexibilité cachée dans les processus des sites industriels.

Notre projet s'adresse donc aux différents secteurs industriels électro-intensifs, qui disposent éventuellement de coproduits stockables et convertibles en électricité. En Europe, ces secteurs sont principalement la sidérurgie, la chimie et pétrochimie, la production de papier et carton, l'industrie du bois ainsi que l'agro-alimentaire. Le nombre et les caractéristiques pertinentes des sites industriels cibles, par secteur en Europe, est difficile à évaluer et sera une étape clé dans le cadre de ce projet. Vu le nombre de secteurs et l'importance de chacun, on peut néanmoins déjà deviner à ce stade que le marché est très large. Ensuite, une étape de modélisation des processus sera réalisée afin de déterminer les caractéristiques nécessaires pour en extraire la flexibilité. L'idéal serait d'établir des méthodes de calibrage automatique des modèles grâce aux données mesurées. L'étape suivante consistera à réaliser un logiciel suffisamment général que pour pouvoir représenter les processus industriels les plus répandus et leurs interconnexions au sein d'un site. Cette étape sera accompagnée d'une étude et d'une implémentation des solutions algorithmiques permettant de résoudre efficacement et de manière robuste les problèmes posés.

11- LOOPLASM

Titre :

Stockage d'énergie électrique fatale sous forme chimique par réduction du CO₂ dans un réacteur plasma

Promoteur :

Materia Nova

Résumé :

Une des conséquences de l'appauvrissement prédit des réserves en énergie fossile et sous la pression internationale favorable à la diminution d'émission de gaz à effet de serre, de nouvelles alternatives énergétiques sont maintenant envisagées. Dans ce cadre, les énergies renouvelables sont appelées à jouer un rôle de plus en plus important dans les stratégies à long termes. L'utilisation de ces énergies entraîne cependant de nouveaux challenges. En effet, si des solutions comme l'éolien ou le solaire permettent de produire de l'électricité sans émission de gaz à effet de serre et sans consommation d'énergie fossile, elle est par essence une énergie intermittente. Elle n'est gérable que dans la limite des prévisions météorologiques et ne peut être stockée sous sa forme primaire. On se retrouve ainsi avec un profil de production électrique discontinu et très variable. Ce caractère inconstant ne correspond pas au profil de consommation électrique des pays industrialisés. L'utilisation de ces énergies est par conséquent limitée.

Il résulte de ce constat deux conséquences importantes. D'une part, un système éolien ou photovoltaïque doit être combiné pour être efficace à un système annexe de production électrique pouvant prendre le relais lorsque la demande en électricité excède l'offre (absence de vent, de soleil). Les centrales TGV, utilisant des énergies fossiles sont, à ce jour, utilisées pour suppléer à la demande électrique. Le bilan carbone global de cette électricité « verte » se trouve alors entaché. D'autre part, une quantité non négligeable d'électricité est produite en excès et reste inutilisée lors des périodes de creux de consommation. Afin d'optimiser la situation deux stratégies peuvent être envisagées. La première serait de déplacer les périodes de consommation vers les pics de production. Cette stratégie est irréaliste. La deuxième solution implique de devoir stocker l'énergie électrique pour la redistribuer par la suite. Cette dernière solution est la seule viable économiquement. Cependant, stocker l'énergie électrique sous sa forme primaire est encore difficile à grande échelle. Plusieurs alternatives sont envisagées actuellement. Une première solution est le stockage sous forme d'énergie mécanique par remontée d'eau dans les barrages ou compression d'air pour des turbines. Une autre alternative est de transformer l'énergie électrique en énergie chimique. Dans ce cas l'énergie électrique excédentaire permet de « synthétiser » un

fuel pouvant être réutilisé dans une unité TGV par après. Dans cette optique l'hydrolyse de l'eau fait déjà l'objet de plusieurs études mais semble coûteuse. Comme alternative innovante, nous proposons d'utiliser l'énergie électrique non usitée pour transformer des mélanges contenant du CO₂ en CO. Pour l'industrie, le CO₂ est un « déchet » inévitable dans de très nombreux processus. Les contraintes environnementales poussent les entreprises à réduire la production de CO₂ au travers de processus plus efficaces et à tenter de récupérer le CO₂ produit. Après récupération, deux alternatives sont envisageables : stocker le CO₂ ou le réutiliser. Le CO₂ étant une forme très stable du carbone, sa conversion induira nécessairement un coût énergétique élevé. Les procédés de conversion classiques travaillent à haute température et limite leur intérêt

i.) le rendement énergétique est nécessairement mauvais puisque, par cette voie thermodynamique classique, il faut chauffer tout le réacteur pour le mettre dans une situation d'équilibre favorable ;

ii.) on favorise la production de suies et de coke.

Nous proposons une approche plus efficace du point de vue énergétique. Cette proposition se base sur l'utilisation de plasmas « froids » pour dissocier de manière contrôlée le CO₂.

Ces plasmas sont des milieux hors équilibre thermodynamique ; l'énergie étant essentiellement stockée dans les électrons et non pas dans les particules lourdes. Cette propriété particulière permet de rendre des processus chimiques fortement endothermiques (décomposition du CO₂) possible au sein de la décharge tout en conservant une température faible du réacteur. Ces plasmas peuvent donc réduire le CO₂ de manière efficace pour le convertir en CO. Le CO produit est facilement stockable en attendant d'être utilisé avec des contraintes sécuritaires moindres que pour l'hydrogène. Lors de creux de production ou de pics de consommation celui-ci pourra être injecté en mélange avec du gaz naturel dans une centrale TGV afin de maintenir une alimentation constante. On diminue de cette manière la consommation d'énergie fossile et la formation de nouvelles molécules de CO₂.

12- MODECAP

Titre :

MOdular DEsigned hybrid superCAPacitors : supercondensateurs hybrides et modulaires

Promoteur :

INISMa-CRIBC

Résumé :

Ce projet vise à développer une technologie capable de pourvoir au stockage massif d'électricité pour l'alimentation d'appoint off-grid dans le domaine résidentiel et pour un usage en micro-grid (intégration des énergies renouvelables et régulation de la charge et de la fréquence).

Les supercondensateurs commerciaux présentent une densité de puissance élevée et permettent des temps de décharge particulièrement courts (quelques secondes), mais sont pénalisées par une trop faible densité d'énergie 5 à 10 Wh/kg. La technologie visée permet d'accroître (au moins tripler) la densité d'énergie de ces systèmes et permet également de simplifier le dimensionnement des unités de stockage électrique de manière à les intégrer plus facilement aux dispositifs globaux dans lesquels sont associés la production d'énergie renouvelable et des modes de stockage multiples.

Le projet MODECAP vise l'utilisation de matériaux abondants, peu coûteux et non toxiques, privilégiant notamment l'usage d'un électrolyte aqueux.

Le caractère innovant du projet réside dans l'association de plusieurs formes de stockage électrique, d'une optimisation des matériaux d'électrode et d'une solution originale de dimensionnement des différents éléments constitutifs.

Le paysage wallon industriel compte plusieurs entreprises capables d'intervenir tant en amont qu'en aval de la filière de production ainsi que des utilisateurs potentiels de cette technologie.

13- NANOLION

Titre :

Batteries Li-ion à base d'électrodes nanostructurées et hiérarchisées

Promoteur :

Université de Liège, Département de Chimie appliquée – Laboratoire de Génie chimique – Nanomatériaux, Catalyse, Electrochimie, Dr. Nathalie Job

Résumé :

La problématique de l'intermittence de production d'énergies renouvelables nécessite le recours à des systèmes de stockage d'électricité tels que les batteries. A l'heure actuelle, les batteries Li-ion procurent la densité énergétique la plus élevée parmi les accumulateurs existants, ce qui explique leur omniprésence dans les appareils électroniques portables depuis les années 90.

Néanmoins, leur implantation dans des systèmes de stockage domestiques nécessite des améliorations quant à la densité énergétique, la sécurité, la durabilité et le coût.

Une batterie Li-ion repose sur le principe de l'insertion réversible d'ions Li^+ au sein de matériaux d'intercalation aux électrodes négative et positive lors de la charge et la décharge, respectivement. A l'heure actuelle, les cathodes sont des oxydes de manganèse ou de cobalt lithiés, présentant une toxicité non-négligeable. Au niveau de l'anode, le matériau utilisé est le graphite dont la capacité d'accommodation de Li^+ demeure relativement faible et dont la structure peut s'altérer lors des cycles de charge-décharge. Le développement de nouvelles batteries de capacité et de durée de vie élevées nécessite dès lors à la fois le développement de nouveaux matériaux d'anodes et de cathodes dont la toxicité et le coût seront réduits au maximum.

Le but du projet NANOLION est de développer de nouvelles formulations d'électrodes de batteries Li-ion à base de matériaux nanostructurés, hiérarchisés et composites, afin d'obtenir des batteries de plus haute capacité énergétique et de plus longue durée de vie que les assemblages actuels.

Au niveau de l'anode, un matériau composite de haute capacité sera développé. Le Laboratoire de Génie chimique - Nanomatériaux, Catalyse, Electrochimie (NCE, anciennement Génie Catalytique) possède à ce titre une solide expérience dans la fabrication de xérogels de carbone et carbones mésoporeux ordonnés. Ces matériaux serviront de supports pour la dispersion d'étain ou de silicium. En effet, ces derniers possèdent une capacité d'insertion de lithium très élevée mais ne peuvent être utilisés seuls du fait de leur forte variation de volume lors des cycles d'insertion-

désinsertion. La fabrication de composites permettra de pallier cet inconvénient grâce à la porosité du support carboné.

Côté cathode, les phosphates de fer lithiés (LFP) présentent des avantages notables par rapport aux technologies « LiCoO₂ » : les batteries de ce type supportent beaucoup plus de cycles de recharge, avec de plus une résistance interne qui diminue au lieu d'augmenter avec le vieillissement, et une vitesse de recharge plus rapide. La stabilité de la tension qu'elles fournissent est très élevée pendant presque toute la décharge, elles sont moins polluantes et elles peuvent aussi être stockées sur une longue période. Malgré ces performances, le LFP reste un matériau de cathode de faible densité d'énergie. Dans le cadre de ce projet, l'Unité CNANO(CMI) se focalisera sur l'augmentation de la capacité de ce type de matériau via plusieurs stratégies : (i) la réduction de la taille des cristallites LFP par la synthèse SIHCP (Seeds Induced Hydrothermal Crystallization Process), (ii) la mise au point de matériaux LFP à porosité hiérarchisée, (iii) le coating du LFP par une fine couche d'oxyde ou de carbone (méthode sol-gel), afin d'améliorer la stabilité des cycles ainsi que la vitesse de charge et décharge, et (iv) le dopage par des ions de métaux de transition.

Enfin, un des points-clé des batteries Li-ion reste l'optimisation des échanges électroniques et la gestion de la chaleur. A ce titre, les nanotubes de carbone, utilisés comme additifs aussi bien à l'anode qu'à la cathode, permettront d'augmenter la conductivité électrique des matériaux d'électrodes. En effet, dans le cas de l'utilisation d'un matériau poreux à l'anode, la conductivité électrique est fortement réduite. Par ailleurs, côté cathode, le LFP n'est pas suffisamment conducteur et un adjuvant (généralement du carbone de type SuperP) est absolument nécessaire.

Enfin, qu'il s'agisse de l'anode ou de la cathode, l'adjonction de nanotubes de carbone permet d'augmenter la conductivité thermique, et donc de diminuer les gradients internes lors des cycles de charge-décharge. La société Nanocyl développe des nanotubes de carbone dont les propriétés sont très intéressantes pour ce type d'applications. L'objectif est à la fois de déterminer quels types de nanotubes permettent l'amélioration la plus significative des propriétés des batteries, et de déterminer quels post-traitements (purification et/ou fonctionnalisation en vue d'une mise en suspension) sont nécessaires avant leur introduction dans les formulations des électrodes. Dans ce cadre, l'impact des nanotubes sur la composition et la mise en oeuvre de formulations d'électrodes sera également évalué.

Les nouveaux matériaux composites d'anode et de cathode seront mis au point en collaboration étroite entre les partenaires. Le montage en éléments de batterie et les tests électrochimiques sur banc d'essai seront réalisés à l'ULg et à l'UNamur.

14- NH3-FUEL

Titre :

L'électricité verte intermittente convertie en hydrogène gazeux et ammoniac-fuel liquide.

Promoteur :

PROBATEX SC

Résumé :

Le projet vise le stockage de l'électricité intermittente éolienne et photovoltaïque.

La recherche a pour but la création et le développement du stockage de l'électricité éolienne et photovoltaïque, sous forme d'ammoniac liquide.

Elle étudie les problèmes actuels de son intégration au réseau électrique de l'Union Européenne liés à son caractère intermittent et à sa production, par moments excédentaire.

Elle recherche les sites en Wallonie permettant sa transformation en ammoniac liquide stockable pour assurer la stabilité du réseau de l'Union Européenne et absorber sa production lorsqu'elle y est excédentaire.

L'analyse recherche les conditions optimales de l'industrialisation de la production d'ammoniac vert en Wallonie et comprend l'étude de la faisabilité économique de ce développement.

15- P2B

Titre :

Développement d'une solution technique et de marché d'activation synchrone du stockage d'énergie dans des batteries distribuées par rapport à la production renouvelable individualisée ou groupée en respectant tous les acteurs du marché de l'électricité.

Promoteur :

Tecteo Service groupe SA

Résumé :

Objectif : Développement d'une solution technique et commerciale permettant la valorisation du stockage synchrone de production d'énergie renouvelable dans des batteries distribuées en Wallonie en tenant compte des contraintes de tous les acteurs concernés (client, fournisseur, GRD et éventuellement TSO).

Cette solution de valorisation de stockage synchrone c'est à dire le pilotage de charge de batterie en fonction de la capacité individuelle ou groupée de production renouvelable, sera commercialisable pour :

les clients privés:

Chargement des batteries fixes ou mobile associées au service lorsque celles sont physiquement sur le lieu ou non de production (domicile) par un pilotage synchrone fonction de la production renouvelable réelle

Les clients professionnels: la solution permettra à une entreprise de mettre à disposition de ces membres (en premier lieu ses employés ensuite d'autres membres), la totalité ou une partie de l'énergie renouvelable produite sur son site vers les batteries fixes ou mobiles associées au service.

Par extension, la solution permettra d'offrir d'une manière générale aux membres de ce « réseau » de service, un stockage synchrone des excédents éventuels vers une deuxième ligne de clients préférentiels. Ceci d'une entreprise vers une autre ou vers des participants privés inscrits également dans ce service.

La solution développée veillera à ne pas créer des effets de bords néfastes (ex : congestion électrique au niveau d'un GRD).

Projet: Après une phase d'étude détaillée, un cahier des charges précis sera défini par les partenaires afin de pouvoir développer concrètement la solution technique et commerciale. Celle-ci sera mise ensuite en oeuvre en Wallonie de manière proactive en incluant tous les types de clients (B2B et B2C, min 30 clients par ex de entreprises disposant d'une flotte de chariots élévateurs électriques). Après une période de plus ou moins 6 mois d'évaluation et d'amélioration continue, un déploiement commercial de l'offre en Wallonie sera mis en oeuvre en accord éventuel avec les autorités compétentes.

Concrètement nous développerons la solution sous deux axes :

Technique: afin d'arriver à une solution complète les éléments suivants devront être développés :

- Module d'acquisition et de transmission de l'énergie renouvelable produite
- Module et/ou interfaçage de commande et de comptabilisation de la charge des batteries fixes ou mobiles avec dans la mesure du possible lecture de l'état de charge de la batterie concernée.
- Plateforme de communication, de suivi et de commande incluant les différents algorithmes tenant compte des différentes priorités techniques et économiques (ex : congestion, besoins chez Elia en réglage secondaire R2 et tertiaire R3,...) ainsi que les prévisions de production et de consommation. La base de temps de coordination de l'ensemble sera au minimum quart horaire.

Commercial: le projet mettra au point et contractualisera tous les échanges et valorisations des flux énergétiques et financiers en vue d'un déploiement commercial en Wallonie en fin de projet.

16- PHOTEAULYSE

Titre :

Développement de nouvelles photoanodes nano/microstructurées à base de Fe₂O₃ ou WO₃ pour la production d'hydrogène par photoélectrolyse de l'eau

Promoteur :

Université de Liège, Groupe de Recherche en Energie et ENvironnement à partir des MATériaux, Professeur Rudy Cloots

Résumé :

Dans la perspective d'un **développement durable** avec réduction des émissions nettes de gaz à effet de serre, l'hydrogène semble paré de toutes les vertus car sa combustion ne produit que de l'eau. De plus, sa densité énergétique (120J/g) est trois fois supérieure à celle du pétrole. L'hydrogène fait preuve d'un intérêt croissant dans les domaines de recherche liés à sa production, son stockage et son utilisation. Ainsi l'hydrogène, et son corollaire la pile à combustible, ont été promus depuis quelques années au rang d'alternative énergétique globale pour le 21ème siècle et sont actuellement l'objet d'une véritable mobilisation internationale.

L'hydrogène industriel est actuellement obtenu par la transformation chimique de composés hydrocarbonés ou par l'électrolyse directe de l'eau. Cependant l'hydrogène peut aussi être produit via la **photoélectrolyse de l'eau**, appelée aussi "water-splitting". Il s'agit d'un procédé dans lequel un matériau semi-conducteur absorbe l'énergie solaire et l'utilise pour réaliser une réduction de l'eau ($2 \text{ H}_2\text{O} + 2 \text{ e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2 \text{ OH}^-$) et une oxydation ($2 \text{ OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2} \text{ O}_2 + 2 \text{ e}^-$). La photolyse de l'eau par la lumière visible nécessite un système à deux électrodes (photoanode/photocathode) pour les demi-réactions d'oxydation et de réduction. L'hydrogène stocké permet de plus, par utilisation dans une pile à combustible, de fournir une alimentation électrique continue, même en cas de couplage entre un électrolyseur et une énergie renouvelable intermittente. Un tel système garantit donc l'accès continu à l'électricité dans des zones non reliées au réseau électrique.

Il est maintenant communément admis que la mise au point de **nouveaux matériaux** est un impératif nécessaire à la généralisation de cette technologie innovante de production d'hydrogène.

Les matériaux candidats pour ce type d'application doivent idéalement présenter une bande interdite relativement petite (environ 2 eV) pour permettre une absorption solaire maximale dans le domaine du visible.

Les candidats les plus prometteurs pour la **photoanode** sont le **Fe₂O₃** et le **WO₃**.

En effet, Fe_2O_3 présente en plus de son **abondance naturelle** et de son **faible coût**, un **rendement potentiel de conversion d'énergie solaire en hydrogène (STH) élevé** (16,8 %). Le WO_3 présente également un intérêt potentiel car il est relativement bon marché et stable en milieu aqueux. Bien qu'il présente une valeur de STH plus faible (8%), il permet à ce jour d'atteindre des rendements supérieurs à ceux du Fe_2O_3 .

Jusqu'à présent, la plupart des recherches se sont surtout focalisées sur des considérations liées à la taille de la bande interdite du semi-conducteur, au dopage ou au traitement catalytique de surface sans porter plus d'attention au transport des charges au sein du matériau. Pourtant, la capacité de transporter efficacement à la fois les électrons et les trous améliore l'efficacité de la réaction globale. Par conséquent, un **contrôle** précis de la **morphologie** et de la **nano/microstructure** des électrodes - afin de diminuer la distance à parcourir par les charges pour atteindre l'interface - va ouvrir des portes supplémentaires pour améliorer l'efficacité du process par rapport à un matériau non structuré.

Dans ce projet, nous proposons le développement d'une **nouvelle architecture pour la photoanode** de Fe_2O_3 ou de WO_3 en combinant des **techniques hard/soft templating** afin d'induire une macro/mésoporosité au sein du matériau, ce qui n'a encore jamais été réalisé pour le water-splitting. Cette technique consiste à utiliser des agents structurants en phase solide (billes de polystyrène = lithographie nanosphère), qui seront responsables de la présence de macropores, en combinaison avec des agents structurants « doux » en **phase liquide** (micelles de surfactant), afin d'inclure des mésopores au sein du matériau. La **surface spécifique** de l'électrode sera donc **augmentée** de manière significative. Par ailleurs, le procédé de lithographie nanosphère est également **compatible avec des procédés de dépôts** tels que les procédés **sous vide** afin également d'augmenter la surface spécifique de la photoanode surtout si une structuration macroscopique est souhaitée : les techniques de dépôt par évaporation, pulvérisation (assistée par plasma) en atmosphère contrôlée (pour l'oxydation et/ou le dopage) seront ainsi optimisées pour ces anodes structurées.

Ce process va permettre d'augmenter la capture de la lumière par diffusion mais également de diminuer la distance à parcourir par les trous avant d'atteindre l'interface semiconducteur/électrolyte. Ceci permet de limiter les recombinaisons des paires électron/trou qui sont responsables d'une diminution importante du rendement de conversion.

Le laboratoire **GREENMAT** présente une grande expertise dans la synthèse et la caractérisation de matériaux liés aux technologies de l'énergie et de l'environnement. Au-delà de l'objectif d'optimisation des performances d'un matériau, une thématique transversale à toute notre activité de recherche est le souci d'étudier l'influence de la microstructure sur les propriétés du matériau. Il collabore étroitement avec un des laboratoires de première place mondiale dans le domaine du water-splitting, à savoir le laboratoire du Professeur Graetzel (EPFL, SUISSE). Les compétences du laboratoire **LISE** sont spécifiques aux développements et optimisation de techniques de dépôt sous vide de matériaux en couche

mince (métaux, oxydes, semi-conducteurs et couches organiques) ; cette expertise se complète par des caractérisations physico-chimiques complètes des morphologies, composition, propriétés électriques et optiques...des couches, surfaces et interfaces réalisées.

H2life est une Fondation d'Utilité Publique qui a pour mission de promouvoir tout type de projet de développement durable en faveur des générations présentes et futures, en particulier les projets de recherche technico-scientifiques pour la production d'hydrogène à partir d'eau.

17- PROSPERWAL

Titre :

PROjet de **S**tockage et de **P**roduction d'**E**nergies **R**enouvelables **W**ALLon

Promoteur :

ECOREM SA

Résumé :

PROSPERWAL (PROjet de Stockage et de Production d'Energies Renouvelables WALLon) concerne le développement d'un parc pour le stockage d'électricité, en combinaison avec des unités de production à partir d'énergies renouvelables diverses.

Il s'agit d'un projet innovant et ambitieux ayant pour objectif de répondre aux besoins actuels du contexte énergétique wallon, qui s'inscrit parfaitement dans le cadre de ses ambitions politiques.

18- SMARTWATER

Titre :

Système de régulation du réseau de distribution électrique par intégration de sites géologiques distribués remarquables pour le stockage énergétique par turbinage-pompage hydroélectrique

Promoteur :

MULTITEL

Résumé :

Le projet SMARTWATER a pour but de développer une nouvelle approche d'optimisation de conduite opérationnelle intégrée de plusieurs sources de stockage hydroélectriques dans un but de régulation des systèmes électriques. Ce projet s'inscrit dans un contexte d'une part croissante de la production décentralisée, dans un marché libéralisé dont le modèle évolue et où les missions du gestionnaire du réseau de distribution sont appelées à s'étendre à l'avenir (gestion des congestions, stabilité en tension,...).

Les moyens de stockage visés dans notre approche sont des stockages de moyenne capacité reposant sur des principes d'hydrologie, raccordés sur les réseaux de distribution, à court et moyen terme :

1. L'utilisation de sites de stockage volumineux, tels que d'anciens sites carriers

ou de bassins de décantation industriels en unité de stockage par turbinage/pompage hydraulique de moyenne puissance (1-10 MW) ;

2. Tout autre type de voie hydraulique éligible au principe de stockage hydroélectrique (Retenues d'eau, bassin d'orage,...) de puissance plus faible (0,1 – 1 MW) mais dans une optique distribuée..

Les différents modes de stockage envisagés, complémentaires en termes de capacité et

de distribution sur le territoire, permettront de démontrer le potentiel de duplication du système de pilotage et des méthodologies développées. Ils peuvent être déployés rapidement car ils nécessitent peu de génie civil (point 1, ci-dessus) voire pas du tout (point 2). En outre, leur implantation possible dans des infrastructures hydrauliques existantes (point 2) ou tirant fortement partie de spécificités topologiques (point 1), offre de nombreux avantages en termes de coût d'installation et d'impact sur l'environnement.

Les livrables que se propose de fournir le projet SMARTWATER sont :

- Un système d'intelligence électronique (incluant la solution logicielle, les interfaces de communication logicielles et matérielles et d'éventuels capteurs) de commande et d'optimisation d'un réseau de systèmes de stockage hydraulique adapté aux nouvelles problématiques rencontrées par un distributeur d'énergie électrique (indépendamment du réseau de

transport supérieur) suite au développement massif de productions d'électricité à caractère décentralisé.

- Une méthodologie généralisable mais spécifiquement testée sur le bassin hennuyer, d'une étude technico-économique démontrant le taux de rentabilité que peuvent avoir les différentes approches de stockage hydraulique ciblées dans ce projet (unités de stockage de petite (>100 KW) et moyenne puissance (<10MW). Cet outil d'analyse économique sera spécifiquement dédié aux analyses de sites de stockage compatibles avec la géologie de régions, comme la Wallonie, ne disposant pas de sites exceptionnels comme les pays fortement montagneux. Cette étude identifiera les nouveaux services de soutien au système électrique qui pourraient être assurés par de telles unités de stockage.

Une solution réduite (« maquette ») mais opérationnelle du réseau d'unités de stockage. La mise au point s'effectuera sur un réseau électrique privé de taille réduite, existant, comportant des vrais consommateurs, une production photovoltaïque, mini-éolien, un site de stockage de turbinage/pompage hydraulique de 1000 m³.

- Un outil de planification pour l'installation de nouvelles productions décentralisées. Cet outil permettra notamment de planifier les capacités (mais également leur localisation et les nœuds de raccordement adéquats) de stockage nécessaires afin d'optimiser la bonne intégration de nouvelles unités de production à caractère aléatoire (parcs éoliens, pénétration massive de production photovoltaïque...) sur le réseau. De la même manière, l'exercice inverse (localisation des sites d'implantation les plus favorables pour de la production décentralisée sur la base des opportunités de stockage hydroélectrique préalablement identifiées) pourra également être réalisé avec l'outil développé.

- Un outil d'aide au déploiement de nouvelles capacités de production décentralisée. Cet outil permettra de planifier les capacités de stockage nécessaires pour optimiser le fonctionnement de la nouvelle puissance de production installée et localiser les sites d'implantation les plus favorables sur base des opportunités de stockage hydroélectrique identifiées.

- Un outil d'aide à la gestion dynamique de ces unités de stockage vis-à-vis des contraintes imposées par le système électrique (maintien du profil de tension, comportement suite à un défaut,...).

19- STORE AGE

Titre :

Electrical storage: policy making to support optimal investments

Promoteur :

Université de Liège, Département d'Electricité, d'Electronique et d'Informatique, Professeur Damien Ernst

Résumé :

Ces dernières années, nos sociétés ont investi massivement dans les énergies renouvelables. Ces investissements ont créé plusieurs problèmes au sein de nos systèmes électriques : une plus grande volatilité des prix de l'électricité, des congestions et des surtensions (notamment dans les réseaux de distribution), des problèmes d'équilibrage, ou encore une dégradation de la sécurité d'approvisionnement.

Beaucoup d'ingénieurs et d'économistes s'accordent à ce jour sur le fait que pour éviter ces problèmes dans le futur, nos sociétés doivent dès à présent accompagner le développement des énergies renouvelables d'investissements dans la flexibilisation des moyens de production et de consommation d'énergie électrique. En particulier, des investissements dans des capacités de stockage pourraient constituer une option de grande valeur, car le stockage peut remplir tour à tour les rôles de producteur et de consommateur, sans souffrir des limitations d'une flexibilisation de la charge, par exemple.

Néanmoins, aucun consensus n'existe à ce jour quant aux technologies à utiliser (batteries, stockage sous forme de combustible gazeux, ...), à la création de systèmes de stockage distribués ou centralisés, ou à la localisation précise de ces dispositifs. L'équilibre optimal entre la valeur sociétale apportée par le système de stockage et le coût total de l'investissement en fonction de ses caractéristiques techniques cible doit également être déterminé. Ce sont pourtant des questions fondamentales auxquelles beaucoup de régions du monde – dont la Wallonie – doivent répondre afin de mettre en place les bonnes politiques pour voir émerger des solutions de stockage pertinentes.

Ce projet de recherche adressera cette problématique en déterminant tout d'abord la valeur d'un ensemble d'éléments de stockage connectés au réseau électrique. Différents mécanismes de génération de valeur seront considérés : stocker de l'énergie achetée à bas prix et la revendre à un prix élevé, lever des congestions ou des surtensions sur le réseau électrique, participer à des marchés de capacité, permettre un meilleur équilibrage production-charge à l'échelle du consommateur ou de la communauté locale. Un logiciel informatique permettant de déterminer en fonction des données ad hoc la valeur d'une capacité de stockage sera construit afin de répondre de manière automatique à cette question quel

que soit l'ensemble des éléments de stockage considérés et leurs caractéristiques techniques. Ce logiciel informatique sera par la suite utilisé pour répondre à la question du choix optimal des dispositifs de stockage à intégrer dans un réseau électrique, de leur nombre et de leur localisation. L'optimum proposé sera celui pour la société (et donc in fine celui du consommateur final) et non celui d'un acteur individuel. Il est bien évident que la réponse à cette seconde question impliquera de pouvoir déterminer avec précisions les coûts d'investissements associés à ces dispositifs. Comme le prix des technologies de stockage dépend très fortement de la maturité d'une filière de production et que ces coûts sont dès lors variables dans le temps, l'influence de ces coûts d'investissement sur la solution optimale sera également étudiée. Les besoins locaux (régions urbaines ou rurales par exemple) influenceront aussi cette solution. Pour cette raison, la solution optimale sera analysée pour différents contextes de prix et dans différents contextes locaux. La dernière question à laquelle ce projet entend répondre concerne les mécanismes d'interaction à mettre en place entre les différents acteurs d'un réseau électrique pour favoriser le développement d'un système de stockage optimal dans une structure de marché dérégulée.

20- SUPREMASSY

Titre :

Superconducting Magnetic Storage System

Promoteur :

Université Catholique de Louvain, Centre de recherche en énergie et en mécatronique, Professeur Bruno Dehez

Résumé :

Les systèmes de stockage magnétique supraconducteurs, couramment appelés SMES (Superconducting Magnetic Energy Storage), stockent une énergie dans le champ magnétique d'un bobinage parcouru par un courant continu. L'utilisation de matériaux supraconducteurs est indispensable pour annuler, de manière quasi complète, les pertes Joule au sein du bobinage et ainsi atteindre des courants, et donc des niveaux d'énergie stockée, significatifs.

Par rapport aux autres technologies de stockage, les SMES sont caractérisés par les temps de réponses les plus faibles et les rendements de cycle les plus élevés. En outre, comme les systèmes de stockage inertiel, le nombre de cycles de charge-décharge que les SMES peuvent supporter sans perte sensible du rendement sur ces cycles est très élevé. En revanche, leurs densités massiques de puissance et d'énergie sont dans la moyenne des autres technologies de stockage.

Malgré ces caractéristiques très intéressantes, l'utilisation des SMES est longtemps restée cantonnée à des processus industriels nécessitant, de manière ponctuelle, des puissances très élevées. Cet état de fait s'expliquait principalement en raison des coûts importants engendrés par les systèmes de refroidissement nécessaires pour maintenir les matériaux supraconducteurs en dessous leur température critique. Aujourd'hui, suite aux progrès considérables réalisés dans le développement de matériaux supraconducteurs, la cryogénie reste indispensable mais ne requiert plus de systèmes de refroidissement aussi coûteux. Les performances actuelles, couplées à la baisse du prix des matériaux supraconducteurs et des composants électroniques de puissance assurant le contrôle des flux d'énergie entre les SMES et les systèmes auxquels ils sont reliés, ont ouvert le champ d'application des SMES à toutes les applications liés à la stabilité du réseau et à la qualité de l'électricité.

Dans ce contexte, l'objectif du projet consiste à développer un système de stockage magnétique de capacité réduite destiné à être utilisé sur les réseaux électriques de distribution, afin de participer activement à la stabilisation du plan de tension ainsi que la gestion des congestions et de la qualité de l'électricité. Les enjeux seraient alors de :

1. déterminer les caractéristiques requises de SMES, en termes de capacité en énergie et en puissance ainsi que de performances

dynamiques, en vue de les utiliser pour pallier le caractère fluctuant de l'énergie électrique d'origine renouvelable et ses impacts négatifs, à l'échelle du réseau de distribution ;

2. concevoir des SMES fiables, performantes et à bas coût en s'appuyant sur une bonne connaissance des matériaux supraconducteurs et des techniques de refroidissement, ainsi que sur une approche de conception optimale et incluant les aspects électriques, magnétiques, thermiques et mécaniques ;

3. développer des stratégies de contrôle efficaces pour ces dispositifs.

21- UCES

Titre :

Underground Cavity Energy Storage – Etude de faisabilité complète et modèle prédictif pour sites potentiels

Promoteur :

Université Libre de Bruxelles, ATM, Professeur Patrick Hendrick

Résumé :

Le stockage d'énergie électrique par pompage-turbinage hydraulique (Pump Hydro Energy Storage – PHES) reste aujourd'hui le mode de stockage de prédilection pour de grandes quantités d'énergies stockées et de grandes puissances produites. La solution peut aussi être adoptée pour du stockage centralisé ou décentralisé. Elle est bien adaptée au stockage de l'énergie produite par des sources de production intermittentes et peut servir pour de la production d'énergie ou de puissance, pour les black starts, pour du contrôle de tension, du contrôle de fréquence, du time shifting, de la réserve tertiaire, bref pour l'ensemble des applications réseaux liées au stockage. Le PHES est certainement le mode de stockage préféré des producteurs et des gestionnaires de réseaux (GRT et GRD).

D'autre part, les systèmes utilisés sont robustes et utilisent des technologies matures. Ils n'émettent pas de gaz à effet de serre et sont totalement démantelables en fin de vie. Enfin, les avancées technologiques concernant les machines électriques, les turbines à vitesse variable et les pompesturbines réversibles permettent une grande flexibilité d'utilisation.

Tous ces éléments font du PHES le mode de stockage préféré des producteurs et des gestionnaires de réseaux et même des distributeurs. Cependant, leur inconvénient majeur réside dans leur dépendance aux conditions topographiques, ces systèmes nécessitant en effet un assez grand dénivelé et un espace (haut et bas) suffisant afin d'être économiquement viables. Un autre problème potentiel est leur rentabilité et les problèmes de génie civil conséquents qui sont liés à leur installation. Dans cette optique, un type de PHES innovant est proposé dans ce projet. Il s'agit d'utiliser des cavités souterraines « assez grandes » comme réservoir inférieur du système PHES. On parle alors de UCES ou Underground Cavity Energy Storage.

Le projet aura pour but d'étudier cette nouvelle approche de PHES. Il s'agira de développer les outils nécessaires à l'étude de faisabilité du UCES (particulièrement en Wallonie) et de développer un modèle prédictif pour un site donné quelconque prenant en compte les aspects marché en fonction des différentes utilisations possibles, l'ensemble des composants mécaniques et électriques, les aspects hydrauliques, hydrogéologiques et

géomécaniques du réservoir souterrain, le réservoir supérieur et l'accès au réseau local et national.

Le projet se développe selon différents axes (ou Work Packages):

1. Etude générale du concept et de ses avantages et inconvénients par rapport aux autres solutions de stockage et de PHES et état de l'art complet du domaine,
2. Etude du modèle économique d'utilisation pour les différents scénarii, modèle d'affaires et étude technico-économique du UCES, en se basant aussi sur un cas bien identifié,
3. Caractérisation des sous-sols miniers et définition de cas types à l'échelle de la Wallonie, l'accent au départ étant plutôt porté vers des mines/carrières de schiste et plus particulièrement d'ardoises (des capacités de l'ordre du GWh ont déjà été identifiées),
4. Développement d'un modèle déterministe d'écoulements dans les galeries ou cavités minières couplé à un modèle hydrogéologique des massifs rocheux environnants,
5. Développement d'un modèle du comportement mécanique des massifs rocheux et parois de galeries ou cavités minières sous sollicitations cycliques – liens avec les aspects marchés pour l'analyse des lois de cyclage du site,
6. Aspects mécaniques et électriques et plus particulièrement des pompes-turbines réversibles adaptées, plus que probablement à géométrie variable, essentielles pour renforcer l'intérêt de ce type de stockage hydraulique,
7. Analyse des aspects systèmes de l'ensemble intégré du concept (y compris les travaux de génie civil et d'ingénierie souterraine)
8. Méthodologie pour les études d'impacts environnementaux et de sécurité.

Un partenaire étranger pourrait se rajouter au consortium.