

**Sous le haut patronage  
de Madame Geneviève FIORASO  
Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche**

**ASPROM**  
OPTEZ POUR L'INNOVATION

[www.asprom.com](http://www.asprom.com)

**organise en partenariat avec**



[www.uimm.com](http://www.uimm.com) fr

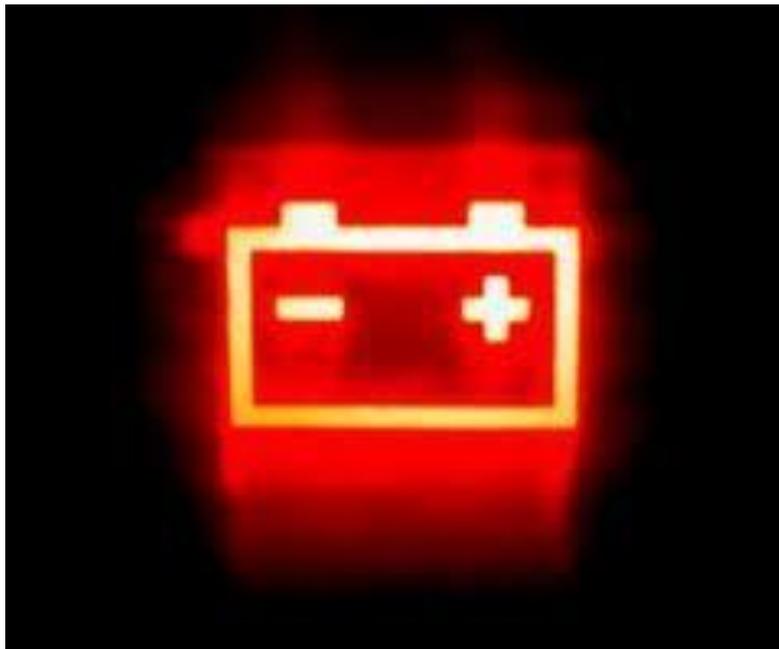


[www.captronic.fr](http://www.captronic.fr)

**Stockage de l'énergie  
Quelles technologies ? Pour quelles applications ? pour Quand ?**

**Mardi 3 et mercredi 4 décembre 2013**

**UIMM 56 avenue de Wagram**



# STOCKAGE DE L'ENERGIE

## Quelles technologies ? Pour quelles applications ? Pour quand ?

3 et 4 décembre 2013  
A L'UIMM, 56 avenue de Wagram 75017 PARIS

Le cabinet d'études et de conseils McKinsey s'est penché sur les innovations de rupture qui auraient, à l'horizon 2025, une incidence majeure sur l'économie mondiale. Parmi les innovations citées se trouve **le stockage de l'énergie** à côté de l'Internet mobile, l'Internet des objets communicants/connectés, l'automatisation du travail intellectuel, le cloud, la robotique avancée, les véhicules autonomes, l'impression 3D.

« Le concept de "stockage d'énergie" est d'apporter de la flexibilité et de renforcer la fiabilité des systèmes énergétiques. Il s'agit d'équilibrer dans le temps l'offre et la demande en énergie, aussi bien pour la fourniture d'électricité, de chaleur et de froid.

Dans le système actuel, le lissage des « pointes » de consommation, c'est-à-dire la régulation de la demande d'électricité aux heures pleines, est principalement réalisé par l'importation d'électricité, la mise en fonctionnement de centrales à gaz ou fioul et le stockage hydraulique (STEP). Le déploiement d'autres systèmes de stockage permettrait, d'une part d'abaisser le coût de l'électricité importée, d'autre part de diminuer, de manière significative, les émissions de CO2 engendrées par l'utilisation de centrales thermiques et la dépendance de la France aux ressources fossiles.

Par ailleurs, le stockage stationnaire de l'énergie, aussi bien le stockage d'électricité que le stockage thermique, apparaît obligatoirement associé au développement des énergies renouvelables en garantissant un courant de « qualité » sur le réseau de distribution. En effet, la production intermittente d'électricité grâce aux énergies solaires et/ou éoliennes engendre des fluctuations importantes qui perturbent et détériorent les équipements de distribution. De plus, cette offre intermittente est souvent en inadéquation avec la demande : c'est, par exemple, au coucher du soleil que nous éclairons et chauffons nos habitations. »

**Au sommaire du mardi 3 décembre 2013**

## **INTRODUCTION AU STOCKAGE DE L'ENERGIE**

**8h30 – 9h : Valeur et potentiel du stockage d'énergies en France à horizon 2030 - Synthèse de l'étude nationale commanditée par l'ADEME, la DGCIS et l'ATEE**

*Par Olivier LACROIX, ENEA CONSULTING*

Au cours de l'année 2013, ENEA , ARTELYS et le G2eLab ont mené, en consortium, une étude sur le potentiel national de stockage d'énergie à l'horizon 2030. Cette étude, financée par l'ADEME, la DGCIS et un consortium d'industriels représentés par l'ATEE (Association Technique Energie Environnement), vise à éclairer le débat public, notamment dans le cadre de la transition énergétique. Les résultats ont été rendus publics début novembre en présence du ministre du redressement productif, M. Montebourg.

Cette étude s'est intéressée particulièrement à la valeur pour la collectivité de l'installation de dispositifs stockage en modélisant économiquement différentes applications : stockage de masse en France métropolitaine, stockage en zone non interconnectée ou encore stockage thermique. Les perspectives offertes par cette étude pour le stockage d'énergie seront présentées en ouverture du séminaire.

**9h – 9h40 : Le stockage stationnaire d'énergie aujourd'hui**

*Par Catherine PONSOT-JACQUIN et Pierre ODRU, Direction de la Stratégie IFP Energies nouvelles*

Le contexte mondial de l'énergie est caractérisé par une forte croissance de la demande énergétique mondiale avec néanmoins une grande disparité régionale, couplée à une volonté affichée de réduction des émissions de gaz à effet de serre. La période actuelle est une période de transition énergétique structurée autour de la diversification des sources d'énergie où la disponibilité en énergie et la stabilisation des réseaux sont les conditions *sine qua non* de l'équilibre du système électrique. La notion de flexibilité entre production et consommation est aussi primordiale pour couvrir les besoins à l'instant t.

Le stockage est une des solutions pour répondre aux problématiques d'aujourd'hui, tant pour sa réponse à des besoins en capacités supplémentaires qu'en puissance rapide.

Le stockage de l'énergie concerne principalement le stockage de l'électricité et celui de chaleur.

Le stockage de l'électricité vise à répondre à quatre problématiques principales : récupération de la production excédentaire d'énergie par rapport à la demande du moment, fourniture d'énergie pour compenser l'insuffisance due au caractère intermittent de l'offre, fourniture d'énergie pour alimenter un pic de demande occasionnel et fourniture d'énergie en cas de défaillance du système électrique ou de mauvaise qualité du réseau local.

Le stockage de la chaleur est avant tout destiné au chauffage et à la climatisation des bâtiments, de la maison individuelle au quartier ou au village.

A ce jour, le stockage direct de l'énergie électrique n'étant pas possible, l'électricité est convertie en énergie potentielle qui est stockée puis récupérée et retransformée pour être utilisable. Par contre, la chaleur peut être stockée directement via un matériau spécifique ou transformée en énergie chimique par exemple.

La nature du stockage est multiple et fonction du temps de décharge, de la puissance et de la durée requises. Le stockage peut être à usage délocalisé ou centralisé, de façon fixe, il est alors désigné comme stationnaire mais il peut être aussi mobile, il est alors qualifié d'embarqué (moyens de transport, appareils électroniques, etc.).

Les technologies de stockage stationnaire de l'énergie se déclinent selon quatre catégories, chaque catégorie répondant plus particulièrement à un service et à un besoin en capacité donné :

- Énergie mécanique (potentielle ou cinétique): stockage gravitaire par pompage (STEP), stockage par air comprimé (CAES), volants d'inertie ;
- Énergies électrochimique et électrostatique : batteries, condensateurs, superconducteurs ;
- Énergie thermique et thermochimique : chaleur sensible ou chaleur latente, énergie par sorption ;

- Énergie chimique : hydrogène, méthanation, etc.

Le stockage permet de répondre à différents types de fragilité du réseau électrique, tels que la forte pénétration des énergies intermittentes, un manque de robustesse du réseau intérieur, un réseau non ou mal interconnecté avec l'extérieur, ou encore un déficit temporaire en capacités de production.

Mais le stockage n'a pas pour le moment trouvé son marché ; ses modèles d'affaire sont très aléatoires (sauf en régions isolées) notamment en raison de son coût mais aussi en raison de l'absence d'un cadre réglementaire, en Europe particulièrement, qui définisse le positionnement des installations de stockage au sein de la chaîne énergétique.

### **9h40 – 10h20 : Le stockage de l'énergie dans le cadre de la « Troisième Révolution Industrielle de la région Nord-Pas-de-Calais**

*Par Roch DROZDOWSKI, Chef de mission smart grids, Direction Finances et Marchés, Délégation Stratégie Régulation, GrDF*

*Pilote du GT « Stockage de l'énergie et hydrogène » auprès de la Région Nord-Pas de Calais dans le cadre du projet de Troisième Révolution Industrielle piloté par Jeremy RIFKIN*

Le stockage de l'énergie est une clef de la transition énergétique. Il contribue en effet aux besoins de flexibilité et de gestion intelligente des systèmes énergétiques. Il peut être générateur d'activités et d'emplois au niveau régional, contribuer à faire émerger une filière d'excellence française et permettre l'exportation des technologies et des savoir-faire sur un marché mondial du stockage à fort potentiel de croissance.

Dans le cadre du projet de « Troisième Révolution Industrielle » en région Nord-Pas-de-Calais, l'ambition du groupe de travail « stockage de l'énergie et hydrogène » est d'identifier les filières de stockage les plus prometteuses dans le contexte de scénarios de transition énergétique à court (2020), moyen (2030) et long terme (2050).

Roch DROZDOWSKI propose de revenir sur le déroulement de la mission confiée à Jeremy RIFKIN pour produire un Master Plan régional rendu public en octobre 2013. Il partagera les éléments de cadrage ainsi que les recommandations produits par le groupe de travail « stockage de l'énergie » en les articulant avec la vision de « Smart Grids » développée par GrDF.

### **10h20 – 10h50 : Pause café**

## **10h50 – 11h20 : Les différentes technologies de stockage de l'électricité et leur pilotage**

*Par Arnaud DELAILLE, CEA, laboratoire de stockage de l'électricité*

Les besoins en stockage d'électricité sont multiples. On différencie généralement les applications embarquées (nomades ou véhicules) des applications stationnaires. Au sein des applications stationnaires, on différencie les systèmes connectés au réseau et les systèmes autonomes. Les réponses aux besoins de stockage électrique sont très variées y compris au sein de la seule famille du stockage par voie électrochimique.

Le laboratoire de stockage de l'électricité développe ses compétences pour l'optimisation de la gestion de toutes technologies de stockage électrochimique commerciales. Outre une connaissance approfondie des cellules unitaires, le laboratoire développe des algorithmes de gestion optimale à toutes les échelles d'intégration, de la cellule au module et pack (échelle courant continu) et au système intégré (incluant la conversion).

Après une discussion des modèles d'affaires du stockage qui sont actuellement en constante évolution, cette contribution présentera quelques points spécifiques sur le dimensionnement des systèmes et les paramètres à prendre en compte pour optimiser celui-ci, autant en termes de performances initiales qu'en termes de durée de vie. Une mise en évidence sera faite de l'importance de l'intégration au système qui impacte grandement le rendement global et donc la rentabilité.

## **STOCKAGE PAR AIR COMPRIME**

### **11h20 – 12h : Le stockage adiabatique de l'air comprimé en cavités minées**

*Par Faouzi HADJ-HASSEN, ECOLE DES MINES  
PARISTECH, Centre de Géosciences*

Le caractère fluctuant et intermittent des énergies renouvelables ainsi que le coût élevé de modulation des centrales nucléaires nécessitent le renforcement de la maîtrise des flux énergétiques entre l'offre et la demande d'électricité. Le stockage d'énergie à grande échelle, capable d'afficher une puissance supérieure à 100 MW pourrait constituer alors une réponse pertinente à cette problématique.

Technologie existante mais imparfaite, le CAES (*Compressed Air Energy Storage*) ou stockage d'énergie par compression d'air consiste à stocker l'énergie sous forme d'air comprimé, dans une cavité souterraine, puis à la restituer via une turbine produisant à nouveau de l'électricité. Ce système souffre de deux limites : on ne sait actuellement pas récupérer la chaleur produite lors de la phase de compression de l'air, et un nouvel apport énergétique (souvent d'origine fossile) est à nouveau nécessaire pour réchauffer l'air lors de la phase de décompression. Ces installations affichent donc un faible rendement, de l'ordre de 50 % et émettent du CO<sub>2</sub>.

Le centre de Géosciences de MINES ParisTech, en partenariat avec GDF SUEZ, Saint-Gobain et CEA/LITEN participe au projet SEARCH, cofinancé par l'ANR, dont l'objectif est de développer le concept du stockage avancé d'énergie par compression adiabatique d'air (*Advanced Adiabatic – Compressed Air Energy Storage, AA-CAES*). La récupération de la chaleur de compression permettrait dans ce cas de fonctionner sans apport d'énergie extérieur et d'améliorer le rendement électrique de l'installation.

La mise au point d'un tel dispositif a impliqué la résolution de très nombreux problèmes. Il a fallu concevoir un système de stockage thermique (régénérateur), envisager la structure et le creusement des cavités souterraines, étudier la stabilité de ces cavités dans le temps, évaluer les performances du système de stockage lorsqu'il opère avec l'air humide et enfin analyser son impact environnemental et sa rentabilité économique.

La présentation commence par exposer le principe général du stockage d'air comprimé en cavités souterraines et décrit brièvement les principaux résultats obtenus. Une attention particulière est accordée au sujet du revêtement des cavités notamment au niveau des régénérateurs où les fortes sollicitations thermiques et mécaniques cycliques envisagées peuvent conduire à l'endommagement de la roche hôte et par conséquent à l'instabilité des ouvrages souterrains. Dès lors, la définition d'un revêtement approprié permettant de limiter les pertes de chaleur, d'une part, et d'assurer l'étanchéité du système et sa stabilité, d'autre part, constitue un élément essentiel dans la conception du stockage. Les différentes options sont alors discutées et les approches scientifiques mises en œuvre pour justifier les solutions proposées sont expliquées.

**12h– 12h40 : Stockage d'air comprimé en cavité saline (projet SACRE)**

*Par Pierre BEREST, Laboratoire de Mécanique des Solides, Ecole Polytechnique*

Le stockage d'air comprimé sous pression (Compressed Air Energy Storage) constitue, avec les STEP, une des techniques permettant de stocker l'électricité à grande échelle. L'air est comprimé quand un excès d'électricité est disponible et il alimente une turbine quand la demande d'électricité est forte. Il existe dans le monde deux stockages d'air comprimé en cavité saline, à Huntorf en Allemagne et à McIntosh aux USA. L'air est stocké entre 45 et 70 bars, le volume de stockage est de l'ordre d'un million de m<sup>3</sup> et la puissance disponible, à Huntorf par exemple, est de 250 MW pendant 3 heures. Le rendement est inférieur à 50%, notamment parce que la chaleur engendrée à la compression de l'air est perdue. Le projet SACRE (EDF, Geostock, Ecole Polytechnique, Promes à Perpignan, L2EI à HEI Lille), soutenu par l'ANR, vise à récupérer cette chaleur pour réaliser un stockage « adiabatique » dont le rendement soit de l'ordre de 70%.

Le stockage d'air comprimé en cavité saline soulève diverses questions techniques, étanchéité des cavernes, corrosion des tubes, fatigue de cavernes exploitées avec des cycles journaliers de pression. On présentera les recherches conduites pour résoudre ces problèmes.

**12h40 – 14h : Déjeuner**

## **ENERGIES THERMIQUE ET THERMOCHIMIQUE**

La chaleur est trop souvent négligée ou oubliée dans la législation européenne au profit de l'électricité, alors même que les bâtiments, première source de consommation d'énergie, consomment deux fois plus de chaleur que d'électricité.

**14h – 14h40 : Le stockage géologique de l'énergie thermique - déjà une réalité**

*Par Hervé LESUEUR, BRGM*

Associées ou non à des pompes à chaleur géothermiques (PACg), certaines techniques géothermiques permettent déjà d'assurer une gestion annuelle des stocks d'énergie thermique. Dans les grandes lignes, on peut essentiellement distinguer deux approches. La première approche revient à constituer un stock thermique dont le niveau de la température correspond à une demande, le plus souvent pour du chauffage mais cela peut être pour du rafraîchissement. La

seconde approche vise à alternativement utiliser le stock thermique pour des usages de chauffage (en hiver) et des usages de rafraîchissement (en été) - de fait, on constitue un stock chaud en été et un stock froid en hiver.

Sur la base de quelques exemples technico-économiques d'opérations existantes et de simulations, la présentation introduira les principales solutions géothermiques qui procurent une fonctionnalité de stockage d'énergie thermique et les perspectives envisageables à court moyen terme, par exemple en matière d'hybridation avec diverses sources ENR. Une information sur les programme de R&D les plus récents sera donnée.

### **14h40 – 15h20 : Stockage thermique dans les centrales électrosolaires**

*Par Régis OLIVES, Enseignant-chercheur – UNIVERSITE DE PERPIGNAN - PROMES-CNRS*

Les centrales électrosolaires qui associent un cycle thermodynamique classique avec un système de concentration du rayonnement solaire présentent l'avantage de pouvoir intégrer un stockage d'énergie. Suite à la concentration du rayonnement solaire, le fluide caloporteur délivre une quantité de chaleur que l'on peut stocker dans de grand réservoir. Cette énergie pourra être ensuite restituée et permettre la production d'électricité en fin de journée où la demande est forte. Le stockage constitue ainsi un élément clé dans la centrale puisqu'il assure la qualité de la production en lissant les intermittences de la ressource solaire et la mise en adéquation avec la demande en électricité sur le réseau. Ce stockage à haute température bien souvent basée sur la chaleur sensible nécessite de relativement grandes quantités de matériaux. Prenons un exemple de centrale implantée au sud de l'Espagne, la centrale Gemasolar d'une puissance électrique de 20 MW comporte 8900 tonnes de matériaux de stockage. Le stockage contribue à l'équivalent de 15 heures supplémentaires de production d'électricité. Les recherches menées au laboratoire PROMES-CNRS en partenariat avec d'autres laboratoires et entreprises consistent, en particulier à élaborer de nouveaux matériaux de stockage présentant des coûts et des impacts environnementaux réduits, des propriétés thermophysiques adaptées et une durée de vie compatible avec l'ensemble de la centrale, et à développer des unités de stockage performantes.

L'exposé démarrera par un état des lieux sur le stockage thermique par chaleur sensible et latent, permettant de voir les matériaux utilisés ainsi que les applications visées. Il sera illustré par quelques exemples, dans le domaine basse température, dédiés au secteur du bâtiment et, dans le domaine haute température, dédiés plutôt aux centrales électrosolaires

### **15h20 – 15h50 : Pause café**

### **15h50 – 16h30 : Stockage intersaisonnier de l'énergie solaire par procédé thermochimique**

*Par Lingai LUO, Directeur de recherche CNRS, LTN UMR 6607,  
CNRS-UNIVERSITE DE NANTES*

Le stockage de l'énergie solaire thermique s'avère aujourd'hui nécessaire si on veut atteindre une meilleure efficacité et une utilisation à grande échelle de cette ressource. Le stockage par procédés thermochimiques se révèle être adapté au stockage de chaleur sur le long terme (cycles saisonniers ou pluriannuels) parce qu'il présente de moindres pertes thermiques par rapport au stockage sensible ou latent. Malgré les avancées significatives faites ces dernières années dans ce domaine, il n'existe pas aujourd'hui de système achevé dédié à ce type de stockage.

L'objectif de la présente présentation (projet PROSSIS) est de démontrer la faisabilité d'un procédé de stockage de chaleur solaire à long terme par absorption pour le chauffage des bâtiments. L'idée innovante du système proposé est de stocker l'énergie thermique non plus sous forme de chaleur sensible ou latente, mais sous forme de potentiel chimique par l'intermédiaire d'un système à absorption. Ainsi, la durée de stockage de l'énergie peut être « infinie », puisque le stockage sous forme de potentiel chimique est à température ambiante.

### **16h30 – 17h10 : Stockage longue durée d'énergie solaire par procédés solide-gaz**

*Par Nolwenn LE PIERRES, Maître de Conférences au laboratoire  
LOCIE, UNIVERSITE DE SAVOIE*

Le stockage de l'énergie solaire thermique par procédés à sorption peut se faire par l'intermédiaire de phénomènes liquide-gaz, comme présenté dans la conférence précédente (L. Luo), mais peut également être réalisé par l'intermédiaire de phénomènes solide-gaz (phénomènes d'adsorption ou de sorption chimique). Les enjeux scientifiques soulevés dans ce cas sont très différents de ceux abordés dans le cas de l'absorption.

En se basant sur l'exemple du projet ANR STAID, les différences entre les différents systèmes seront mises en évidence. Des résultats de simulation du procédé global seront présentés, ainsi que des résultats expérimentaux obtenus dans le cas de l'utilisation du stockage par adsorption pour le chauffage d'un bâtiment performant à partir d'énergie solaire thermique basse température.

### **17h10 – 18h : Stockage et transport du froid par l'utilisation d'un fluide frigoporteur diphasique.**

*Par Yann KAPLAN, Directeur Général de KAPLAN ENERGY*

Depuis l'existence de la production de froid industriel, l'eau glacée est utilisée pour le transport et le stockage du froid autour des 0°C. L'innovation technologique Cryosol<sup>®</sup> permet d'utiliser la chaleur latente de Matériaux à Changement de Phase (MCP) pour transporter et stocker facilement le froid. L'utilisation des MCP comme fluide caloporteur permet également de réduire de manière surprenante la taille des réservoirs de stockage de 3 à 12 fois selon la plage de température choisie.

L'innovation présentée utilise une émulsion de MCP à haute chaleur latente. Le changement de phase se faisant à température constante il est donc possible d'obtenir un fluide frigoporteur diphasique pouvant absorber une grande quantité d'énergie tout en restant stable dans le temps.

La technologie diphasique Cryosol<sup>®</sup> est un fluide prêt à l'emploi directement pompable qui peut être utilisé indifféremment dans des circuits nouveaux ou existants.

Cette innovation technologique a été développée pour toutes les applications faisant appel au froid notamment les installations frigorifiques tertiaires et la réfrigération industrielle.

**Au sommaire du mercredi 4 décembre 2013**

## **ENERGIES ELECTROCHIMIQUE ET ELECTROSTATIQUE**

### **9h – 9h45 : Batteries Lithium-ion et stockage des énergies renouvelables : de la maison autonome en énergie à la transition énergétique**

*Par François BARSACQ, Fondateur & CEO de EASYLI ADVANCED BATTERY SYSTEMS*

Le déploiement massif des sources de production décentralisées d'électricité d'origine renouvelable, solaire photovoltaïque comme éolienne, ainsi que leur caractère intermittent et imparfaitement prévisible, rendent indispensable la mise en place de systèmes de stockage d'énergie au plus près de la production. De nombreuses technologies électrochimiques apparaissent comme des candidats crédibles à court ou moyen terme en fonction des besoins de puissance et d'énergie à satisfaire. Parmi celles-ci, le marché des véhicules électriques a permis le développement d'une filière industrielle de fourniture de batteries Lithium-ion de grande taille bien adaptées au stockage décentralisé des énergies renouvelables pour des systèmes résidentiels de quelques kWh jusqu'à des

installations de plusieurs MWh sur de grands champs photovoltaïques ou éoliens.

L'exposé de François BARSACQ permettra de faire le point sur les différentes technologies électrochimiques utilisables pour le stockage des énergies renouvelables en regard des besoins à satisfaire, avec un éclairage particulier sur les technologies au Lithium. La présentation sera illustrée par des exemples concrets d'applications en France et à l'international et essaiera de projeter le potentiel de ces marchés à l'horizon 2020.

### **9h45 – 10h30 : La Batterie métal-air électriquement rechargeable, une rupture !**

*Par Philippe STEVENS et Gwenaëlle TOUSSAINT, EDF R&D,  
Département LME*

A mi-chemin entre une batterie et une pile à combustible, la batterie métal-air réunit les avantages des deux technologies. Elle est rechargeable électriquement et ne dépend pas d'un approvisionnement en gaz. Elle est légère et compact car seule la matière active de l'électrode négative est stockée dans la batterie, la positive (l'oxygène) est disponible dans l'air ambiant, et la négative est présente sous sa forme la plus concentrée, le métal. Elle n'est pas limitée en énergie par l'électrode positive car la matière active est toujours disponible et illimitée. Elle utilise un électrolyte aqueux qui ne peut pas s'enflammer et il n'y a pas d'emballage thermique. Enfin, elle ne contient pas de produits toxiques ou nocifs pour l'environnement. Grâce à tous ces atouts, la batterie métal-air présente une rupture dans le domaine des batteries. Déjà présentes sous forme primaire, elles sont commerciales, comme par exemple les piles zinc-air pour prothèses auditives. Néanmoins, il n'existe pas de batterie métal-air rechargeable. La charge présente une réelle difficulté qui sera détaillée.

EDF R&D et ses partenaires développent deux types de batteries métal-air rechargeable électriquement : une batterie lithium-air avec pour objectif de produire une batterie à très haute densité d'énergie et une batterie zinc-air avec pour objectif de produire une batterie avec des performances proches du lithium-ion mais à une fraction de son coût. Les deux technologies seront présentées.

### **10h30 – 11h : Pause café**

### **11h – 11h30 : Perspectives de développement des technologies Lithium-ion**

*Par Sébastien Martinet Expert Sénior Batteries au CEA*

Les batteries Li-ion sont des systèmes rechargeables permettant d'atteindre de hautes densités d'énergie et donc de grandes autonomies, avec des applications

embarquées variées dans le domaine du terrestre et de l'aérospatial. Depuis quelques années, des améliorations significatives de leurs densités de puissance ouvrent la voie à l'application de cette technologie vers de nouveaux domaines comme les véhicules lourds ou la régulation de réseaux électriques.

Les travaux actuels sur les matériaux actifs d'électrode (positive ou négative) pour batterie au lithium visent en particulier à rechercher des compositions et des caractéristiques physico-chimiques susceptibles de repousser au mieux les limitations. Aux performances techniques requises pour les systèmes de stockage électrochimiques s'ajoutent des critères d'importance croissante, à savoir le coût, la sécurité, l'indépendance vis-à-vis de la concurrence étrangère, et les marchés potentiels.

Perspectives de développements, indicateurs de performances clés et marchés ciblés seront discutés dans notre exposé, appuyés par des études de cas.

### **11h30 – 12h15 : Le stockage supercapacitif**

*Par Pascal VENET, Professeur à l'UNIVERSITE LYON 1, laboratoire AMPERE UMR CNRS 5005.*

Avec l'avènement des supercondensateurs de puissance (possédant des capacités de plusieurs milliers de Farad) le Farad n'est plus considéré comme une grande unité. Grâce à leur capacité volumique très élevée, les supercondensateurs peuvent être utilisés dans de nombreux secteurs pour le stockage de l'énergie. Compte tenu de leur rapidité de charge, de nombreuses applications sont envisageables pour récupérer de l'énergie.

L'exposé présente le principe, les caractérisations, les modélisations envisageables, le vieillissement, les évolutions à envisager de ces composants de stockage ainsi que leurs mises en œuvre (équilibre) et les applications potentielles dans lesquelles ils sont et peuvent être utilisés.

### **12h15 – 13h : KER GRID : le BUILDING SMART GRID**

*Par Marc AUBRY : Directeur du Syndicat Départemental d'Energies du Morbihan (SDEM) et Jean-Jacques DANIEL : Directeur Projet Energy Management Services, SCHNEIDER - ELECTRIC*

***Réalisation d'un démonstrateur « système de stockage et de gestion de l'énergie Building Smart Grid » chez SDEM\****

***Contexte :***

Le réseau électrique breton connaît régulièrement des périodes de saturation : "lors des pics de consommation, d'avarie sur le réseau de transport, ou de l'arrêt des moyens de production... ». Dans l'esprit du « Pacte Électrique Breton », le SDEM entend contribuer à l'autonomie énergétique en Bretagne.

Il y a deux ans, le SDEM a profité de la réflexion menée sur la construction de son futur siège à Vannes pour mettre en place un groupe de travail sur le sujet. Schneider Electric s'est joint au projet afin de mener une expérimentation dont le premier objectif est de doter cet immeuble tertiaire de 3.300 m<sup>2</sup> d'un moyen de : **production, stockage-déstockage, régulation, et de gestion d'énergie.**

En connectant ce système au réseau électrique morbihannais dont il est propriétaire, le SDEM va pouvoir expérimenter en vraie grandeur la disponibilité en électricité grâce aux possibilités d'effacement lors des pics de consommation.

### ***Le Système :***

Le cœur système est constitué par le PMS (Power Management System). Construit sur base d'une architecture d'automates & de réseaux informatiques, il assure la gestion des flux d'énergie entre :

- le réseau de distribution d'énergie,
- les productions réalisées localement (photovoltaïque, éolien),
- le stockage-déstockage sur batteries,
- le système de recharge des véhicules électriques,
- le système de Gestion Technique du Bâtiment.

### ***Le Projet :***

Ce projet comprend les études, la conception, la réalisation industrielle, et la mise en service du Système : "onduleurs, batteries, automatismes, superviseur, et plateforme logiciel de suivi des flux énergétiques."

### ***L'Exposé :***

Présentera la genèse du projet, le cheminement des études, et la structure déployée sur le projet KER GRID.

Seront présentées les impacts, tant sur le plan technologique que juridique, les inconnues non identifiées et leurs traitements.

Présentation du premier retour d'expérience client et constructeur, et des objectifs de l'expérimentation sur les 3 années à venir.

**13h – 14h : Déjeuner**

## **STOCKAGE HYDROGENE, METHANE**

Pour que l'hydrogène puisse réellement devenir le vecteur énergétique de demain, il faut qu'il soit disponible à tout moment, et en tout point du territoire. Mettre au point des modes de transport, de stockage et de distribution efficaces représente donc un enjeu crucial.

**14h – 14h45 : POWER TO GAS**

*Par François LE NAOUR, Responsable du programme Hydrogène et Biocarburants, CEA*

Le stockage de l'électricité produite en excédent par les énergies renouvelables intermittentes (solaire, éolien,..) devient un véritable enjeu des prochaines années. Si les batteries répondent à ce besoin dans le cas de capacités limitées et de durées relativement courtes, le stockage à la semaine ou inter saisonnier n'est envisageable qu'au travers de technologies telles que l'hydraulique avec pompage (STEP) ou bien le stockage d'air comprimé (CAES). Ces deux technologies présentent une empreinte au sol importante et ne peuvent être déployées que dans des conditions bien particulières.

L'alternative à ces technologies consiste à stocker l'énergie sous forme chimique. La molécule la plus énergétique étant l'hydrogène, c'est d'abord vers celle-ci que la plupart des travaux ont porté ces dix dernières années. Mais cette voie bute régulièrement sur l'absence d'infrastructure pour gérer l'hydrogène et sur une réglementation qui a encore du mal à accepter ce vecteur énergétique.

Pour pallier ces inconvénients, une voie innovante développée par les allemands et reprise depuis par de nombreuses équipes consiste à utiliser le réseau de gaz naturel comme réservoir de capacité quasi infinie réserve énergétique quasi illimitée. On peut alors y injecter de l'hydrogène produite à partir de renouvelables, mais on peut aussi produire du CH<sub>4</sub> à partir d'hydrogène et de CO<sub>2</sub> pour là encore augmenter le potentiel de gaz vert dans le réseau de gaz naturel. Cette dernière alternative conjugue l'intérêt de stocker les énergies renouvelables excédentaires tout en offrant une voie de valorisation du CO<sub>2</sub>.

**14h45 – 15h30 : Stockage comprimé de l'hydrogène**

*Par Fabien NONY, CEA*

**15h30 – 16h : Pause café**

**16h – 16h45 :L'hydrogène, une solution pour le déploiement des énergies renouvelables – expérimentation MYRTE**

*Par Philippe POGGI, Professeur des Universités, Laboratoire  
SPE UMR CNRS, UNIVERSITE DE CORSE*

Le caractère fluctuant et intermittent des énergies renouvelables comme le solaire et l'éolien nécessitent de travailler à la fois sur le foisonnement de ces installations (via la répartition sur un territoire donné) et sur leur couplage avec du stockage de l'énergie électrique. Cette problématique est d'autant plus forte que le territoire se trouve en milieu insulaire ou sur des territoires non interconnectés avec un réseau continental. Dans ce cas, la limite d'énergies renouvelables intermittentes fixée à ce jour en France est de 30% d'énergies « fatales » de la puissance appelée à un moment donné. Le stockage d'énergie est donc envisagé pour s'affranchir de cette limite.

Technologie non encore mature, il semblait intéressant d'aller explorer la filière hydrogène couplée à des systèmes de production à sources renouvelables d'énergie. Pour cela, le laboratoire SPE UMR CNRS de l'Université de Corse en partenariat avec AREVA Stockage de l'Energie et le CEA/LITEN ont mis en place une plateforme de taille industrielle, MYRTE, couplant une centrale photovoltaïque et une chaîne hydrogène constituée d'un électrolyseur de type PEM, de citernes de stockage de l'oxygène et de l'hydrogène et d'une pile à combustible de type PEM.

La mise au point d'un tel dispositif a impliqué la résolution de très nombreux problèmes par le développement d'outils de dimensionnement, d'optimisation et de simulation. A partir de là un algorithme de pilotage de l'installation a été réalisé. Les autres problèmes ont été liés à la réalisation de l'installation, problèmes non pas d'ordres techniques, mais plutôt réglementaires et administratifs.

L'objet de la plateforme est multiple. Il doit permettre à notre partenaire de qualifier sa technologie, de mettre en place ses procédures de maintenance, d'un point de vue scientifique et technique, de travailler sur l'hybridation complexe de systèmes énergétiques, d'étudier la chaîne dans sa globalité et d'analyser tous les flux (chaleur, gaz, électrique) en vue et d'améliorer le rendement électrique de l'installation, d'analyser sa rentabilité économique selon le dimensionnement de l'installation et de l'usage de l'énergie stockée....

La présentation exposera tout d'abord la problématique énergétique des territoires insulaires, puis le principe général du stockage par hydrogène. Une attention particulière est accordée à l'installation MYRTE (principe de fonctionnement, recherches, premiers résultats). Les deux types d'application envisagés seront détaillés :

1. écrêtage de pointe sur le réseau électrique,
2. lissage de la production photovoltaïque (type appel d'offre de la CRE « Photovoltaïque et stockage dans les îles ») et comment le dispositif de pilotage utilise les méthodes développées par le laboratoire sur la prédiction de la ressource solaire afin de piloter au plus près un tel système.

Nous finirons la présentation par les perspectives sur le court terme (déploiement de la greenenergy box d'Areva SE, de stockage hydrure de McPhy) et le moyen terme sur l'évolution de la plateforme.

### **16h45 – 17h30 :L'autonomie énergétique pour les sites isolés.**

*Jean-Michel AMARÉ, PDG d'ATAWEY*

Ataway propose une solution 100 % autonome garantissant la couverture de l'intégralité des besoins électriques pour un site isolé toute l'année sous toutes les latitudes, sans aucun approvisionnement en carburant. Cette innovation est une combinaison particulière de technologies hydrogène avec des batteries permettant de lisser la production et la consommation et de stocker l'énergie renouvelable pendant plusieurs mois sans pertes.

Ces produits sont spécialement conçus pour répondre aux besoins d'énergie jusque 20MWh/an dans des conditions extrêmes. Leur architecture modulaire permet de s'adapter aisément à une évolution du besoin d'énergie à long terme. C'est enfin une solution durable en parfaite cohérence environnementale, sûre et fiable.

La présentation exposera tout d'abord la problématique énergétique des sites isolés, puis le principe général du système. Nous finirons la présentation par les perspectives marchés à court et moyen terme.

