



Programme du 2<sup>ème</sup> séminaire interne du GIS PERLE consacré aux

## « Nouveaux projets "Energie" en Région Pays de la Loire »

Lundi 12 mars 2018

Polytech Nantes, Site de la Chantrerie, Salle Nautilus, Bât. IHT (1<sup>er</sup> étage)

Axe	Thème	Titre	Orateur(s)	Adresse mail orateur	Laboratoire(s)	Horaire
Accueil Café : 9h30-10h Présentation de la journée : 10h-10h10						
Axe solaire - photovoltaïque	Architectures de modules photovoltaïques	Nouvelles architectures de modules photovoltaïques en couches minces à base de couches minces de Cu (In,Ga) Se <sub>2</sub> (CIGS)	Ludovic Arzel	<a href="mailto:ludovic.arzel@univ-nantes.fr">ludovic.arzel@univ-nantes.fr</a>	IMN	10h10-10h30
	Matériaux inorganiques	Étude cristalochimique de matériaux inorganiques pour des applications photovoltaïques	Alain Lafond	<a href="mailto:Alain.Lafond@cirs-imn.fr">Alain.Lafond@cirs-imn.fr</a>	IMN	10h30-10h50
Axe Stockage d'énergie	Application supercapacité	« Ingénierie des matériaux actifs hybrides carbone/molécules pour le stockage électrochimique de l'énergie électrique. »	Charles Cougnon	<a href="mailto:charles.cougnon@univ-angers.fr">charles.cougnon@univ-angers.fr</a>	Moltech Anjou	10h50-11h10

<b>Axe Stockage d'énergie</b>	<b>Batteries</b>	<b>synthèse de nouveaux matériaux pour batteries de nouvelle génération</b>	Joel Gaubicher	<a href="mailto:Joel.Gaubicher@cnsr-imn.fr">Joel.Gaubicher@cnsr-imn.fr</a>	IMN	11h10-11h30
	<b>Formulation et vieillissement</b>	<b>formulation d'électrodes et caractérisation des phénomènes de vieillissement en cyclage</b>	Bernard Lestriez	<a href="mailto:Bernard.Lestriez@cnsr-imn.fr">Bernard.Lestriez@cnsr-imn.fr</a>	IMN	11h30-11h50
<b>Axe Hydrogène et piles à combustible</b>	<b>Point sur les activités de recherche à l'IMN</b>	<b>« activités de recherche dans le domaine de l'hydrogène et des piles à combustible à l'IMN »</b>	Olivier Joubert	<a href="mailto:olivier.joubert@cnsr-imn.fr">olivier.joubert@cnsr-imn.fr</a>	IMN	11h50-12h10
<b>Axes Sciences humaines et sociales et Hydrogène-PAC</b>	<b>Piles à Combustible pour navires</b>	<b>Projet SEDPAC (volet Economique)</b>	Laurent Baranger	<a href="mailto:Laurent.Baranger@univ-nantes.fr">Laurent.Baranger@univ-nantes.fr</a>	Capacités / LEMNA	12h10-12h30
<b>Axes Sciences humaines et sociales</b>	<b>Point sur le rôle de la sociologie de l'innovation dans l'innovation technique au travers de la Présentation d'un projet ANR qui vient de démarrer sous l'égide du CERREV de l'université de Caen.</b>	<b>Analyse sociétale de l'usage de l'hydrogène et celle des formes de l'action collective et des normes sociales que l'usage de l'hydrogène peut perturber ou engendrer.</b>	Dominique Pecaud	<a href="mailto:Dominique.pecaud@univ-nantes.fr">Dominique.pecaud@univ-nantes.fr</a>	IHT	12h30-12h50
<b>Axe efficacité énergétique</b>	<b>Machines thermoacoustiques.</b>	<b>Développement de machines thermoacoustiques au LAUM</b>	Guillaume Penelet	<a href="mailto:guillaume.penelet@univ-lemans.fr">guillaume.penelet@univ-lemans.fr</a>	LAUM	14h15-14h35

<b>Axe efficacité énergétique</b>	<b>Stockage de chaleur à haute température</b>	<b>Optimisation du stockage de chaleur à haute température par la technologie thermocline (projet ANR)</b>	Lingai Luo	<a href="mailto:lingai.luo@univ-nantes.fr">lingai.luo@univ-nantes.fr</a>	LTeN	14h35-14h55
	<b>Calculs de Propriétés radiatives de matériaux</b>	<b>Ab initio calculations for improving the energy efficiency of solar and radiative energy conversion processes</b>	Giorgia Fugallo	<a href="mailto:Giorgia.Fugallo@univ-nantes.fr">&lt;Giorgia.Fugallo@univ-nantes.fr&gt;</a>	LTeN	14h55-15h15
<b>Axe efficacité énergétique / Bioénergies</b>	<b>Biocarburants émulsionnés</b>	<b>De MICROSPHERE à FORBIOCAR 3G</b>	Agnes Montillet - Jérôme Bellettre	<a href="mailto:agnes.montillet@univ-nantes.fr">agnes.montillet@univ-nantes.fr</a> <a href="mailto:jerome.bellettre@univ-nantes.fr">jerome.bellettre@univ-nantes.fr</a>	LTeN/GEPEA	15h15-15h35
<b>Axe Systèmes et Intégration</b>	<b>Caractérisation en vue du dimensionnement optimal de câbles sous-marins pour applications EMR</b>	<b>ANR Emodi</b>	Charles Henri Bonnard	<a href="mailto:Charles-Henri.Bonnard@univ-nantes.fr">Charles-Henri.Bonnard@univ-nantes.fr</a>	IREENA	15h35-15h55
	<b>Soudage de matériaux composites thermoplastiques</b>	<b>ANR -IRT JV (Sideffect)</b>	Didier Trichet	<a href="mailto:didier.trichet@univ-nantes.fr">didier.trichet@univ-nantes.fr</a>	IREENA	15h55-16h15
<b>16h15-17h</b>						
<b>Discussion de Clôture de la journée –informations sur les Appels à projets Régionaux</b>						

## Recueil de résumés :

### Axe solaire - photovoltaïque

#### **Nouvelles architectures de modules photovoltaïques en couches minces à base de couches minces de Cu (In,Ga) Se<sub>2</sub> (CIGS) / L. Arzel ([ludovic.arzel@univ-nantes.fr](mailto:ludovic.arzel@univ-nantes.fr))**

Ludovic ARZEL ([ludovic.arzel@univ-nantes.fr](mailto:ludovic.arzel@univ-nantes.fr))

Ce projet a pour finalité de fabriquer des modules photovoltaïques à base de couches minces de Cu (In,Ga) Se<sub>2</sub> (CIGS) à haut rendement en participant à la levée de deux verrous technologiques inhérents (i) à la structure des modules en couches minces et (ii) à la spécificité de la jonction formée entre le CIGS et la couche tampon de CdS. Tout d'abord, la modularisation des cellules par l'interconnexion monolithique induit des pertes de rendement importantes (5 % abs) par rapport aux cellules. En effet, l'architecture des modules actuels utilisant les gravures P1 P2 P3 induit une importante réduction de la surface active (environ 10 %) ainsi que des pertes optiques et résistives. Nous proposons une approche alternative innovante qui consiste à réaliser la connexion série entre les cellules directement, c'est-à-dire qu'il faut réaliser un contact direct entre le contact arrière de molybdène et le contact avant en ZnO. Ce nouveau concept permet de réduire le nombre de gravure P1 P2 P3, l'épaisseur du ZnO, l'exposition à l'air du molybdène et la surface inactive. L'une des problématiques est la gravure par photolithographie de la couche de molybdène. Nous avons fabriqué des modules composés de deux cellules en série. Les résultats sont prometteurs. Nous obtenons un rendement de 12% pour le module, à comparer avec 17% de rendement pour une cellule. Comme le facteur de forme reste élevé, la perte de rendement est due à la chute du Voc : 700 mV pour la cellule contre 1200 mV pour le module. Des études complémentaires sont en cours pour identifier l'origine de cette chute de tension.

#### **Étude cristallographique de matériaux inorganiques pour des applications photovoltaïques**

Alain LAFOND ([Alain.Lafond@cnrs-imn.fr](mailto:Alain.Lafond@cnrs-imn.fr))

Dans le domaine de l'énergie photovoltaïque, les matériaux chalcogénures sont une alternative crédible au silicium afin de réduire le coût énergétique de la fabrication des dispositifs. La connaissance précise de la structure cristalline de ces matériaux est une étape incontournable pour comprendre leurs propriétés et améliorer leurs performances. Dans cet exposé, on montrera le principe d'une étude cristallographique et quelques résultats concernant les composés de la famille Cu(In,Ga)(S,Se)<sub>2</sub> seront présentés. Une partie de ce travail est fait dans le cadre de la participation de l'IMN à l'un des projets de l'Institut Photovoltaïque d'Ile-de-France (IPVF).

## Axe Stockage d'énergie

### « Ingénierie des matériaux actifs hybrides carbone/molécules pour le stockage électrochimique de l'énergie électrique »

Charles COUGNON (MOLTECH-Anjou ; [charles.cougnon@univ-angers.fr](mailto:charles.cougnon@univ-angers.fr))

Depuis plus de deux décennies, les dispositifs de stockage électrochimiques de l'électricité ont entamé leur révolution organique. Pseudo-supercondensateurs, supercondensateurs redox et dispositifs hybrides "tout organiques" ont déjà conquis les communautés scientifique et industrielle, même si des efforts importants restent à faire pour améliorer leurs performances et leur stabilité afin de pouvoir les intégrer de manière permanente à des structures de longue durée de vie (aéronautique, automobile, bâtiment, etc...). Une stratégie récente consiste à greffer de petites molécules électroactives à la surface de carbones activés. L'assemblage de ces éléments génériques hautement modulables conduit à un très grand nombre de combinaisons possibles, mais des règles doivent être respectées pour que le greffage soit bénéfique. Ce travail présente les apports et les limitations de la stratégie du greffage et se conclut sur une alternative originale au greffage des molécules sur le carbone avec l'utilisation d'un liant polymère comme plateforme pour le greffage d'unités catéchol.

### « Batteries de nouvelle génération pour le stockage des ENR »

Joel GAUBICHER (IMN) ([Joel.gaubicher@cnrns-imn.fr](mailto:Joel.gaubicher@cnrns-imn.fr))

Il n'existe à ce jour aucune véritable solution de stockage électrochimique utilisable de façon pérenne pour moduler la production électrique des énergies renouvelables au sein des réseaux électriques. Une nouvelle technologie de batterie aqueuse basée sur l'utilisation de matériaux organiques redox à la fois abondants (potentiellement bio-sourcés et recyclables), bon marché, présentant des potentiels redox idoines, et suffisamment efficaces pour être opérationnels plus de 5000 cycles constituerait une rupture permettant de répondre à ce besoin. Mais est-ce possible ? La mise en œuvre d'une telle technologie suppose en effet certaines prérogatives en lien non seulement avec l'identification de systèmes redox organiques et de formulations d'électrolytes aqueux adaptés mais aussi avec une mise en œuvre particulière au sein d'électrodes millimétriques jamais réalisées à ce jour. Nous présenterons les résultats acquis (à T0+24) dans le projet régional « pari scientifique » GREENHOPE regroupant trois partenaires académiques (IMN, CEISAM et CIC Energigune) et trois partenaires industriels.

### « Formulation d'électrodes et caractérisation des phénomènes de vieillissement en cyclage »

Bernard LESTRIEZ (IMN) ([bernard.lestriez@cnrns-imn.fr](mailto:bernard.lestriez@cnrns-imn.fr)).

Dans cette communication, nous allons présenter deux activités de recherche importantes dans notre équipe au sujet des batteries au lithium. La formulation d'électrodes de batterie implique l'emploi d'additifs non électroactifs à la matière active tels que des carbones augmentant la conductivité, des polymères assurant une bonne cohésion mécanique tout au long des cycles de charge et décharge tout en laissant une porosité suffisante pour la perméation et la conduction ionique de l'électrolyte. La formulation d'électrodes de batterie passe par des études

de compréhension : (i) des mécanismes de structuration des encres d'électrode qui sont des suspensions complexes, (ii) des propriétés de transport des charges (électrons, ions) en relation avec l'architecture de l'électrode, (iii) des contributions respectives des limitations au transport électronique et ionique sur les performances électrochimiques, (iv) de l'influence de l'interaction physico-chimique du polymère avec la surface du matériau actif sur la cyclabilité des électrodes. Au niveau technologique, ces travaux aboutissent à la sélection des additifs appropriés, tenant compte de la problématique spécifique de chaque matériau actif, à la maîtrise de chaque étape du procédé de fabrication des électrodes, et in-fine à l'augmentation des performances des dispositifs de stockage électrochimique de l'énergie.

Les performances électrochimiques des batteries sont aussi limitées par les réactions parasites aux interfaces. Nous développons la RMN du solide comme méthode originale innovante pour la caractérisation quantitative de la composition des couches de passivation qui se forment à la surface de la matière active suite à la dégradation de l'électrolyte au cours du cyclage électrochimique. La RMN présente en outre l'avantage de pouvoir étudier à la fois l'évolution des couches de passivation, celle de la structure du matériau actif et les mécanismes rédox impliqués. D'autres spectroscopies sont aussi utilisées en combinaison avec la RMN, ou de manière indépendante. La spectroscopie de photoélectrons (XPS) va plutôt nous aider à caractériser les phénomènes de surface et ainsi préciser finement la chimie liée à la passivation des électrodes. La spectroscopie de perte d'énergie des électrons (EELS) dans un microscope électronique en transmission va quant à elle nous donner des informations plus locales (nanométriques) et nous permettre d'avoir accès aux inhomogénéités éventuelles à différentes échelles. L'arrivée du nouveau microscope corrigé devrait augmenter considérablement nos possibilités de caractérisation.

## **Efficacité énergétique**

### **« Développement de machines thermoacoustiques au LAUM »**

Guillaume PENELET ([guillaume.penelet@univ-lemans.fr](mailto:guillaume.penelet@univ-lemans.fr))

Les machines thermoacoustiques (et plus généralement l'effet thermoacoustique) font l'objet de recherches au LAUM depuis une vingtaine d'année. Une part de ces recherches sont tournées vers des applications potentielles de ces systèmes dans divers domaines. Nous décrivons ici deux sujets en cours au LAUM.

Le premier sujet d'étude concerne le développement d'une pompe à chaleur compacte pour le domaine automobile, recherche menée dans le cadre d'un contrat ANR (TACOT) tout juste initié (contrat porté par l'Institut Pprime à Poitiers).

Le second sujet porte sur le développement d'un système de production d'eau chaude et d'électricité pour l'habitat. Il s'agit d'un projet en cours de maturation (objet d'une demande ANR portée par Géosciences Montpellier) où les défis à relever concernent la réduction de coût (« ingénierie frugale ») et le développement de moteurs thermoacoustiques pour la récupération de chaleur à basse température.

### « Optimisation du stockage de chaleur à haute température par la technologie thermocline »

Lingai LUO (LTEN) ([lingai.luo@univ-nantes.fr](mailto:lingai.luo@univ-nantes.fr))

Le projet ANR Opticline vise à développer un nouveau système de stockage thermique pour centrale solaire à concentration. L'innovation concerne l'utilisation d'un seul réservoir par thermocline (stratification de température) à la place de deux réservoirs chaud et froid et le remplissage de matériaux à recyclés. Ce qui permet de réduire la perte thermique et la quantité de fluide de transfert donc du coût d'investissement (~35%), et de gagner de la compacité, efficacité et compétitivité. La méthodologie originale sur l'optimisation de distribution de fluide permet de lever le verrou sur le contrôle de stratification thermique. Le projet présente une recherche de nature multi-échelle depuis le fondamental (modélisation en 3D, gestion de fluide, analyse exérgétique, optimisation de système intégré), via une maquette froid à échelle laboratoire pour étude hydrodynamique, et deux prototypes échelles réelles avec le fluides de transfert différents, jusqu'à échelle industriel avec les modèles validés. Le projet sera réalisé en collaboration entre deux partenaires académiques (LTEN-CNRS et PROMES-CNRS) et deux partenaires industriels (Eco-Tech Ceram et ADF PROCESS INDUSTRIES).

## Axe Efficacité énergétique / Bioénergies

### « De MICROSPHERE à FORBIOCAR 3G »

Jérôme BELLETTRE - Agnès MONTILLET

La problématique de ce projet porte sur la formulation de nouveaux biocarburants avec le souci d'améliorer la combustion. L'amélioration de la combustion a été investiguée sur la base d'ajout d'eau dans la formulation, selon un cahier des charges précis, afin de favoriser le phénomène de microexplosion. Ce phénomène permet d'abaisser la température de combustion tout en améliorant l'atomisation ; ce qui a pour conséquence de limiter la production de NOx et d'imbrulés gazeux ou solides (suies). Le projet de prématuration « Microsphere » s'est penché sur le design de microsytèmes permettant une production en continu d'émulsions de type eau dans huile répondant aux caractéristiques requises. Différents designs ont été proposés afin de prendre en compte les caractéristiques de la phase continue. Cet exposé présentera également une suite logique de cette étude qui consisterait à mettre en œuvre une chaîne complète intégrant les aspects de formulation d'une phase lipidique d'origine microalgale, d'émulsification et de de tests moteurs.

## Axe Systèmes et Intégration

### « Caractérisation en vue du dimensionnement optimal de câbles sous marins pour applications EMR »

Charles Henri BONNARD [Charles-Henri.Bonnard@univ-nantes.fr](mailto:Charles-Henri.Bonnard@univ-nantes.fr)

Le projet ANR EMODI (offshore Energy grid MONitoring and Dagnosis) vise, entre autre, à optimiser le dimensionnement des câbles des fermes houlomotrices en tenant compte des profils des courants dans le temps qui sont par nature très variables. En effet, de telles fluctuations de courant ne sont actuellement pas prises en compte par les normes actuelles, ce qui mène globalement à un surdimensionnement des câbles sous-marins, dont le montant peut atteindre 10 % du coût total d'une ferme offshore (plusieurs M€). Le lot 3 du projet EMODI a donc pour objectif d'apporter des éléments de réponse en analysant les fluctuations de température des câbles soumis à un profil de courant variable et représentatif de celui généré par une ferme houlomotrice. Un modèle électrothermique de câble sous-marin a donc été développé en utilisant la méthode des éléments finis. Le comportement électrothermique de ce modèle, élément fondamental d'une méthode de dimensionnement et d'optimisation, a été vérifié en s'appuyant sur des mesures expérimentales effectuées sur un câble sous-marin de type statique.