

liten

RAPPORT
D'ACTIVITÉ
2014



FROM RESEARCH TO INDUSTRY
cea tech

LE LITEN, TOUJOURS MOBILISÉ AVEC SES PARTENAIRES INDUSTRIELS POUR ABORDER LES MARCHÉS DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE



Les énergies renouvelables bénéficient d'un essor important car elles répondent aux exigences socio-économiques de notre époque. Comme toutes les technologies industrielles, elles doivent démontrer leurs performances et leur compétitivité. L'efficacité énergétique, la récupération d'énergie, l'efficacité matière, le recyclage, sont autant de programmes de recherche nécessaires à la transition énergétique. Maîtriser ces enjeux nous procure un avantage compétitif certain. Aussi, nous pouvons être fiers des résultats de 2014 du Liten car ils confirment la validité de nos choix techniques, qui ont permis d'aider nos partenaires industriels à se déployer ou se stabiliser sur ces marchés.

En 2014, la ligne pré-industrielle de cellules photovoltaïques haut rendement à l'INES a stabilisé son procédé ce qui a permis la fabrication d'un module de 308Wc. Les projets autour de la filière hydrogène montent en puissance : gains de performances et de coûts sur la pile à combustible, réalisation d'un stack de 25 cellules pour l'électrolyse haute température pouvant fonctionner de façon réversible en mode SOFC, rendement record de plus de 90% pour un système EVHT, intégration croissante des piles à combustible dans les véhicules (jusqu'à 300 kW par prototype). Un premier prototype de réacteur de méthanation a vu le jour ouvrant la voie sur l'approche « power to gas », nouvelle thématique abordée au Liten.





Le stockage d'énergie reste un enjeu majeur pour les prochaines années et le Liten a su, dans ses différents programmes, promouvoir des solutions selon différents vecteurs (électrique, thermique, hydrogène) les plus adaptées au contexte d'usage. Il dispose aujourd'hui d'un outil de dimensionnement permettant d'optimiser les systèmes énergétiques incluant des sources EnR et différents systèmes de stockage.

Le Liten entretient des liens forts et durables avec ses partenaires industriels. Leurs exigences stimulent la créativité des chercheurs, et les amènent à développer des technologies toujours plus innovantes tout en restant en phase avec les réalités du marché. Ainsi, le Liten a eu la satisfaction de renouveler des partenariats pluriannuels avec des acteurs de l'aéronautique, de l'aérospatiale et de la défense... En parallèle, les actions de soutien aux PME ont été accrues, grâce à des contrats affiliés ou à l'installation de CEA Tech dans quatre nouvelles régions (Aquitaine, Pays de La Loire, Midi-Pyrénées et Lorraine).

2014 a été aussi l'année de l'ouverture à l'international du Liten avec la nomination tout début 2015 d'un responsable dédié à cette activité. Des discussions avancées sont actuellement en cours sur l'implantation de lignes pilotes similaires à celles du Liten dans plusieurs pays émergents.

Florence Lambert
Directrice du Liten

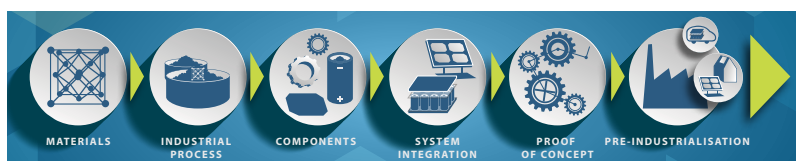


	LE LITEN / QUI SOMMES-NOUS ?	4
	COMMENT COLLABORER AVEC LE LITEN.....	5
	MATÉRIAUX ET PROCÉDÉS	6
	MISE EN ŒUVRE DES MATÉRIAUX.....	6
	NANOMATÉRIAUX.....	8
	MICRO-SOURCES D'ÉNERGIE.....	9
	ÉLECTRONIQUE ORGANIQUE	10
	ÉNERGIES RENOUVELABLES.....	11
	SOLAIRE	11
	BIOMASSE ET BIOCARBURANTS.....	16
	HYDROGÈNE	17
	VÉHICULE ÉLECTRIQUE ET HYBRIDE.....	18
	BATTERIES	18
	PILES À COMBUSTIBLE PEM	21
	EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE.....	22
	BÂTIMENT ET SYSTÈMES THERMIQUES.....	22
	RÉSEAUX ET STOCKAGE ÉLECTRIQUE.....	24
	L'ACTUALITÉ DES START-UP	25
	LES PLATES-FORMES	26
	LE LITEN ACTEUR DES PROGRAMMES D'INVESTISSEMENTS D'AVENIR	29
	CHIFFRES-CLÉS 2014.....	30



L'institut Liten : innover pour la transition énergétique

Basé principalement à Grenoble et Chambéry, le Liten est le premier institut européen entièrement dédié aux nouvelles technologies de l'énergie. Son expertise scientifique, la qualité de ses infrastructures et de ses équipes, en font un acteur clé de la transition énergétique.



Le Liten est l'unique centre de recherche européen à être présent sur toute la chaîne de valeur.

Le Liten (Laboratoire d'Innovation pour les Technologies des Énergies Nouvelles et les nanomatériaux) s'inscrit dans l'effort européen de réduction de notre dépendance aux énergies fossiles et de limitation des émissions de gaz à effet de serre. Son positionnement sur l'ensemble de la chaîne de valeur des technologies est unique. Présent depuis la synthèse des matériaux jusqu'au démonstrateur complexe, le Liten propose à ses partenaires industriels une offre technologique personnalisée, accélère le transfert des innovations vers les marchés et participe ainsi à l'amélioration de leur positionnement concurrentiel.

400 CONTRATS DE RECHERCHE PARTENARIALE PAR AN

Le Liten est un interlocuteur privilégié du monde industriel, quelle que soit la taille de l'entreprise et son positionnement dans la chaîne de valeur (matériau, procédé, composants, intégration système, démonstration). Il mène chaque année 400

contrats de recherche partenariale, sur de nombreux secteurs (énergie, transport terrestre, aéronautique, bâtiment, infrastructures, environnement, information...)

1 100 BREVETS EN PORTEFEUILLE

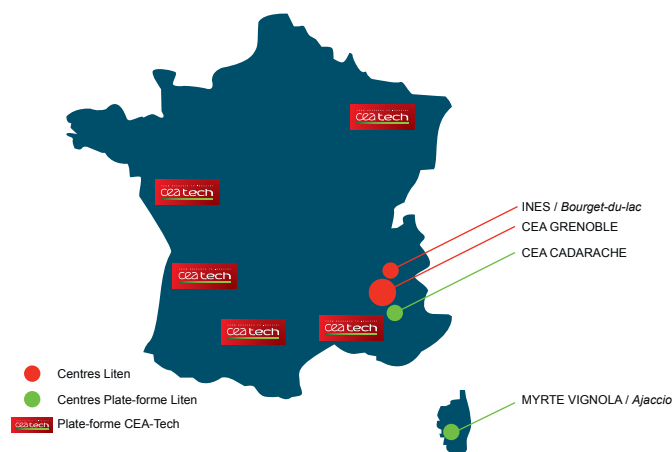
Le Liten gère un portefeuille de plus de 1000 brevets étendus au niveau international et fait partie des instituts CEA les plus actifs en termes de dépôt : 200 en 2012, 235 en 2013, 230 en 2014.

TROIS DOMAINES DE RECHERCHE À FORT ENJEU

Les activités de recherche de l'institut Liten ont pour objectif de relever les défis technologiques et économiques de trois grands domaines :

- les énergies renouvelables, en particulier solaire et biomasse
- l'efficacité énergétique et le stockage de l'énergie : électrification des véhicules (batteries et piles à combustible), efficacité énergétique bâtiment, chaînes de production d'énergie (production, stockage, conversion et gestion intelligente des vecteurs électriques, thermiques et gaz, en particulier hydrogène)
- les matériaux pour l'énergie, avec un focus sur l'ingénierie des nanomatériaux et la prise en compte des nouvelles contraintes environnementales.

www-liten.cea.fr





Comment collaborer avec le Liten

Le Liten s'adapte aux besoins de ses partenaires industriels, qu'ils soient start-up, PME, ETI ou grand groupe international. Localisé à Grenoble et Chambéry, il dispose également d'experts techniques implantés dans les plates-formes régionales de transfert technologique CEA Tech (Aquitaine, Lorraine, Midi-Pyrénées, Pays de la Loire, et Provence-Alpes-Côte d'Azur) et de plates-formes expérimentales à Cadarache et en Corse.

A l'écoute de vos besoins en matière d'innovation technologique, nos équipes vous accompagnent dans votre stratégie de développement en vous proposant des offres de R&D à géométrie variable, depuis la simple caractérisation de matériaux, jusqu'au développement d'un nouveau composant ou système adapté à vos marchés actuels ou futurs. Ces solutions clé en main constituent pour vous un véritable accélérateur d'activité. Cette offre vous est proposée dans un environnement ISO 9001 où nous partageons vos exigences en matière de respect des délais, engagement de moyens, qualité des résultats, sens économique du produit et respect de la confidentialité.

NOS OFFRES DE COLLABORATION :

► **Contrat bilatéral** : l'industriel et le Liten s'engagent pour une durée définie sur un sujet clairement identifié. Un programme **collaboratif** (ANR, FUI, Europe...) peut y être associé afin de disposer de finan-

cements supplémentaires et d'une visibilité accrue. Nos ingénieurs sont rodés au montage de ces projets et pourront vous accompagner dans cette démarche.

► **Programmes affiliés** : le Liten propose des programmes de recherche multi-partenaires auxquels les industriels peuvent adhérer via des démarches simplifiées. Une formule notamment adaptée aux PME qui ont peu ou pas d'activité R&D propre.

► **Laboratoire commun** : l'industriel et le Liten structurent une équipe commune et signent un engagement réciproque qui peut être de plusieurs années, autour d'objectifs communs, de jalons techniques et d'un pilotage partagé. La création d'une équipe commune constitue une force pour le partenaire.

► **Transfert technologique** : l'industriel peut bénéficier sous certaines conditions d'une cession de licence, et si besoin d'un accompagnement technique sur une technologie mature et brevetée.

UNE OFFRE PERSONNALISÉE

► Les moyens techniques, le nombre de chercheurs, le budget et le calendrier sont adaptés au cas par cas pour mieux coller aux attentes de chaque industriel.

► Les dépenses de R&D qui seront facturées par le Liten à son partenaire industriel peuvent être éligibles à hauteur de 60 % au titre du Crédit d'Impôt Recherche.

► Différentes formules d'ingénierie financière et de gestion de la propriété intellectuelle peuvent être mobilisées, selon le sujet de la collaboration et son degré de maturité. Le CEA conduit une politique brevet forte et structurée qui préserve les intérêts de ses partenaires en France et à l'étranger.

UNE NOUVELLE OFFRE DE SERVICE

Fort de ses connaissances techniques sur de nombreux composants intervenant dans un système énergétique, le Liten a développé des outils de dimensionnement et de pilotage de systèmes énergétiques. Ces outils sont capables de simuler le fonctionnement de batteries, de systèmes de production, stockage et conversion d'hydrogène, de convertisseurs électriques, de sources de production EnR (PV, éolien, etc.)... En introduisant différentes stratégies de contrôle, le Liten peut aider à identifier les solutions les plus pertinentes et proposer une optimisation du système étudié à partir de critères technico économiques. Dans le cas de composants spécifiques, il est également possible de fournir une version dédiée d'un logiciel permettant de faire du pilotage en temps réel.



Matériaux & procédés

AMÉLIORER LES PERFORMANCES, CONCEVOIR DES SOLUTIONS INÉDITES

Le Liten améliore les performances des matériaux pour l'énergie et l'électronique flexible. Il conçoit de nouvelles solutions combinant plusieurs matériaux quand aucun matériau ne répond seul au cahier des charges ou en jouant sur la nanostructuration pour exacerber certaines propriétés. Il développe aussi des solutions alternatives à des solutions existantes dès lors que l'usage d'un matériau est remis en cause pour des raisons géopolitiques, économiques ou réglementaires (terres rares, indium, gallium, plomb, solvants...). Il explore également de nouveaux procédés toujours avec des objectifs génériques de coût, de durabilité, d'allègement et d'économie de matière.

MISE EN ŒUVRE DES MATÉRIAUX

Interview

POUDR'INNOV S'OUVRE À L'IMPRESSIION 3D



Emmanuelle Rouvière
Chef du service Efficacité de la matière et récupération de l'énergie

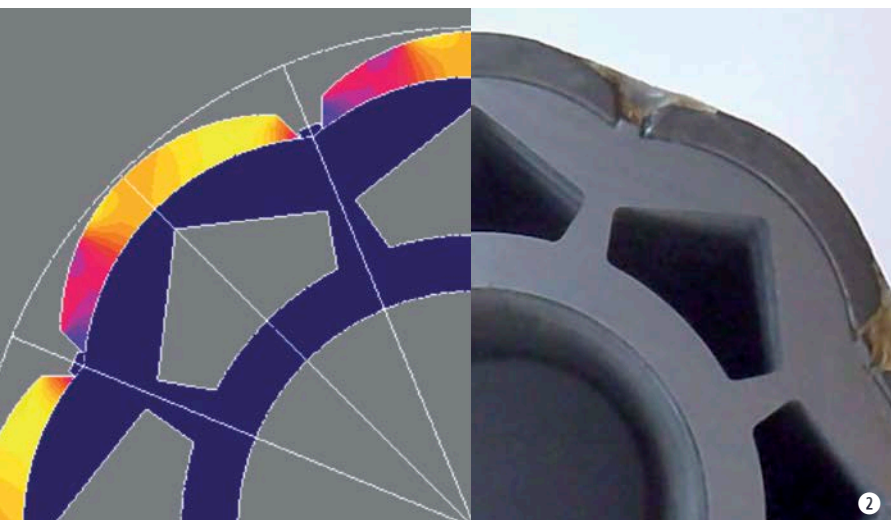
Poudr'Innov, notre plate-forme de métallurgie des poudres, dispose depuis quelques mois de trois machines d'impression 3D. Elles permettent de réaliser des prototypes de dimensions maximales 30 x 15 cm à partir de poudres métalliques, de résines polymères chargées ou non. Principal avantage pour nos partenaires industriels : pouvoir évaluer des propriétés mécaniques ou la résolution de formes complexes, sans passer par la réalisation d'un moule d'injection qu'il serait difficile de modifier ensuite. Poudr'Innov peut

aussi accompagner ses partenaires sur une étape supplémentaire de post traitement indispensable au développement de certains produits. Nous avons aussi pour ambition de faire évoluer ces machines d'impression 3D. A titre d'exemple, nous pourrions les coupler avec des boîtes à gants pour la manipulation de poudres sensibles à l'oxygène. Nous voudrions aussi développer de nouvelles formules d'encres ou de poudres, qui intéressent notamment l'aéronautique et le secteur dentaire.



RÉCUPÉRER L'ARGENT DES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES RECYCLÉS

Un procédé hydrométallurgique en rupture est en développement pour récupérer l'argent contenu dans les panneaux photovoltaïques en silicium cristallin. L'argent, qui représente 90 % de la valeur du panneau, est extrait en totalité via une dissolution sélective. La consommation de réactifs est réduite de 98 % par rapport à la voie classique de dissolution totale des métaux. Un brevet a été déposé et l'optimisation du procédé doit se poursuivre dans le cadre d'une collaboration industrielle. 1



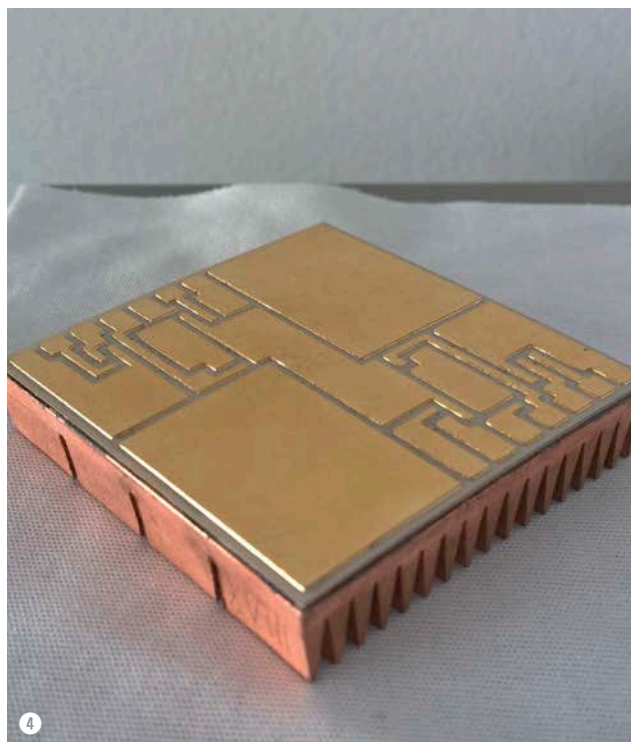
MOTEURS ÉLECTRIQUES : UNE UTILISATION OPTIMALE DES AIMANTS AVEC TERRES RARES

Le Liten travaille sur l'amélioration des performances d'un moteur électrique compact de 25 kW à aimants permanents. Une technologie d'assemblage innovante et des formes d'aimants complexes permettent de réduire d'un facteur 3 les vibrations et d'augmenter le couple de 15 %, à quantité de matière première constante. Un procédé de fabrication des aimants néodyme-fer-bore frittés par injection, associé à la simulation numérique, a été mis en place pour répondre à ce besoin. **2 3**



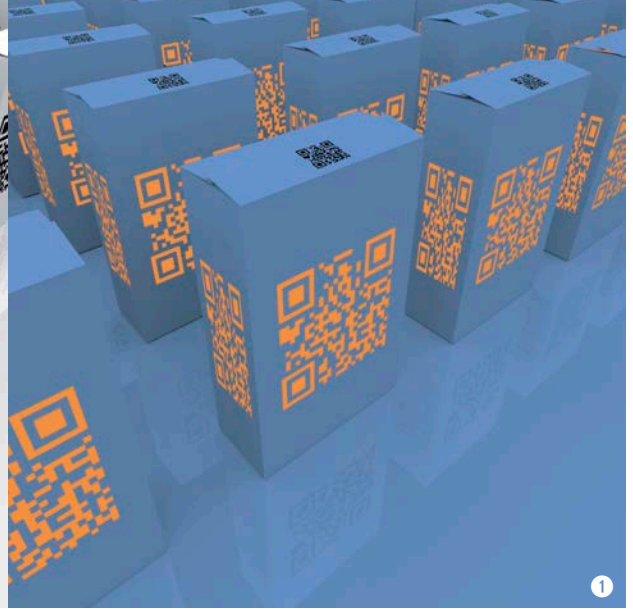
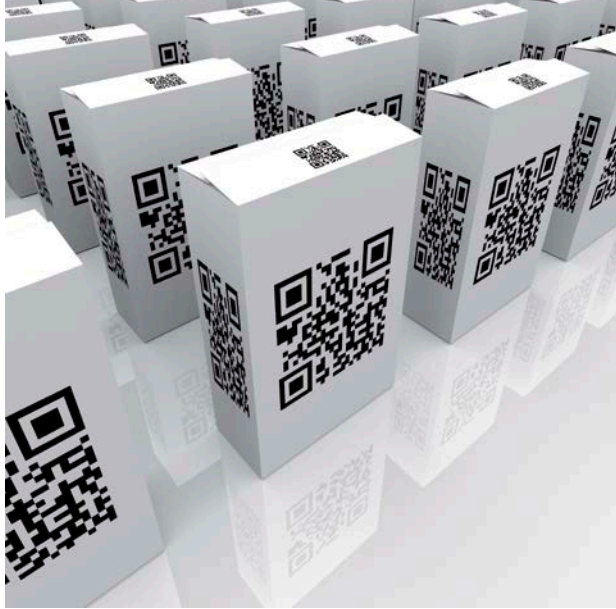
UN ASSEMBLAGE INÉDIT POUR REFROIDIR L'ÉLECTRONIQUE DE PUISSANCE

Un assemblage direct cuivre/céramique par brasage réactif a été développé et testé sur prototypes, lors d'essais sur plus de 300 cycles entre - 40 °C et + 160 °C. Il pourrait être utilisé dans les systèmes de refroidissement des composants de puissance, et les alléger de 90 % en jouant sur la nature et la structure des matériaux utilisés. Le procédé d'assemblage a été breveté. Il continue à être amélioré dans le cadre d'un projet FUI avec Renault, Valéo, Safran et Schneider. **4**



LA COMPACTION ISOSTATIQUE À CHAUD PRÊTE POUR LES MÉTHANEURS

Deux maquettes au 1/10^e des futurs méthaneurs développés en interne Liten ont été assemblées avec succès par Compaction Isostatique à Chaud (CIC), à partir de plaques en acier 316 L gravées laser ou usinées recto-verso. La fabrication par usinage conventionnel s'est avérée plus performante en termes de précision dimensionnelle et de planéité des plaques. Cette étude a aussi servi à valider les cycles température/pression de la CIC. La prochaine étape consiste à réaliser une maquette à l'échelle 1/2.



1

NANOPARTICULES : DES PEINTURES ET DES VÊTEMENTS SAFER-BY-DESIGN

Le relargage de nanoparticules contenues dans des peintures industrielles est étudié durant leur cycle de vie, grâce à des techniques de pointe en caractérisation et à des vieillissements climatiques et mécaniques. Des formulations visant à diminuer le relargage sont en cours d'étude. Autre sujet, l'efficacité de protection de vêtements pour les travailleurs du bâtiment : trois types de matériaux ont démontré leur efficacité vis-à-vis des nanoparticules contenues dans des mortiers.



NANOMATÉRIAUX

UNE ENCRE NOIRE LUMINESCENTE POUR AUTHENTIFIER LES PRODUITS

Des codes optiques imprimés avec une encre noire luminescente sur le produit à protéger : la solution de marquage et d'authentification développée avec Naomarq (groupe Alcen) est simple et adaptée aux technologies industrielles d'impression (CIJ, TIJ, DOD...). Des innovations ont été réalisées en 2014 : marquage luminescent sur métaux précieux et métal aéronautique, authentification de matière première pour des élastomères, authentification du traitement de surface pour métaux aéronautiques. 4 nouveaux brevets ont été déposés et plusieurs qualifications ont démarré chez différents industriels utilisateurs. 1

ET SI LES NANOFILS D'ARGENT DÉGIVRAIENT NOS PARE-BRISÉS ?

Protavic, filiale de l'ETI Protex International, a signé un accord sur le développement conjoint de nanofils d'argent destinés à des applications dans l'électronique. Ces nanofils peuvent aussi servir dans des films chauffants transparents pour pare-brise ou visière de casque. Ils présentent une très bonne conductivité. Ils sont élaborés par une synthèse chimique en voie liquide qui a fait l'objet de plusieurs brevets. Une thèse est en cours pour caractériser leur stabilité. Depuis 2010, huit projets de recherche français ou européens ont été menés sur ce sujet.

CÂBLES ÉLECTRIQUES : LES NANOTUBES DE CARBONE CONCURRENTS DU CUIVRE ?

Des fils conducteurs macroscopiques (diamètre 7 à 15 μm) en nanotubes de carbone ont été réalisés par filage d'un tapis de nanotubes. Très légers, assez souples pour être noués, ils ont une excellente résistivité de 1,9 mOhm/cm, indépendante de la fréquence du courant. De tels fils seraient des concurrents crédibles du cuivre pour des applications à haute performance en fréquence. Leur conductivité pourrait être décuplée avec les améliorations en cours sur la densité des tubes et leur dopage.



MICRO-SOURCES D'ÉNERGIE

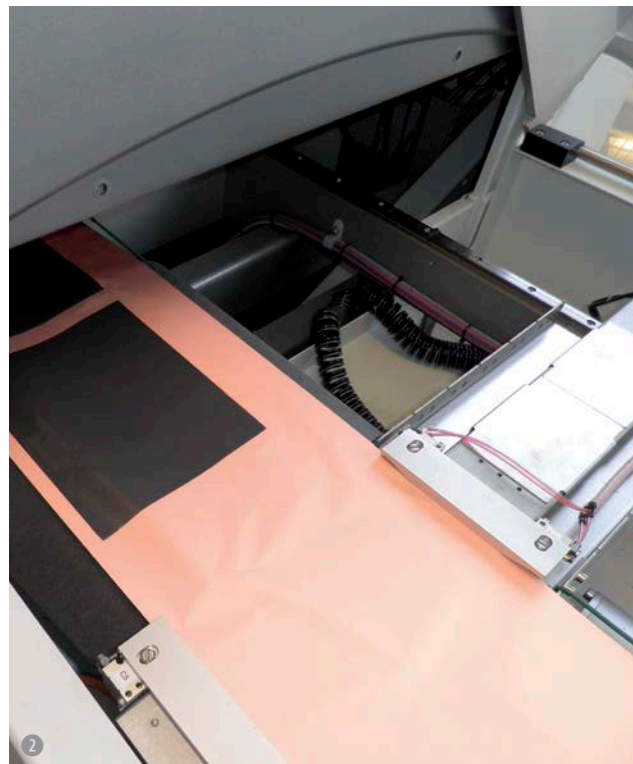
PREUVE DE CONCEPT D'UN FIL TEXTILE PHOTOVOLTAÏQUE

Un revêtement photovoltaïque fonctionnel à base de couches minces inorganiques a été déposé avec succès sur des fils textiles utilisables en tissage ou en tricotage. L'objectif est d'intégrer ces « fils photovoltaïques » dans des produits (store banne, serre agricole, sac à dos...), sans en altérer l'esthétique, les fonctions et les performances. Ces travaux sont menés dans le cadre du projet multipartenaires SOL-TEX (www.sol-tex.com), coordonné par la société SunPartner Technologies. Un premier brevet de fil solaire a été déposé.



DES ÉLECTRODES LI-ION GRANDE SURFACE RÉALISÉES PAR SÉRIGRAPHIE

Comment réaliser simplement des électrodes Li-ion grande surface sous forme de motifs? En recourant à la sérigraphie et non à l'enduction... La démonstration a été faite sur une électrode de graphite de 174 x 140 mm². Les cadences sont nettement plus élevées et après optimisation, l'homogénéité de l'électrode en termes de grammage est conforme aux exigences industrielles. D'autres améliorations sont possibles, notamment pour atteindre les grammages nécessaires aux hautes densités d'énergie. 2



Interview

MICRO-PILE À COMBUSTIBLE : UNE TECHNOLOGIE À MATURITÉ



Philippe Capron
Chef du laboratoire
Microsources d'énergie

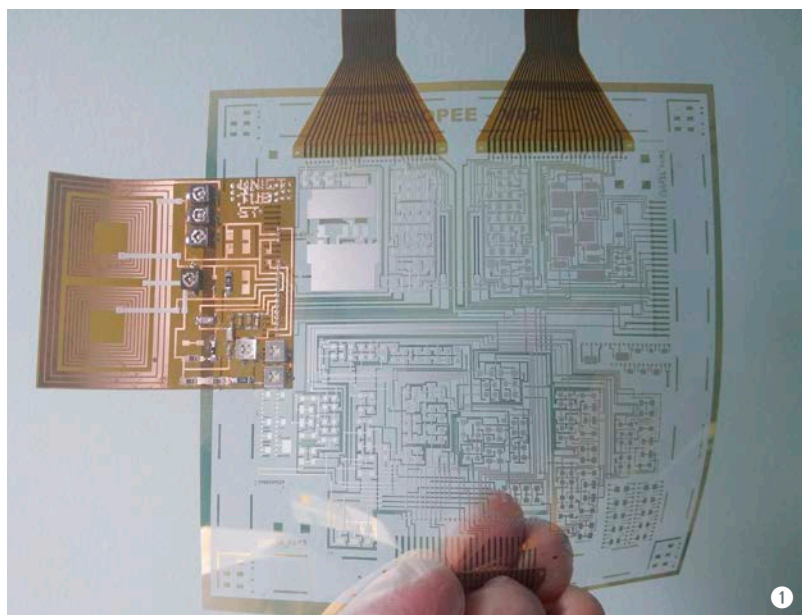
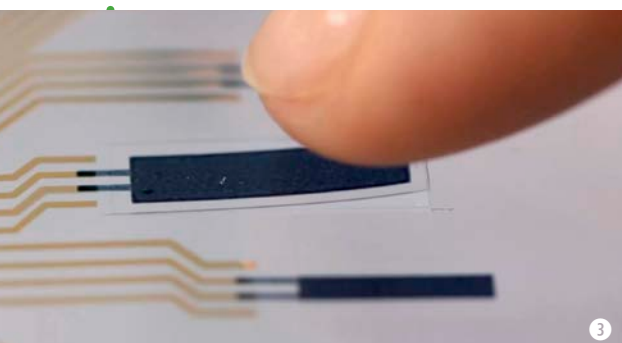
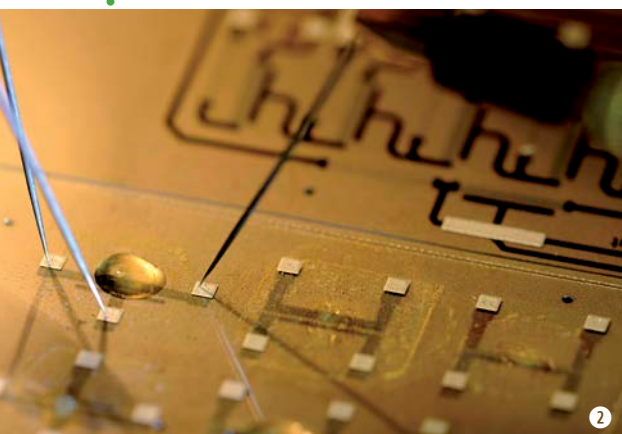
Après dix ans de R & D jalonnés par le dépôt de 50 brevets, nous avons réalisé une micro-pile à combustible pré-industrielle susceptible d'être transférée rapidement. Le cœur de pile (un carré de 7 cm de côté et d'1 mm d'épaisseur) est réalisé grâce aux technologies d'impression bas coût de la plate-forme PICTIC. L'association de la pile à combustible et d'une cartouche d'hydrogène, qui génère ici l'hydrogène à la demande, forme une source d'énergie d'une puissance de 5 W destinée à recharger les

appareils nomades. On dispose alors d'un chargeur nomade indépendant du réseau électrique. Notre technologie de cœur de pile planaire et de cartouche d'hydrogène peut également être déclinée dans d'autres formats, pour viser des applications plus exigeantes. Ainsi, un développement spécifique a abouti à une cartouche de 120 Wh et un système pile de 10 W (dans le cadre d'un projet financé par la DGA). D'autres applications entre 10 W et 100 W sont en cours de développement.



MIEUX COMPRENDRE LE VIEILLISSEMENT DES PHOTODIODES ORGANIQUES

Une cellule d'essai a été mise au point pour étudier le vieillissement de photodiodes organiques. Elle contrôle l'atmosphère au voisinage du dispositif pour le soumettre sélectivement à l'eau, à l'oxygène ou à un gaz inerte. La caractéristique courant-tension est mesurée in situ sous éclairage. Une étude a montré que l'électrode de PEDOT:PSS subit une modification de son travail de sortie sous l'effet de l'eau, alors que l'oxygène induit un dopage de la couche active réduisant ainsi le courant photo-généré.



ÉLECTRONIQUE ORGANIQUE

DES CIRCUITS RFID IMPRIMÉS À 200 TRANSISTORS, C'EST POSSIBLE

Des circuits à 200 transistors pour tags RFID 13,56 MHz ont été réalisés en technologie CMOS organique imprimée. Ils comprennent un étage de réception, la chaîne de traitement d'information et la validation d'identité et sont fonctionnels. Les procédés ont été optimisés pour atteindre des rendements de fonctionnement de transistors supérieurs à 99 %. Acquis lors du projet européen Cosmic, ces résultats ont suscité un nouveau projet, Atlas², axé sur des enjeux de rendement et d'industrialisation. **1**

CAP SUR LA SANTÉ POUR LES COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES IMPRIMÉS

Les composants électroniques imprimés sont peu coûteux, flexibles, conformables, biocompatibles : des atouts qui leur ouvrent des applications en biologie et en santé. Plusieurs projets de biocapteurs ont été lancés avec des partenaires, dont le CEA Leti : capteur de lactate (activité musculaire), capteur de gaz carbonique (apnée du sommeil), capteur de glucose pour le diabète. Des prototypes ont été réalisés et des contacts sont en cours avec des industriels. **2**

LES TERPOLYMÈRES FLUORÉS D'ARKEMA ENTRENT EN MOUVEMENT

Leader mondial des polymères fluorés, Arkema s'est tourné vers le Liten pour intégrer sa gamme de terpolymères, matériaux se déformant de plusieurs pourcents sous champ électrique. Les chercheurs ont ainsi mis au point un procédé par sérigraphie sur substrat flexible pour réaliser des empilements de couches minces inférieures à 1 μm , permettant de réaliser des actionneurs électromécaniques fonctionnant sous 40V. Suite à la réalisation de preuves de concept, un brevet est en cours de dépôt. **3**



Énergies renouvelables

DU SOLAIRE À LA BIOMASSE

Les activités Energies Renouvelables portent sur le photovoltaïque, le solaire thermique, l'hydrogène et la biomasse. Elles couvrent à chaque fois l'ensemble de la chaîne de valeur, du matériau au système connecté au réseau. Elles vont au plus près des besoins industriels, à travers des prototypes et des lignes pilotes. L'objectif est de concevoir des systèmes performants adaptés à une large gamme d'applications, en dépassant parfois les frontières classiques entre filières. Témoignent par exemple de cette approche le couplage entre photovoltaïque et chaîne hydrogène, l'association de différents systèmes de stockage (électrochimique, thermique, mécanique...) ou la montée en puissance du *power to gas*.

SOLAIRE

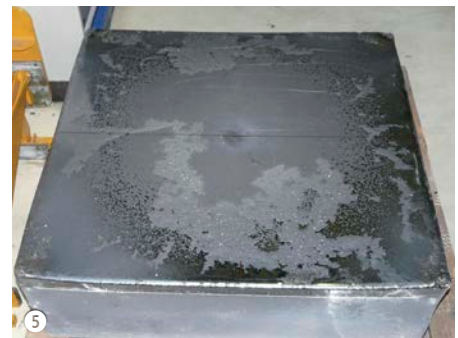
UN REVÊTEMENT HAUTE PURETÉ POUR CRISTALLISER LE SILICIUM

Grâce à un revêtement de creuset haute pureté à base de silazane (polymère inorganique), des lingots de silicium de taille G2 (60kg) aux caractéristiques améliorées ont été obtenus. La zone contaminée ou *red zone* est réduite de 38 %. La qualité du silicium au cœur du lingot est meilleure, d'où un rendement de conversion plus élevé des cellules. Ces gains compensent largement le surcoût du revêtement, qui a été breveté. Les travaux se poursuivent autour de sa stabilité et de son épaisseur. ⁴



NOUVEAUX GAINS QUALITATIFS SUR LE SILICIUM MONOLIKE

Le design de four et la recette thermique définis pour les lingots monolike de 60 kilos ont été validés à l'échelle de lingots industriels de 450 kilos. Le procédé est reproductible, la zone monocristalline couvre de manière constante plus de 98 % du volume exploitable. Le rendement photovoltaïque a progressé et se rapproche de celui des lingots monocristallins, pour des coûts de production bien inférieurs. Une nouvelle thèse a débuté pour comprendre l'origine de certains défauts du matériau. ⁵



ÉBOUTAGE DU SILICIUM : LES FILS THERMOCOMPACT EN QUALIFICATION

La PME Thermocompact dispose maintenant de lignes prototypes pour qualifier ses boucles de fil diamant et ses fils diamant 120 µm, destinés à l'éboutage de briques de silicium solaire et à la découpe de wafers. La collaboration avec le Liten se poursuit avec la caractérisation des fils fabriqués. Objectif prioritaire : améliorer la durée de vie des fils, pour les vendre dès la fin 2015 et offrir ainsi une alternative au leader mondial. ⁶





DES BANCS DE CARACTÉRISATION DÉDIÉS AU CPV

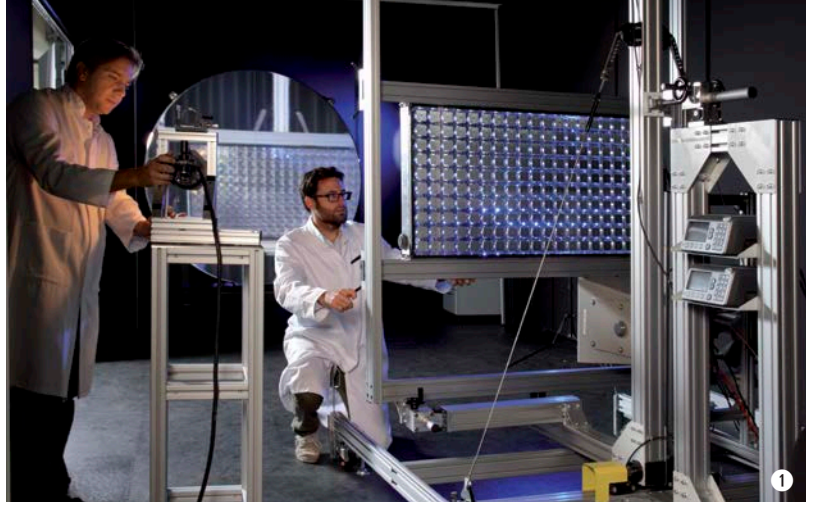


Mathieu Baudrit

Chef du laboratoire Photovoltaïque
à concentration

Alors qu'il existe de nombreux outils de caractérisation pour le photovoltaïque classique, ce n'est pas le cas pour le photovoltaïque à concentration (CPV). Aussi, nous avons développé deux bancs de caractérisation indoor dédiés. Ils ont démontré leur utilité à travers des essais menés pour deux partenaires industriels. Le premier, un banc de mesure de réponse spectrale pour cellules encapsulées ou non, évalue la baisse de rendement des cellules sous différentes conditions de température et d'angle de lumière incidente représentatives du fonctionnement en conditions réelles ; ceci en raison de la variation des propriétés optiques des matériaux d'encapsulation.

Avec le second banc, nous caractérisons des modules CPV prototypes « mono-lentilles » en jouant sur le spectre lumineux, les températures de la lentille et des cellules, ainsi que la distance focale lentille/cellule. Un mode automatisé balaie tous ces paramètres et trouve la combinaison optimale. Nous avons montré par exemple qu'une distance focale accrue de 4 mm peut faire gagner plusieurs points de rendement en conditions réelles de fonctionnement. ①



DEUX NOUVELLES MÉTHODES POUR ANALYSER LA QUALITÉ DU SILICIUM

Deux méthodes innovantes sont développées pour permettre aux industriels d'analyser la qualité du silicium photovoltaïque. La première, basée sur l'ablation laser et la spectrométrie (méthode LIBS), effectue une mesure en ligne quantitative des impuretés en bore et en impuretés métalliques dans le silicium liquide en fusion à 1 430 °C. Un prototype fonctionnel basé sur un brevet du CNRC (Canada) a été fabriqué en collaboration avec eux et installé à INES. Il a été testé avec succès sur des batchs de 3 kilos de silicium fondu. Une thèse est en cours afin d'abaisser les seuils de détection et de détecter d'autres impuretés. La seconde méthode, Oxymap, mesure et cartographie la teneur en oxygène interstitiel dans des plaquettes Cz de silicium monocristallin, quels que soient leurs épaisseurs et leurs états de surface. Elle prédit la perte de rendement cellule engendrée par la formation de défauts associés à l'oxygène. La PME AET Technologies a développé un premier prototype d'équipement Oxymap installé au LITEN. La version industrielle, maintenant finalisée, permet à l'entreprise de poursuivre son déploiement à l'échelle internationale. ②

DES CELLULES À HÉTÉROJONCTION PLUS PERFORMANTES ET MOINS CHÈRES

22,8 % : c'est le nouveau record de rendement sur les cellules à hétérojonction (HET) du Liten. Il a été obtenu en remplaçant la sérigraphie par une technique de métallisation cuivre, mise en œuvre avec les équipements de microélectronique du CEA Leti. La largeur des lignes passe de 90 à 40 µm, ce qui réduit l'ombrage. La résistivité des lignes est divisée par quatre. L'argent, principal contributeur de coût des cellules HET, est remplacé par du cuivre, 20 à 30 fois moins cher.

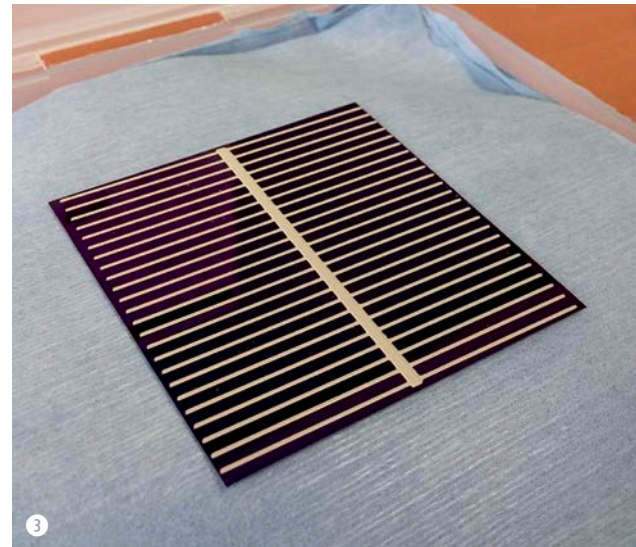


LE PHOSPHURE DE GALLIUM, ALTERNATIVE AU SILICIUM AMORPHE HYDROGÉNÉ ?

Des travaux sur le phosphure de gallium montrent qu'il pourrait remplacer le silicium amorphe hydrogéné dans les cellules à hétérojonction : meilleur courant, meilleure tension de circuit ouvert et d'après des simulations, rendement de conversion accru de 2 %. Toutefois, sa mise en œuvre pose encore des problèmes de dégradation du substrat et de passivation de surface. Plusieurs voies technologiques sont étudiées pour résoudre ou contourner ces difficultés. Une thèse a débuté fin 2014. ³

DES MODULES HAUTE TENSION POUR GAGNER EN RENDEMENT

Un concept de module photovoltaïque haute tension est à l'étude pour réduire les pertes résistives par effet Joule. Chaque cellule est redécoupée en sous-cellules de même tension. Deux panneaux démonstrateurs à 576 sous-cellules (à partir de 64 cellules redécoupées en 9) ont été réalisés sur cette base : leur tension s'élève à 300 V et le gain de productible est de 3 à 5 %. Deux autres panneaux de 18 V et 110 V (cellules redécoupées en 6 sous-cellules) vont être testés en extérieur pendant un an.



Interview

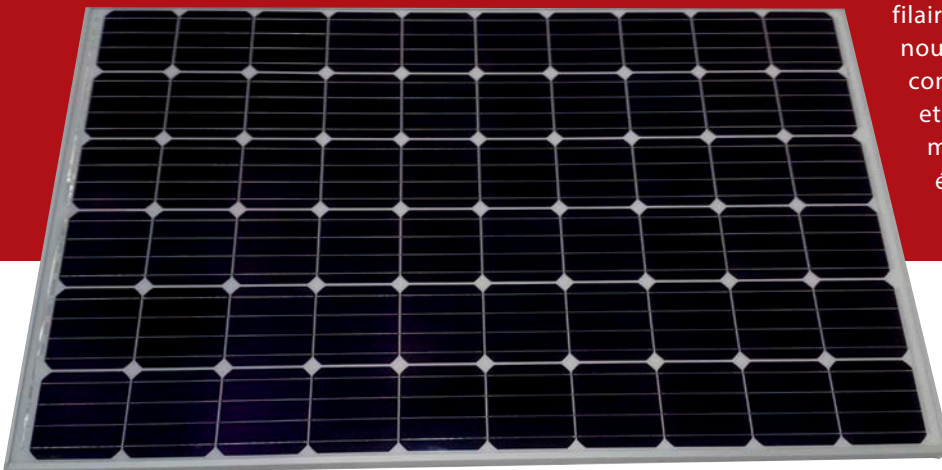
HÉTÉROJONCTION : DE LA CELLULE AU MODULE DE PUISSANCE

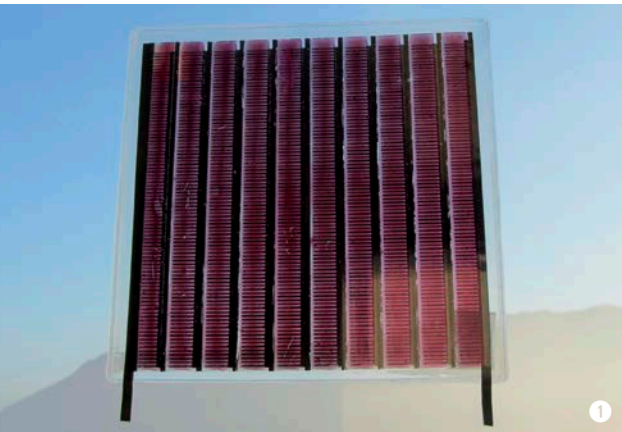


Charles Roux
Responsable des opérations
du Labfab Hétérojonction

Après les travaux de R & D menés depuis deux ans sur la cellule photovoltaïque à hétérojonction, nous avons franchi un cap décisif en 2014 : la réalisation de modules de 60 cellules, d'une puissance record de 308,2 Wc. Ils ont été optimisés sur plusieurs points : réduction des courants de fuite, interconnexion des cellules par un stringer développé avec un partenaire, encapsulation avec un matériau fourni par Arkema...

Le rendement moyen des cellules a été mesuré à 21,34 %. Le module est directement transférable à un industriel et a fait l'objet de 60 brevets. Grâce à la technologie hétérojonction, le module est compétitif et fait preuve d'un meilleur comportement en température que les technologies concurrentes. De plus, nous pourrions monter à 320 W de puissance, voire plus, grâce aux améliorations en cours : remplacement des bus par des interconnexions filaires, utilisation de nouveaux oxydes conducteurs transparents et réalisation de la métallisation par dépôt électrochimique cuivre.





1

PHOTOVOLTAÏQUE ORGANIQUE : L'IMPRESSION JET D'ENCRE DOPE LES RENDEMENTS

Des modules photovoltaïques organiques flexibles de 5 cm x 5 cm réalisés entièrement par impression jet d'encre ont atteint un rendement de plus de 4,5 %, le meilleur jamais publié pour cette technologie. Ce procédé très versatile est particulièrement adapté pour élaborer des produits sur-mesure. Les travaux se poursuivent sur la stabilité des dispositifs, leur encapsulation et le passage au format 15 cm x 15 cm. 1

SITES ISOLÉS : LA CHAÎNE HYDROGÈNE FAIT BAISSER LES COÛTS

Ajouter une chaîne hydrogène à un système hybride photovoltaïque/batteries lithium réduit le montant total de l'investissement et le coût de production de l'électricité. C'est ce qu'a montré une étude menée avec Areva Stockage d'énergie, pour un site isolé du Golfe de Guinée. La chaîne hydrogène permet en effet de réduire fortement la taille des batteries. La simulation a été réalisée sur la plate-forme Odyssey du Liten, en comparant plusieurs stratégies d'utilisation du système.

interview

L'INES FABRIQUE DES MODULES DE R & D À L'ÉCHELLE INDUSTRIELLE



Stéphane Guillerez
Chef du service Modules photovoltaïques

Nous avons installé une ligne de fabrication de modules photovoltaïques dotée d'équipements industriels, d'une capacité de 15 MW. Elle est assez polyvalente pour traiter différents types de matériaux, de modules et de dimensions. Nous pouvons ainsi produire les volumes nécessaires pour tester la fiabilité de modules, valider la reproductibilité d'un procédé, quantifier des indicateurs comme le taux de défautuosité ou le taux de rejet qui ont un impact majeur sur les coûts... Beaucoup d'inconnues sont ainsi levées, ce qui accélère les transferts de procédés à nos partenaires. Autre utilisation possible de la ligne : la mettre à disposition d'équipementiers et de fabricants (cellules, modules, matériaux) désirant faire évoluer leurs produits. Ce type de partenariats a

commencé en 2014. Nous avons travaillé avec Arkema sur des matériaux polymères d'encapsulation. Nous réalisons également pour des industriels des pré-séries de modules prototypes dédiés à des applications spécifiques.





2

UN CALODUC ANTI-SURCHAUFFE POUR CAPTEUR SOLAIRE

Un caloduc à effet de coupure a été développé pour éviter la surchauffe du liquide caloporteur de capteurs solaires, dans les phases de fort ensoleillement où les ballons de stockage sont déjà pleins. Ce caloduc contient un fluide qui passe progressivement en phase vapeur, jusqu'à assèchement complet. Les échanges thermiques se limitent alors à la conduction dans la paroi du tube. L'effet de coupure est complet à 145 °C, conformément au cahier des charges. Des essais sur capteur complet ont montré une perte de rendement minime. Un capteur solaire pour l'habitat résidentiel est en développement avec Viessmann. L'industriel collabore également avec le Liten sur l'upgrading d'un de ses capteurs pour réseaux de chaleur, dans le cadre d'un projet qui a déjà fait l'objet de deux brevets. 2

UN MODÈLE VALIDÉ POUR LE STOCKAGE DE CHALEUR THERMOCLINE

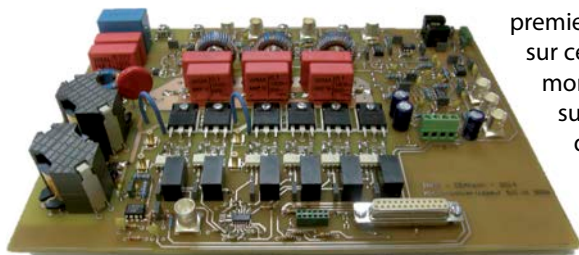
Un modèle numérique de stockage de chaleur de type thermocline huile/roches a été développé et validé sur les résultats expérimentaux de deux prototypes, dont un de 30 m³ de volume utile. Alcen, partenaire industriel du projet, dispose ainsi d'un outil fiable pour dimensionner des réservoirs de taille industrielle et définir leurs points critiques de pilotage. Quant au Liten, il peut exploiter le modèle dans des simulations de cas concrets d'implantation de centrales solaires à concentration. 3



3

UN MICRO CONVERTISSEUR EN CARBURE DE SILICIUM SPÉCIAL PHOTOVOLTAÏQUE

Les micro-onduleurs actuels souffrent de rendements faibles et surtout d'une compacité et une durée de vie insuffisantes. Un prototype totalement original a été conçu et réalisé avec des composants SiC. La structure de type commutateur de courant triphasé permet de limiter les éléments capacitifs et de réduire son volume. Les premiers résultats obtenus sur ce prototype de 300 W montrent un rendement supérieur à 95 %. Une deuxième version est en développement.



CAP SUR LES ETATS-UNIS POUR LA DÉTECTION D'ARCS ÉLECTRIQUES

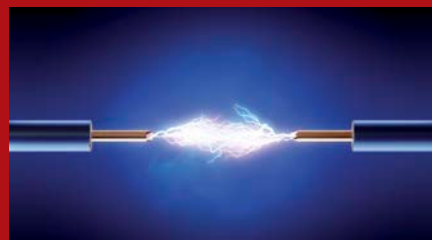
interview



Franck Barruel

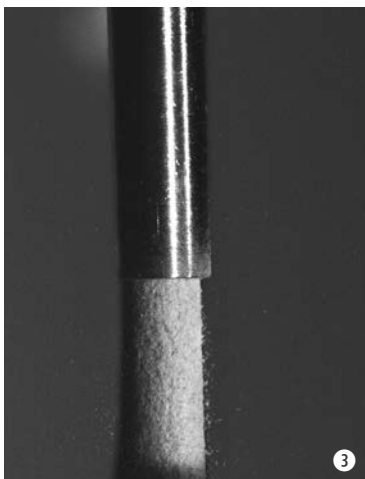
Chef du laboratoire Systèmes photovoltaïques

Avec notre partenaire Socomec, nous avons mis au point une nouvelle technologie de détection d'arcs électriques dans les systèmes photovoltaïques. Nous visons le marché américain, tiré par des produits de détection centralisée couvrant une chaîne de plusieurs modules. En trois mois, nous avons développé une solution qui présente un double avantage par rapport aux concurrents américains : elle est beaucoup plus fiable, en bonnes et en fausses détections ; et elle détecte les arcs parallèles, plus rares mais tout aussi dangereux, et pas seulement les arcs séries. Après une campagne d'essais probante sur 4 sites, en France et en Italie, Socomec a lancé l'industrialisation. Leurs premiers produits, qui associent détection et coupure, seront sur le marché américain au deuxième semestre 2015. Plus de 15 brevets protègent cette technologie, utilisable sur des chaînes photovoltaïques jusqu'à 25 modules.





BIOMASSE ET GAZ DE SYNTHÈSE



LE RÉACTEUR DE MÉTHANATION CHANGE D'ÉCHELLE

Un débit de 1 Nm³/h a été traité sur un réacteur de méthanation par hydrogénation du CO₂. Le taux de conversion est de 95 % et varie peu lors des changements de régime : une flexibilité qui sera utilisée pour un futur couplage à des sources d'énergies renouvelables. Un laboratoire commun a été créé avec la société Atmosstat pour industrialiser ce réacteur. Dans le cadre d'un projet financé par l'Europe, une version expérimentale de 25 Nm³/h de débit sera installée mi-2016 dans une centrale à charbon polonaise. 1

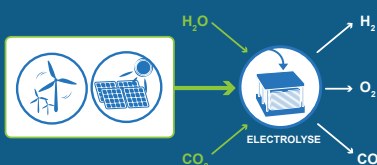
PAPETERIES : LA LIQUEUR NOIRE, UN DÉCHET À MIEUX VALORISER

La liqueur noire générée par la production de pâte à papier peut être bien mieux valorisée : c'est ce que montrent des travaux menés avec l'école Pagora (Grenoble INP) sur la comparaison entre l'évaporation-combustion, procédé de référence, et la liquéfaction hydrothermale. Celle-ci atteint un rendement énergétique plus élevé et permet de récupérer plusieurs molécules d'intérêt de type phénolique, notamment un précurseur de la vanilline. Une thèse est en cours et un brevet a été déposé. 2

BIOMASSE ET BIOCARBURANT : PRÊTS POUR L'UPSCALING

Le projet Syndièse de production de biocarburants à partir de biomasse s'est poursuivi avec l'optimisation des paramètres de broyage, la caractérisation des poudres (granulométrie, taux d'humidité, densité) et des injecteurs. Le débit cible de 50 kg/h de particules de biomasse, injectées à 5 m/s, est obtenu à pression atmosphérique. Ces résultats vont permettre de lancer l'upscaling à 1 tonne/heure et 35 bars sur le démonstrateur, dont la construction s'achèvera en 2015. 3

POWER TO GAS : VERS UN PROTOTYPE DE 100 KW MINIMUM

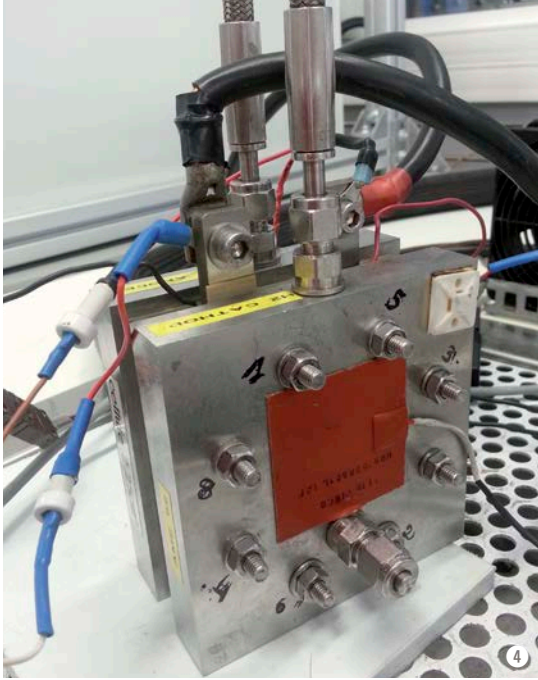


Grâce à nos recherches des dernières années sur le *power to gas*, nous avons levé les grands verrous technologiques sur l'électrolyse avancée et la méthanation. En particulier, notre

électrolyseur haute température a démontré son très haut rendement et sa réversibilité en mode pile à combustible. Il nous reste à étudier le parfait couplage des deux technologies autour de points de fonctionnement optimisés. Nous y travaillons déjà en laboratoire, sur des équipements de quelques kW. Mais nous sommes encore loin des centrales de demain, qui afficheront plusieurs dizaines de

MW de puissance. Pour atteindre une échelle représentative, il faut réaliser un prototype intégré (électrolyse + méthanation) de 100 kW minimum, 1 MW dans l'idéal. C'est l'objectif que nous nous sommes fixés pour 2018 – 2020 et que nous poursuivons avec plusieurs partenaires industriels français. Car l'objectif est aussi de faire émerger une filière industrielle française du *power to gas*.

François Le Naour,
Responsable programmes
Hydrogène et Biocarburants



HYDROGÈNE

RÉVERSIBILITÉ DÉMONTRÉE POUR UN STACK DE 25 CELLULES

Un prototype de stack d'électrolyseur haute température 25 cellules a été testé en alternant le fonctionnement en production d'hydrogène (SOEC) et en mode pile (SOFC). En mode pile, l'échauffement du stack a été volontairement limité à 20 °C; un brevet est en cours de dépôt sur des stratégies de refroidissement d'une SOFC alimentée en H₂. Ces résultats en réversibilité ouvrent des débouchés prometteurs à l'électrolyse haute température, notamment pour gérer des sources d'énergie intermittentes.

UN MODÈLE POUR ÉTUDIER LA DÉGRADATION DES ÉLECTROLYSEURS PEM

Un modèle multi-physique des performances et de la dégradation de membrane d'un électrolyseur PEM a été élaboré à partir de données expérimentales obtenues sur petites cellules (25 cm²). Il confirme et affine la compréhension de certains mécanismes et en révèle d'autres, comme l'absence de dégradation à très bas courant. Il est déjà utilisé pour adapter la stratégie de pilotage de l'électrolyseur selon son vieillissement, stratégie brevetée, et pour concevoir des protocoles de tests de vieillissement accéléré. 4

RÉDUIRE LE COÛT DU STOCKAGE SOLIDE DE L'HYDROGÈNE

Peut-on réduire le coût de stockage de l'hydrogène en diminuant celui du matériau qui le stocke (absorption/désorption)? C'est l'objet d'une thèse axée sur le développement d'un hydrure intermétallique, le titane vanadium fer. Le gain en coût est obtenu en partant de précurseurs moins purs, au prix d'une perte de capacité d'absorption de 10 à 20 %. Les travaux ciblent les différentes impuretés et les moyens de neutraliser celles qui gênent le plus l'absorption. 5

90% DE
RENDEMENT POUR
L'ÉLECTROLYSEUR
HAUTE
TEMPÉRATURE !

C'est une étape importante vers la production décarbonée d'hydrogène : l'électrolyseur haute température (700 °C) développé par le CEA a produit de l'hydrogène à partir de vapeur d'eau à 150 °C et d'électricité. La chaleur des gaz de sortie est récupérée pour préchauffer les gaz d'entrée, d'où un rendement de 90 %. Le système, très compact, produit de 1 à 2,5 Nm³/h d'hydrogène selon le débit d'eau et la température, qui peut atteindre 800 °C. Dix brevets ont été déposés en 2014.





Véhicule électrique et hybride

SUR TERRE, SUR MER ET DANS LES AIRS

Le Liten développe des chaînes de traction électriques innovantes pour tous types de véhicules. Chaque développement répond à des exigences élevées de sécurité, de performances et de facilité d'industrialisation.

Les travaux portent à la fois sur les batteries lithium-ion et leurs alternatives (soufre, sodium-ion...) ainsi que sur la pile à combustible Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC), voire sur une hybridation des deux technologies. Ils abordent le sujet avec une vision intégrée, du matériau au démonstrateur opérationnel. Ils s'appuient sur la Plate-forme de Nanocaractérisation (PFNC), un outil unique au monde, pour observer, comprendre et ainsi améliorer la performance des matériaux.

BATTERIES

CELLULES LFP/G : 4% DE CAPACITÉ SUPPLÉMENTAIRE APRÈS 500 CYCLES

Une amélioration de capacité de 4 % après 500 cycles a été obtenue sur des cellules lithium fer phosphate graphite 50125, pour applications transport nécessitant des densités d'énergie et des durées de vie élevées. Ce gain est dû à une meilleure stabilité de la couche de passivation (SEI) du graphite. Les chercheurs ont choisi un type de graphite optimisé et ajusté le dosage de l'électrolyte en vinyle carbonate. Ces travaux sont menés avec la start-up Prollion. 1



interview

BATTERIES LI-ION : LA DÉGRADATION DES ÉLECTROLYTES MIEUX ANALYSÉE



Lise Daniel
Chef du laboratoire
de Caractérisation des
générateurs électrochimiques

Quand un électrolyte de batterie Li-ion se dégrade, il génère des gaz dont l'identification et la quantification permettent de remonter aux mécanismes mis en jeu. Voilà pourquoi nous avons optimisé cette année notre équipement de chromatographie en phase gaz couplée à l'analyse infra-rouge (GC/IR).

Les améliorations effectuées avec le constructeur nous permettent de réduire la prise d'échantillon et de discriminer un par un plusieurs dizaines de gaz. La définition des pics est bien plus

précise. Il devient possible de corréler chaque modification de l'électrolyte – solvants, sels, additifs – avec la nature des gaz générés, et de progresser ainsi vers la formulation d'un électrolyte optimal. Les premiers essais ont été menés sur des accumulateurs haute tension développés avec un partenaire industriel. Nous pouvons travailler sur d'autres systèmes Li-ion, sur des technologies de piles à combustible. De plus, la GC/IR n'est pas limitée aux gaz et peut analyser des liquides et des solides.

DEUX PROJETS-PHARES MENÉS POUR RENAULT EN MOINS D'UN AN



Thierry Boudet
 Chef du laboratoire
 Electronique, énergie
 et puissance

2014 a été marquée par deux projets d'innovation menés pour Renault dans des délais très serrés. Le premier concernait un prototype Eolab, véhicule hybride, présenté au salon de l'Auto à Paris. En seulement neuf mois, nous avons conçu et réalisé le pack de batteries Li-ion et l'électronique de son système de management. Ce pack développe une énergie de 6 700 Wh, pour une masse de 90 kilos et un volume de 99 litres. Il a largement contribué à la consommation record de l'Eolab : 1 litre aux 100 km... Cette dernière peut atteindre les 120 km/h et parcourir jusqu'à 60 km en fonctionnement tout électrique. Second sujet, un

détecteur de défauts d'isolement pour batterie de véhicule électrique, soit des tensions d'environ 400 V. Nous avons proposé un concept faible coût qui réduit fortement le câblage et effectue sur table une mesure précise à 1 % pour 100 kOhms. Le projet a été mené en 8 mois. La technologie a été transférée à Renault fin 2014 et est en cours d'analyse/validation chez eux.



VERS DES BATTERIES ENTièrement GÉLIFIÉES

Deux systèmes électrochimiques (LFP et NMC) gélifiés pour batterie Li-ion et lithium-métal ont été développés au format pile-bouton. Leurs performances sont similaires à celles des systèmes à électrolytes liquides. Ininflammables et non toxiques, ils seraient de plus faciles à mettre en œuvre sur batterie flexible, ou en configuration 3 D. Un brevet est en cours de dépôt. La technologie est déjà utilisée dans deux projets collaboratifs. Plusieurs industriels ont manifesté leur intérêt.



PREMIÈRE MONDIALE SUR LES ACCUMULATEURS NA-ION

Des accumulateurs sodium-ion ont été réalisés* pour la première fois au monde en emballage rigide. Les tests électriques montrent une cyclabilité et des densités d'énergie massique et volumique prometteuses par rapport au Li-ion. Les performances devraient encore s'améliorer avec les optimisations en cours : matériaux actifs, électrodes, emballage allégé... La technologie Na-ion, qui offre une meilleure sécurité d'approvisionnement des matériaux que le Li-ion, confirme ainsi son intérêt. ②

* développement réalisé dans le cadre d'une collaboration avec le réseau RS2E (réseau de stockage de l'énergie électrochimique)

NOUVEAU PACK BATTERIES 100 % CEA POUR LE VOILIER ZÉRO CO₂

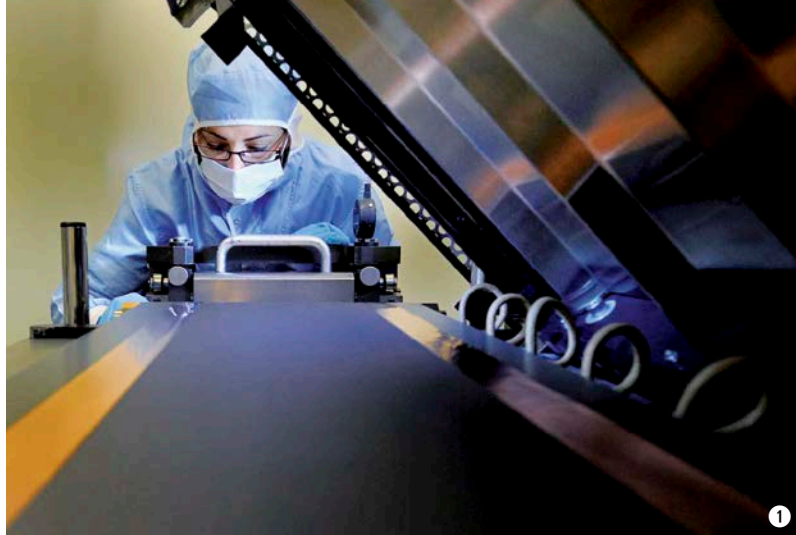
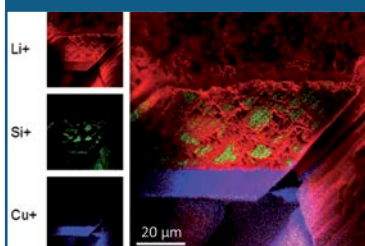
Après quatre ans d'utilisation et 3000 miles nautiques parcourus, le voilier Zéro CO₂ est revenu au CEA pour le remplacement de ses batteries LFP. Les chercheurs ont entièrement développé son nouveau pack qui, à volume constant, affiche 19 kWh d'énergie contre 15 kWh auparavant. Le *battery management system (BMS)* a été durci et déporté sur les modules, pour un meilleur pilotage et une sécurité renforcée. Le voilier doté de ce nouveau pack a été remis à l'eau au printemps 2015. ③





CARACTÉRISATION : L'ANODE SILICIUM LIVRE SES SECRETS

Des anodes pour batterie Li-ion, en silicium-carbone nanostructuré, sont dorénavant caractérisées en couplant les spectroscopies ToF-SIMS et Auger. Il est ainsi possible d'observer la distribution du lithium dans l'ensemble de l'électrode et de caractériser individuellement des particules micrométriques. L'objectif est de mieux comprendre les étapes de vieillissement du matériau : le silicium, remplaçant potentiel du graphite, a en effet l'inconvénient de tripler de volume au cours de la lithiation.



NOUVEAUX PROGRÈS SUR LA CYCLABILITÉ DU SILICIUM COMME MATÉRIAU D'ANODE

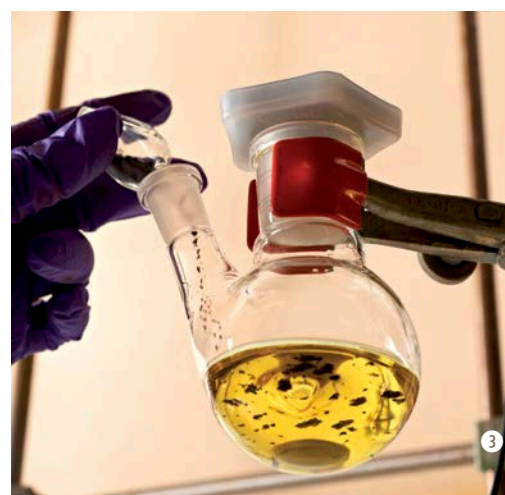
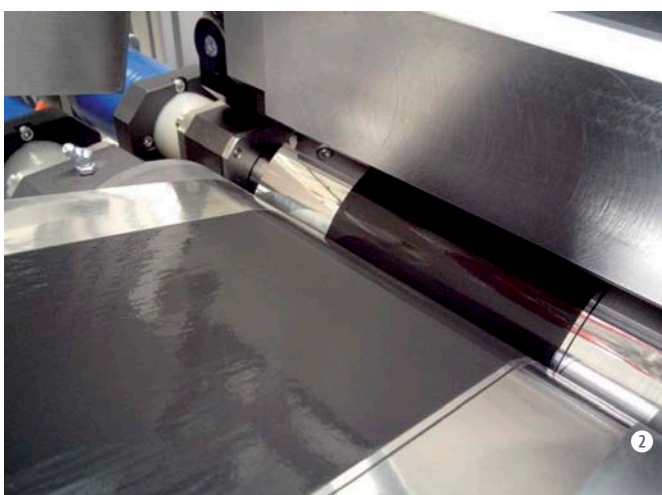
Associé à du graphène et du carbone amorphe, le silicium peut devenir un matériau d'anode à haute densité d'énergie pour batteries Li-ion. A condition de minimiser l'impact de son expansion volumique lors de l'insertion du lithium... Des progrès ont été enregistrés à l'échelle du matériau (jusqu'à 200 cycles) et de la cellule (densité d'énergie supérieure à 300 Wh/kg). Les travaux se poursuivent sur les matériaux (brevet en cours), la formulation, l'électrolyte et le design des cellules. 1

LES ÉLECTRODES DE SOUFRE PRÊTES POUR L'ENDUCTION

Des essais d'enduction d'électrodes de soufre ont été menés sur banc semi-industriel, avec deux types de formulations d'encres. Le procédé ne présente aucun point bloquant. Les deux électrodes réalisées sont enduites à 7 mg/cm², mesurent 10 mètres de long et comprennent une partie monoface et une partie biface. Elles ont été testées en piles-boutons. Cette voie est prometteuse : le soufre est largement disponible, peu coûteux, non toxique, et a une excellente capacité de stockage massique. 2

BATTERIES LI-ION EN FIN DE VIE : MIEUX VALORISER LES MÉTAUX CRITIQUES

Une voie hydrométallurgique d'extraction sélective des métaux de transition contenus dans les matériaux actifs des électrodes (Co, Ni,...) des batteries Li-ion est développée avec la société SNAM (Aveyron), recycleur de différents types de batteries (Ni/Cd, alcalines-salines, Ni-MH, Li-ion). Le procédé en cours d'optimisation devrait permettre à terme d'extraire plus de 90 % du cobalt et du nickel en mélange ou de manière séparée selon le cours de ces métaux permettant ainsi la valorisation économique la plus attractive possible. 3





PILES À COMBUSTIBLE

ENCRE POUR PILE À COMBUSTIBLE : LA PRODUCTION CHANGE D'ÉCHELLE

Deux lots de 20 litres d'encres pour couches de diffusion de gaz (GDL) ont été produits en un mois à la demande d'un partenaire industriel. Les lots produits étaient jusqu'ici inférieurs au litre. Les chercheurs ont utilisé les équipements de mélange dédiés aux encres pour batteries Li-ion. A cette occasion, ils ont adapté deux techniques de contrôle, portant sur la rhéologie et la dispersion des encres. Elles sont désormais en cours de fiabilisation pour assurer la reproductibilité du procédé.

UN MICROPOREUX À BASE DE NAFION® AMÉLIORE LES RENDEMENTS

Un microporeux pour pile PEM utilisant le Nafion® comme liant à la place du PTFE a été formulé et testé en monocellules de 220 cm². Le gain de performance (5 % environ) est très significatif. Les rendements de fabrication pour plusieurs dizaines d'impressions sur ligne pilote dépassent les 90 %. De plus, l'utilisation du Nafion® supprime une étape de frittage à 350 °C. Les travaux se poursuivent avec l'adaptation de ce microporeux à de nouvelles membranes pour PEMFC destinées à l'automobile. 4

VALIDATION D'UN OUTIL DE DIAGNOSTIC TEMPS RÉEL POUR PILE PEM

Un outil de diagnostic embarqué pour pile PEM a été conçu, puis validé sur le système Epicea1 (puissance nette : 3 kW) du CEA. A partir de multiples points de mesure de la tension, il détecte en temps réel des défauts tels que la baisse de pression des circuits, la dérive de température de la pile, l'excès d'humidité des circuits gaz, etc. Fruit d'une collaboration avec le Leti et le List, cet outil va être adapté et réutilisé pour concevoir un contrôle-commande automatisé de pile PEM. 5



interview

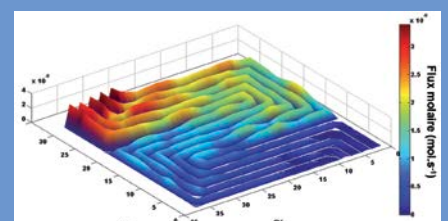
DURÉE DE VIE DES PILES PEM : LES INDUSTRIELS MISENT SUR LA MODÉLISATION MULTI-ÉCHELLES



Mathias Gerard, expert en modélisation pile à combustible

Didier Jamet, chef du laboratoire de Modélisation et monitoring

Mieux prédire la durée de vie des piles PEM passe selon nous par une approche de modélisation multi-échelles : comprendre ce qui se passe au niveau de la particule de catalyseur, puis de la double couche électrochimique, puis de l'électrode, puis de la cellule, puis du système, etc. Nous développons cette méthodologie multi-échelles à partir de différents modèles depuis plusieurs années, et travaillons en collaboration avec des industriels majeurs du secteur de l'industrie automobile. En 2014, nous avons par exemple prédit le vieillissement de piles PEM soumises à des cycles de sollicitations différents, en accord avec les résultats expérimentaux. Nous avons également dimensionné les auxiliaires d'une pile en fonction d'objectifs de performance d'un partenaire. Il est désormais clair que la modélisation multi-échelles apporte une réelle plus-value. Nous poursuivons nos travaux dans le cadre de plusieurs projets industriels et européens. Le projet PumaMind a permis en 2014 de continuer à améliorer notre modèle des réactions élémentaires au niveau du grain de catalyseur.





Efficacité énergétique

RÉCUPÉRER, STOCKER, REDISTRIBUER EFFICACEMENT L'ÉNERGIE

La gestion de l'intermittence des énergies renouvelables est un point clé pour leur mise en œuvre dans les réseaux. Dans ce cadre, le Liten s'attache à stocker l'énergie produite par diverses sources (photovoltaïque, éolien, solaire thermique) pour la restituer en fonction des besoins. Il adapte le délai de restitution à l'application : quelques heures, quelques jours, voire quelques mois pour un stockage intersaisonnier.

Dans le domaine du bâtiment, le Liten développe des modèles capables de prédire la performance énergétique à partir de ses différents composants (murs, vitrages, climatisation...) et des besoins des occupants (température mais aussi qualité de l'air).

La validation des modèles est réalisée sur la plate-forme INCAS, qui regroupe un ensemble de constructions basse consommation échelle 1 entièrement instrumentées.

BÂTIMENT ET SYSTÈMES THERMIQUES



1

UN AN POUR ÉVALUER LE STOCKAGE INTERSAISONNIER

Depuis juin 2014, un démonstrateur de stockage intersaisonnier à l'échelle 1 est opérationnel sur une maison expérimentale INCAS de 90 m² d'INES. Déshydraté l'été, le sel qu'il contient produit de la chaleur l'hiver (chauffage, eau chaude sanitaire : ECS) grâce à la réaction d'hydratation exothermique du bromure de strontium avec la vapeur d'eau. Le démonstrateur stocke 6 tonnes de bromure de strontium, pour une capacité de 1 590 kWh. L'objectif est de couvrir 80 % des besoins annuels en énergie de type chauffage et ECS grâce à 18,5 m² de panneaux solaires standards. 1

LA MACHINE À FROID SOLAIRE MONTE EN PUISSANCE

La version 5 kW de la machine à absorption SOLAMMOR, couplée à des capteurs solaires, a permis pendant 5 mois le rafraîchissement d'un bâtiment INES de 60 m². En parallèle, une nouvelle machine d'une puissance frigorifique de 100 kW est en développement avec ALSOLEN (groupe Alcen) pour les applications climatisation et réfrigération. Un brevet portant sur le pilotage de ces machines a été déposé permettant la détermination du fonctionnement optimal en fonction des conditions extérieures via une modulation de puissance entre 30 et 130 %. 2



2

CONTRIBUTION DU BOIS AU CONFORT DU BÂTI : ZOOM SUR L'HYGROTHERMIE

Dans le cadre du projet multipartenaires Hygrobat, le Liten a étudié pendant deux ans le comportement hygrothermique de parois en fibre de bois et en bois massif, sur des cellules de test à l'INES. En période courte (72 heures), la répartition de l'humidité dépend principalement de la température et de l'isolation ; sur plusieurs mois, elle est surtout fonction de l'humidité de l'air intérieur et extérieur. Ces comportements ont fait l'objet d'une analyse numérique en vue d'une description plus complète.



3

DES MODÈLES POUR AMÉLIORER LE CONFORT D'ÉTÉ

Des modèles numériques propres à chacune des 4 maisons expérimentales INCAS ont été validés à partir de mesures thermiques effectuées en août 2013 et août 2014, sur différents scénarios d'utilisation. Il devient ainsi possible de comparer l'impact de différents usages (ouverture / fermeture des fenêtres et des volets) pour chaque mode constructif (faible ou forte inertie, type d'isolant ou de matériau...) sur le confort d'été. Ces modèles utilisent le logiciel EnergyPlus. 3

VERS UN GÉNÉRATEUR THERMOÉLECTRIQUE POUR POT D'ÉCHAPPEMENT

Des matériaux thermoélectriques à base de siliciures ont été produits par lots de plusieurs kilos et fournis à un partenaire qui développe un générateur thermoélectrique pour pot d'échappement. Elaborés en plots fonctionnalisés puis testés sous gaz chaud, ces matériaux atteignent des facteurs de mérite bien supérieurs à l'état de l'art. Les siliciures développés ont l'avantage d'être constitués de matériaux abondants, peu coûteux et non toxiques. Un transfert vers la start-up Hotblock Onboard est en cours. 4



4

interview

LES VITRAGES D'IMMEUBLES DEVIENNENT PHOTOVOLTAÏQUES ET ESTHÉTIQUES



Simon Perraud
Chef de projet R&D

Avec notre partenaire industriel Crosslux, nous développons depuis 2012 des vitrages photovoltaïques (PV) semi-transparents pour les bâtiments tertiaires. Nous déposons les cellules PV sur le verre, sous forme de couches minces micro-structurées. La production d'énergie peut atteindre plus de 50 W/m². Une analyse environnementale a montré l'intérêt de cette technologie pour exploiter des surfaces verticales dans les pays à fort ensoleillement.

Nous avons réalisé cette année des démonstrateurs 15 cm x 15 cm, déposé de nouveaux brevets – il y en a 5 au total – amélioré la fonctionnalisation des

couches et leur encapsulation. Le procédé est assez versatile pour créer des gradients de transparence sur une même vitre ou encore faire apparaître un logo. Un architecte peut créer des façades vitrées à la fois utiles et esthétiques. Nos prochaines étapes : passer à l'échelle du mètre carré et aborder l'industrialisation.





RÉSEAU ET STOCKAGE ÉLECTRIQUE



VÉHICULES ÉLECTRIQUES : QUEL IMPACT SUR LES RÉSEAUX ?

Dans le cadre du projet Greenlys, un outil s'appuyant sur différents modèles de composants a été développé pour évaluer l'impact de la recharge de véhicules électriques (VE) sur un réseau comprenant ou non des panneaux photovoltaïques. Il permet de définir des stratégies de gestion des recharges, à l'échelle d'une flotte qui peut atteindre 100 VE en gestion temps réel ou 1 000 en gestion prédictive. Un démonstrateur installé au CEA Grenoble suit les 4 stations de recharge de VE du site (30 bornes). Le développement a fait l'objet de 2 brevets et 6 publications. **1**

TECHNOLOGIE SMART-GRID : UN RÉSEAU LOCAL RÉGULÉ PAR UN STOCKAGE LI-ION

Réguler la tension, favoriser la consommation de l'énergie photovoltaïque locale, réduire l'appel de courant lors des pointes, le tout grâce à un système de stockage Li-ion (60 kVA, 150 kWh) : ce sont les objectifs du projet IPERD qui s'appuie sur un réseau de distribution d'un quartier en Poitou-Charentes. Le Liten avec ses partenaires SRD (gestionnaire du réseau de distribution) et Séché-environnement ont installé le système de stockage, développé le logiciel de pilotage et validé leur solution sur ce réseau alimenté par une centrale photovoltaïque de 120 kWc et desservant 27 points de livraison. **2**



SPIDER, UNE PLATE-FORME POUR DIMENSIONNER DES SYSTÈMES ÉNERGÉTIQUES

La plate-forme logicielle Spider, lancée en 2014, dimensionne tous types de systèmes énergétiques à partir de la modélisation physique de leurs composants : sources d'énergie renouvelables ou conventionnelles, moyens de stockage, points de consommation... L'approche associe les aspects techniques et économiques. L'architecture du système et le pas de temps retenus sont modifiables à volonté. Spider intéresse en particulier les fabricants de technologies pour l'énergie et les intégrateurs système.

interview

DU STOCKAGE STATIONNAIRE FORTE PUISSANCE DANS LE MICRO-RÉSEAU EXPÉRIMENTAL PRISMES



Olivier Wiss

Responsable de la plate-forme Smartgrid à l'INES

Les stockages stationnaires électrochimiques de forte puissance font leur apparition dans les réseaux insulaires. Ils corrigent les instabilités dues à la nature des sources d'énergies renouvelables (éolien, photovoltaïque). Mais nous n'en avons pas sur notre micro-réseau de distribution expérimental Prismes, que nous utilisons pour de la caractérisation, de la modélisation et des tests fonctionnels. Ce manque a été comblé en 2014 avec la plate-forme Colosse, qui peut accueillir jusqu'à trois systèmes de stockage stationnaire de puissance maximale 150 kVA. Colosse a été connectée à Prismes et à ses équipements : station

de recharge électrosolaire, maisons instrumentées, centrale photovoltaïque en toiture... Nous disposons ainsi d'un réseau îlotable à souhait, dont les systèmes de stockage peuvent être connectés au réseau principal, déconnectés ou resynchronisés selon les besoins. Nous pouvons ainsi reproduire une mini-centrale complète et travailler sur les approches micro-grid, clé de l'intégration de la production dans le réseau électrique.



L'actualité des start-up

ISORG LÈVE 7,9 MILLIONS D'EUROS

ISORG (capteurs optiques en électronique organique) a clôturé sa première levée de fonds fin 2014 pour un montant de 7,9 millions d'euros. Dynalym, fonds régional du Limousin, a rejoint à cette occasion les autres investisseurs de la start-up : BPI, CEA Investissement et Sofimac Partners.

La construction d'un site industriel a démarré à Limoges. 3 000 m² de salles blanches et de bureaux seront livrés en 2016, la production en volume commencera en 2017. ISORG poursuit sa collaboration en R&D avec le CEA, autour de capteurs d'images de grande surface sur verre et plastique pour un leader des équipements

d'imagerie rayons X. La société développe également un capteur d'image plastique d'un million de pixels, ainsi que des solutions innovantes de systèmes connectés pour gestion automatique de stock.



STEADYSUN LANCE UN SERVICE DE PRÉVISION UNIQUE AU MONDE

Avec sa caméra Sky Imager SW02, lancée en 2014, Steadysun (prévision de la production solaire) est le premier acteur de son marché à proposer un service logiciel complet, basé sur des images fish-eye, afin d'anticiper les intermittences de la production photovoltaïque pour les minutes à venir. Légère (3 kg), compétitive,

facile à mettre en place, la caméra résiste à 200 cycles en température entre - 40°C et + 85°C. Les prévisions fournies atteignent une précision inégalée : à 10 minutes, les erreurs sont réduites par un facteur 3 à 4. Steadysun a également levé 500 000 euros lors d'un tour de table, pour financer la suite

de son développement. Elle a décroché de nouveaux clients en France, en Suisse, en Espagne et en Allemagne, pays dans lequel elle a ouvert un bureau commercial à Stuttgart.



PROLLION SIGNE UN CONTRAT MAJEUR

PROLLION (systèmes batterie lithium-ion sur mesure) et le CEA Liten ont signé un contrat majeur avec un acteur de la Défense, pour une collaboration pluriannuelle de grande ampleur. Ce succès s'inscrit dans une année 2014 marquée par le recrutement d'une dizaine de collaborateurs et par une croissance de 60 % du

chiffre d'affaires. La start-up a également livré un système batterie de 18 kWh pour engins de travaux publics et un système pour une application sous-marine. Suite à la finalisation du contrat de développement avec la société horlogère suisse Breitling, PROLLION a obtenu la certification internationale de

sa batterie rechargeable EnerSi 250. Cette dernière est intégrée dans la montre haut de gamme Emergency II, dotée d'une balise de détresse. La production en série des EnerSi 250 a débuté.



Les plates-formes

PLATE-FORME NANO-CARACTERISATION



Pour élaborer matériaux et composants à l'échelle nanométrique*, il faut connaître leur morphologie et leurs propriétés chimiques et physiques. La plate-forme Nanocaractérisation (PFNC) offre un regroupement unique au monde de compétences en nanocaractérisation, avec des équipements lourds capables de scruter la matière en 2D ou en 3D à une échelle proche de celle de l'atome. En outre, la PFNC collabore avec les Grands Instruments comme les synchrotrons (ESRF) ou des réacteurs à neutrons (ILL) pour atteindre des résolutions ultimes. Elle intervient en support des programmes de recherche du CEA, développe de nouvelles techniques d'analyse et collabore avec une vingtaine d'équipementiers, de start-up et de grands industriels.

* 1 nanomètre = 1 milliardième de mètre

PLATE-FORME PILES A COMBUSTIBLE



La plate-forme Piles à combustible améliore les performances et la durée de vie des piles tout en réduisant leur coût, grâce à une approche intégrée qui couvre les matériaux, les assemblages membrane-électrode, les stacks et les tests de démonstrateurs en conditions réelles. Elle dispose de bancs de tests et d'équipements de pointe. Ses travaux de R&D, qui ciblent les transports et les applications stationnaires, se situent à l'état de l'art mondial. Une dizaine d'industriels y participent, notamment Symbio FCell.

PLATE-FORME BATTERIES



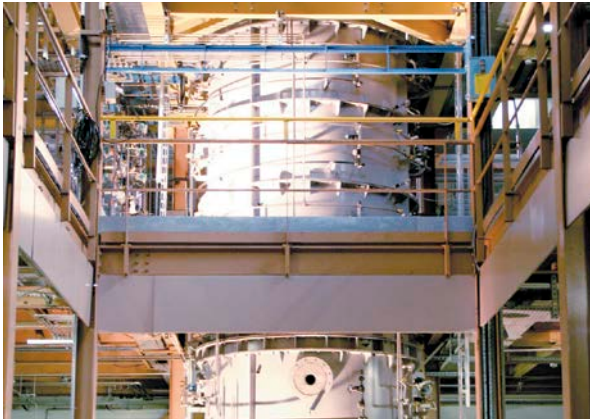
La plate-forme Batteries réalise des batteries lithium-ion en petites séries, depuis la synthèse des matériaux jusqu'à l'intégration dans des systèmes complets. Elle met au point des filières de production complètes pour tous types d'applications, de l'implant auditif au bus électrique. Les objectifs : réduire les coûts, améliorer l'autonomie et la fiabilité. La taille et le niveau d'équipement de la plate-forme en font un outil de R&D unique en Europe, à disposition des industriels.

PLATE-FORME MOBILITE ELECTRIQUE



La plate-forme Mobilité électrique intègre des prototypes de batteries ou de piles à combustible développés par le CEA dans des véhicules terrestres, aériens ou marins, et les teste en conditions réelles. Elle dispose d'équipements tels que : ateliers d'assemblage, bancs d'essai, stations de recharge, logiciels de monitoring et d'analyse. Les essais, menés sur site fermé ou ouvert, alimentent le retour d'expérience sur les performances, le cyclage, le vieillissement, etc. Ils facilitent l'accès au marché de la dizaine d'industriels associés aux travaux : fabricants de batteries, de piles, de véhicules classiques ou électriques...

PLATE-FORME BIOMASSE



Unique en France, la plate-forme Biomasse axe ses travaux de R&D autour du broyage, de la torréfaction et de la gazéification de bio-ressources : bois, résidus agricoles et forestiers, et demain peut-être ordures ménagères, déchets de papeterie, boues de stations d'épuration, micro-algues etc. Elle analyse et modélise les phénomènes physiques, expérimente à une échelle laboratoire et démonstrateur, évalue des procédés, réalise des démonstrateurs, avec l'objectif de proposer des solutions économiquement viables d'ici 2020. Elle collabore avec une quinzaine de partenaires industriels.

PLATE-FORME SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE



La plate-forme Solaire photovoltaïque participe au développement de la filière industrielle française du solaire. Ses recherches portent sur les matériaux, les procédés et les équipements, pour le photovoltaïque. Elle associe de nombreux industriels à ses travaux. Son équipement-phare est le Labfab hétérojonction, une ligne préindustrielle capable de produire des cellules photovoltaïques à plus de 20 % de rendement. Enfin, elle accompagne le développement à l'export des PME françaises du solaire, pour la vente de leurs technologies ou la réalisation d'usines de modules photovoltaïques clés en main.

PLATE-FORME HYDROGENE ET STOCKAGE



La plate-forme Production hydrogène et stockage développe des procédés de production, de conversion et de stockage de l'hydrogène utilisé en tant que source d'énergie. Elle est l'un des tout premiers déposants mondiaux de brevets sur l'électrolyse haute température et la pile à combustible SOFC. Elle teste des démonstrateurs de taille significative, comme des réservoirs de stockage uniques au monde contenant 15kg d'hydrogène solide, en lien avec la société McPhy Energy. Ses recherches portent aussi sur la déclinaison de ces procédés à d'autres gaz : dioxyde de carbone, gaz naturel, biogaz, etc.

PLATE-FORME SYSTEMES « SMART GRID »



Dimensionner, piloter et optimiser des systèmes énergétiques comprenant des sources de production intermittentes et des moyens de stockage électrique, ceci à l'échelle d'une maison, d'un bâtiment voire d'un quartier : c'est la vocation de la plate-forme de R&D Systèmes « smart grid ». Ses équipements, réels ou virtuels, lui permettent d'étudier des configurations variées, de gérer chacun de leurs composants, de définir des stratégies de pilotage, d'optimiser la rentabilité. Ces travaux sont menés avec une quinzaine de partenaires industriels.

Les plates-formes

PLATE-FORME THERMIQUE



La plate-forme Thermique réunit des chercheurs autour de la R&D sur le solaire thermodynamique à concentration (CSP), le stockage thermique et les systèmes thermiques pour l'industrie. Elle accompagne ses partenaires industriels dans la compréhension de ces technologies, leur optimisation et le développement de produits. Pour réaliser des études, des démonstrateurs et des essais à différentes échelles, elle dispose d'un parc d'équipements comprenant des boucles d'essais d'échangeurs, de systèmes solaires, de stockages thermiques sur lit de roche ou par matériau à changement de phase...

PLATE-FORME IMPRESSION GRANDE SURFACE



La plate-forme Impression grande surface PICTIC formule des encres électroniques et industrialise des procédés, pour doter des grandes surfaces (320 x 380 mm) souples de fonctions électroniques : capteurs de pression ou de température, convertisseurs de signal, systèmes de visualisation, etc. Elle dispose d'un parc d'équipements d'impression et de caractérisation. Unique en Europe par son niveau d'équipements et le caractère innovant de ses procédés, cette plate-forme de R&D collabore avec plusieurs industriels français et étrangers, dont la start-up Isorg.

PLATE-FORME METALLURGIE DES POUDRES



La plate-forme Métallurgie des poudres développe des aimants et des composants métalliques ou céramiques à haute valeur ajoutée : formes complexes, structures allégées, propriétés physiques particulières, assemblages d'aimants, multi-matériaux... Elle est dotée d'une chaîne complète d'équipements industriels ou semi-industriels et réalise tout le process de fabrication, du mélange des poudres à l'obtention des composants : un positionnement unique en Europe pour une plate-forme de R&D. Elle collabore avec de nombreux industriels. Ses composants visent plusieurs marchés : connectique, éclairage, électronique de puissance, santé, chimie fine, énergie, etc.

PLATE-FORME MICRO-SOURCES D'ENERGIE



La plate-forme Micro-sources d'énergie développe des micro piles à combustible et des dispositifs thermo-électriques pour alimenter cartes à puce, capteurs, ordinateurs portables... Pour optimiser le coût et les performances de ces sources d'énergie, elle dispose d'une gamme complète d'équipements préindustriels. Elle mise en particulier sur l'innovation matériaux, à travers de nombreux procédés de PVD-CVD*. Ses principaux partenaires industriels sont Bic** et la start-up Hotblock OnBoard, issue du CEA.

* PVD-CVD : dépôt physique ou chimique en phase vapeur

** Bic a vendu cette activité à Intelligent Energy début 2015

Le LITEN acteur des Programmes d'Investissements d'Avenir

Le LITEN est un acteur important du déploiement des Programmes d'Investissements d'Avenir. Il a obtenu 2 Equipex à l'issue des premiers appels. En outre, en tant qu'Institut Carnot Energies du Futur, le projet AvenePme porté avec le Carnot M.I.N.E.S. a été sélectionné en réponse à l'appel dédié aux Instituts Carnot sur le développement de l'offre innovation vers les PME/ETI. L'activité solaire du Liten associée aux partenaires de l'Institut National de l'Energie Solaire (INES) a par ailleurs bénéficié d'un financement en tant qu'Institut de la Transition Energétique.

AVENE PME : UN PROJET POUR BOOSTER L'OFFRE D'INNOVATION VERS LES PME/ETI

Le projet AVENE PME que pilote le Liten associe les Instituts Carnot « Energies du Futur » et « M.I.N.E.S ». Fort d'un budget de 12 M€ il consiste à animer un réseau de 8 Chargés de Soutien à l'Innovation qui prospectent durant les quatre années du projet les TPE/PME et ETI françaises afin de leur proposer des solutions à leurs besoins d'innovation en les mettant en relation de façon privilégiée avec les 85 laboratoires du consortium. Deux outils collaboratifs ont été élaborés pour ce projet, un catalogue électronique interactif qui permet de recenser et d'identifier à partir de mots clés les savoir-faire et moyens des laboratoires concernés, et une plateforme de relation clients (CRM) facilitant la gestion des bases de données de prospection et de collaboration. Le dispositif comporte enfin une capacité de financer le développement de maquettes illustrant de manière concrète la forme sous laquelle nos laboratoires de recherche savent traduire un besoin en solution technologique. A mi-parcours, le projet AVENE PME a permis d'approcher environ 500 prospects en France, de recenser environ 250 pistes d'innovation et plusieurs contrats sont en cours de finalisation.

INES 2 : L'INSTITUT DE LA TRANSITION ENERGÉTIQUE (ITE) DE L'INES

Les partenaires de l'INES (Liten, INES Plate-forme Formation & Évaluation, Université de Savoie et Sypartec) bénéficient d'un financement accordé par l'Etat en tant qu'ITE. INES 2 a vocation à soutenir et accélérer le développement d'une filière solaire française (industrielle et service) au niveau mondial. Les secteurs applicatifs plus particulièrement concernés sont : la production d'énergie solaire (photovoltaïque silicium, solaire thermique), son intégration aux bâtiments à forte efficacité énergétique et son insertion intelligente dans les réseaux (smart grid, mobilité solaire). La subvention allouée permet de



compléter les plates-formes techniques et de financer des activités de recherche et de formation au meilleur niveau mondial.

Déjà des résultats visibles après un an d'existence :

- ▶ Une vingtaine de thèses et contrats postdoctoraux financés par INES 2
- ▶ Une quinzaine de contrats de recherche partenariale bénéficient d'un soutien INES 2
- ▶ Une offre de formation à distance opérationnelle (INES Plate-forme Formation & Évaluation)



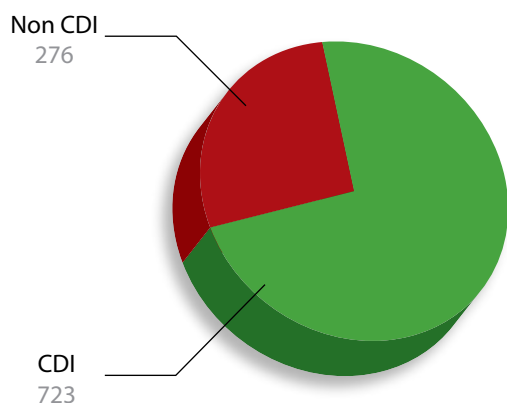
INSTITUT CARNOT



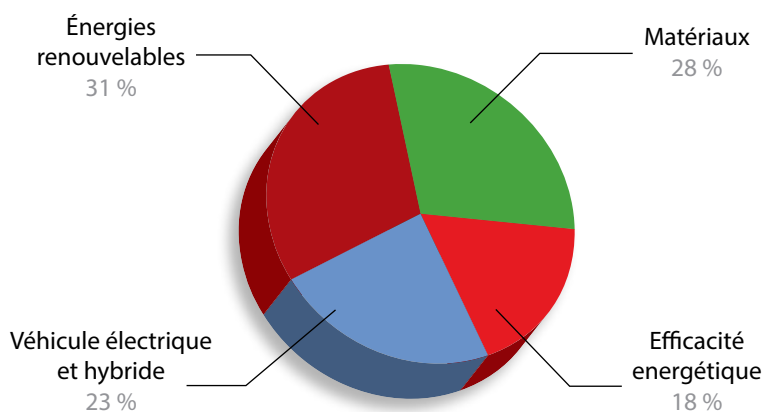
Le Liten est associé à 10 autres laboratoires grenoblois dans l'Institut Energies du Futur. A ce titre il bénéficie d'une subvention allouée en proportion des actions de recherches partenariales conduites avec l'industrie. Cette aide permet de financer des actions de ressourcement (thèses, contrats postdoctoraux) qui peuvent aller du lancement de nouvelles activités, à la preuve de concept de ruptures technologiques, jusqu'à la réalisation de démonstrateurs en vue de futurs transferts technologiques.

Chiffres clés

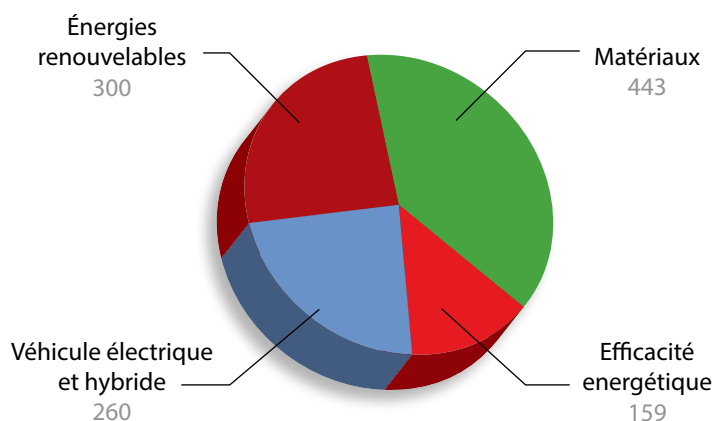
Effectif du Liten



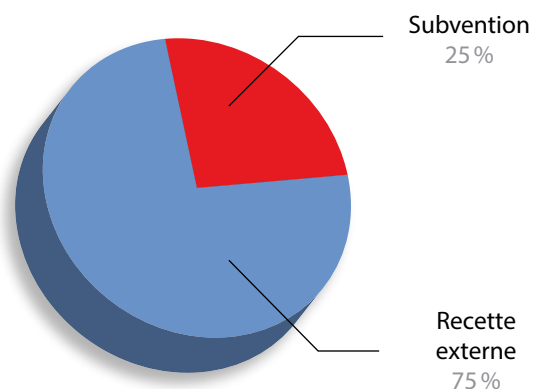
Effectif programme R&D



Répartition du portefeuille brevets 1162 brevets cumulés en 2014



Ressources financières du Liten 155 millions d'euros de budget



www-liten.cea.fr

CRÉDITS PHOTOS

D. Guillaudin, P. Avavian, D. Meunier, J.M. Francillon, utopikphoto, CEA Grenoble, L.Godart/CEA-Leti, P.Y Thoulon/Crosslux