

liten RAPPORT D'ACTIVITÉ 2013



DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea

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 2013 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 2013, la ligne pré-industrielle de cellules photovoltaïques haut rendement à l'INES a stabilisé son procédé avec un rendement de 20 %. Les projets autour de la filière hydrogène montent en puissance : gains de performances (2,5 kW/L), de coûts sur la pile à combustible, construction d'une ligne pilote, réalisation d'un stack de 25 cellules pour l'électrolyse haute température, intégration croissante des piles à combustible dans les véhicules (jusqu'à 300 kW par prototype). Les travaux sur la biomasse s'élargissent à de nouvelles ressources, en particulier les déchets, renforçant l'intérêt de cette filière.

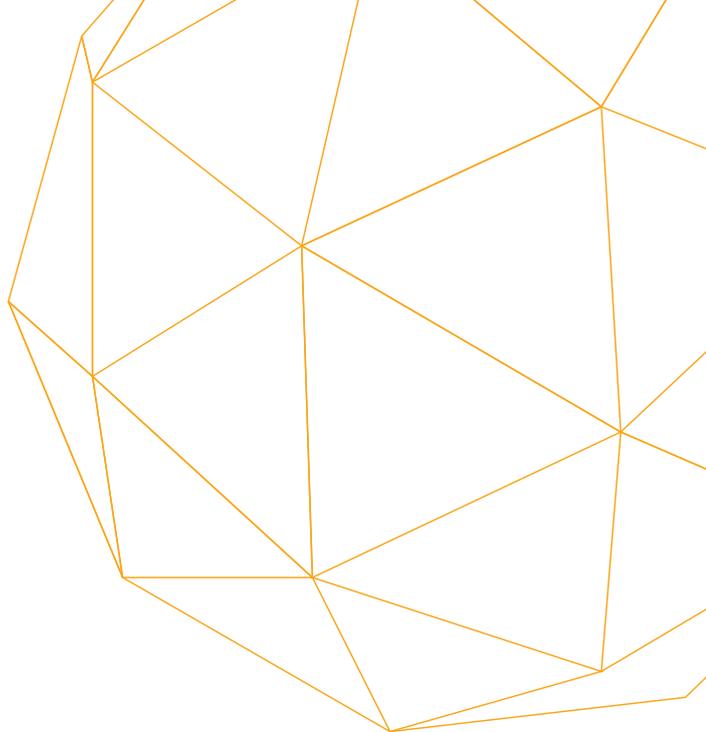
Le stockage d'énergie reste un enjeu majeur pour les prochaines années et le Liten a su, dans ses différents programmes, promouvoir des solutions selon différents vecteurs (électrique, thermique, hydrogène) les plus adaptées au contexte d'usage.

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 leaders de l'automobile, de l'aéronautique 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 trois nouvelles régions (Aquitaine, Pays de La Loire et Midi-Pyrénées).

2013 a été aussi une année importante en terme de propriété intellectuelle : notre portefeuille a franchi le seuil des mille brevets. Cet événement majeur est une preuve concrète de la capacité d'innovation du LITEN.

En toute fin d'année, la signature du projet INES2, financé par l'État à hauteur de 39 M€, a complété cet excellent bilan, pour concrétiser l'ambition d'un institut d'excellence mondiale, entièrement dédié à l'énergie solaire, et au service de la filière française.

Florence Lambert
Directrice du Liten



	L'INSTITUT LITEN	4
	COLLABORER AVEC LE LITEN	5
	MATÉRIAUX ET PROCÉDÉS	6
	NANOMATÉRIAUX	6
	ÉLECTRONIQUE ORGANIQUE	7
	MICROSOURCES D'ÉNERGIE	8
	MISE EN ŒUVRE DES MATÉRIAUX	9
	ÉNERGIES RENOUVELABLES	10
	SOLAIRE	10
	BIOMASSE ET BIOCARBURANTS	14
	HYDROGÈNE ET GAZ DE SYNTHÈSE	16
	EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE	18
	EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES SYSTÈMES THERMIQUES	18
	EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE BÂTIMENT	20
	RÉSEAUX ET STOCKAGE ÉLECTRIQUE	22
	VÉHICULE ÉLECTRIQUE ET HYBRIDE	24
	BATTERIES	24
	PILES À COMBUSTIBLE PEM	26
	LES MOYENS DE RECHERCHE	27
	PARTENAIRES RECHERCHE	30
	CHIFFRES-CLÉS 2013	31



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...)

1000 BREVETS EN PORTEFEUILLE

Le Liten gère un portefeuille de 1000 brevets étendus au niveau international et fait partie des instituts CEA les plus actifs en termes de dépôt : 185 en 2011, 200 en 2012, 235 en 2013.

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 microénergie.





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 au Bourget-du-Lac, près de 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. À 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 à vos attentes, en termes de Time to Market par exemple..

► Les dépenses de R&D qui vous 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.

PROGRAMMES AFFILIÉS : PLUS DE 250 CONTRATS SIGNÉS

La Commission de Régulation de l'Énergie (CRE) a lancé en 2013 un appel d'offres pour l'exploitation de centrales solaires. Pour être éligibles, les sociétés candidates devaient s'engager à collaborer sur un programme de R&D ; exigence difficile à remplir pour des sociétés de petite taille et peu investies dans la recherche.

Aussi, le Liten a conçu à leur attention des « programmes affiliés » ouverts à de multiples partenaires. La partie administrative a été simplifiée à l'extrême. Plus de 250 contrats ont ainsi été signés, autour de recherches sur l'optimisation des performances, de l'intégration au réseau ou des centrales à haute tension.

AMÉLIORER LES PERFORMANCES, CONCEVOIR DES SOLUTIONS INÉDITES

Le Liten améliore les performances des matériaux pour l'énergie et l'électronique organique. Il conçoit de nouvelles solutions quand il n'existe pas de réponse standard ou quand un matériau existant est remis en cause pour des raisons géopolitiques, économiques ou réglementaires (terres rares, indium, gallium, plomb, solvants...). Ces travaux visent des objectifs génériques de coût, de durabilité et d'allègement. Ils s'appuient sur des systèmes multimatériaux, plus aptes à répondre à des cahiers des charges complexes, et sur la nanostructuration, qui modifie sensiblement les propriétés du matériau massif : point de fusion, nature et cinétique des réactions chimiques etc.

NANOID, UNE PLATE-FORME DÉDIÉE À LA NANOSÉCURITÉ

Avec la plate-forme Equipex NanoID, de nouvelles opportunités s'ouvrent pour les travaux sur la nanosécurité. L'institut dispose d'un outil unique pour détecter et caractériser les nanoparticules dans des matrices complexes solides, liquides et gazeuses : sols, plantes, tissus, fluides biologiques, aliments, air... Cinq équipements majeurs d'un coût de 6,2 millions d'euros ont été installés, dont un microscope cryogénique à transmission holographique et un imageur 3D à fluorescence X. Les principales applications visées sont la toxicologie, la médecine du travail, la santé des consommateurs, et l'environnement.



NANOMATÉRIAUX

NOUVELLES APPLICATIONS POUR LES NANOTUBES DE CARBONE

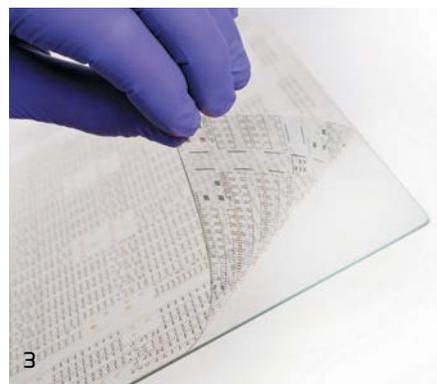
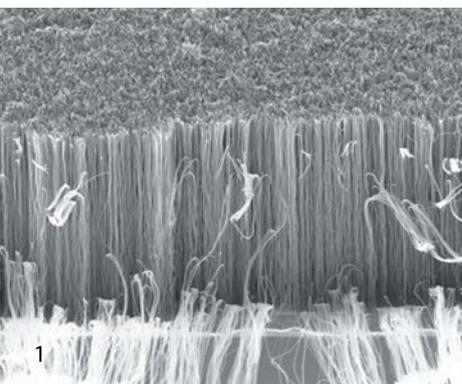
Dans le cadre d'un projet cofinancé par Intel, des niveaux de conductivité record ont été obtenus pour des lignes d'interconnexions de 95 nm de diamètre en nanotubes de carbone. L'objectif est d'évaluer le potentiel de ce matériau à remplacer le cuivre dans les circuits d'ici quelques années. Autre avancée : un matériau hybride nanostructuré en 3D constitué d'une forêt de nanotubes de carbone sur du graphène. Il serait utilisable en microélectronique et pour le stockage de l'énergie comme matériau d'électrode. ①

MULTILAYER ET COTECH, DEUX PROJETS EUROPÉENS POUR PROMOUVOIR HORIZON 2020

Le Liten a coordonné le projet FP7 Multilayer, consacré à la fabrication de micro-composants en céramique par une technologie sans brasage. Il a réalisé deux démonstrateurs : une source thermoélectrique pour interrupteur électrique et un packaging de LED. Dans le cadre de Cotech, autre projet FP7, il a développé des nanocomposites mis en forme par injection pour améliorer l'échange thermique des microrefroidisseurs de convertisseurs de puissance IGBT. Ces deux projets sont sélectionnés pour promouvoir la campagne européenne Horizon 2020.

UN OXYDE LAMELLAIRE SURLITHIÉ SANS COBALT POUR BATTERIES LI-ION

Densité élevée, particules sphériques, bonnes performances électrochimiques, capacité spécifique supérieure à 250 mAh/g, très bonne stabilité en cyclage, absence de cobalt : l'oxyde lamellaire surlithié obtenu par voie liquide (coprécipitation) par le Liten, se situe parmi les meilleurs pour des applications de type véhicule électrique. Ses performances, inchangées lors de la fabrication à l'échelle pilote, en font aussi un excellent candidat pour des applications en électronique nomade. ②



ÉLECTRONIQUE ORGANIQUE

PREMIER CONVERTISSEUR ANALOGIQUE-DIGITAL EN ÉLECTRONIQUE ORGANIQUE IMPRIMÉE

Réaliser un système de détection complet sur plastique, avec capteur et conversion de signal, c'est possible : le premier convertisseur analogique-digital imprimé en sérigraphie sur plastique a été présenté au salon ISSCC2013. Il fonctionne dans sa version la plus récente sous tension de 20 V, avec une résolution de 6 bits, à une vitesse de 2 Hz. Un tel système pourrait par exemple s'intégrer dans l'emballage d'un produit pour en contrôler la fraîcheur, en transmettant ses données par RFID.

DES MÉMOIRES ET DES CAPTEURS FERROÉLECTRIQUES IMPRIMÉS

Deux composants innovants ont été réalisés à partir des polymères ferroélectriques imprimables fournis par Arkema, partenaire du Liten dans le cadre d'un laboratoire commun : une mémoire non volatile d'endurance supérieure à 10⁶ cycles à 60 % de la polarisation initiale sous 25 V, et un capteur de pression polymère ayant une sensibilité supérieure à l'état de l'art (60 pC/N). En parallèle, une encre ferroélectrique imprimable d'Arkema a été validée ; elle est maintenant commercialisée. **3**

ENFIN UNE MESURE PERFORMANTE ET COMPÉTITIVE DES PROPRIÉTÉS BARRIÈRE

Un perméamètre et un logiciel d'interprétation dédiés à la mesure des propriétés barrière des matériaux d'encapsulation ont été développés en collaboration avec Vinci-Meca 2000 et brevetés. L'appareil combine la spectrométrie de masse avec l'emploi de gaz isotopiques stables. Le logiciel réduit jusqu'à 75 % le temps de mesure habituel. Tous deux autorisent des mesures de hautes propriétés barrière, notamment pour l'électronique organique, à un coût très inférieur aux solutions concurrentes. Une valorisation industrielle est en cours. **4**

UNE AVANCÉE MAJEURE DANS LES PHOTODIODES ORGANIQUES

« La plate-forme PICTIC du Liten fait partie des principales plate-formes européennes en électronique imprimée. C'est la plus avancée dans le développement des photodiodes organiques. Avec Isorg, nous avons développé cette année le premier capteur d'image tout plastique au monde. Cette rupture technologique dans la conception et la fabrication de capteurs de grande surface ouvre la voie à diverses applications basées sur la capture d'image numérique : capteurs d'image pour équipements médicaux, capteurs pour objets connectés et Industry 4.0 et logistique, capteurs pour interfaces homme-machine avec interaction 3D pour l'électronique grand public, etc. PICTIC permet à Isorg de stabiliser sa technologie, de réaliser des préséries prototypes et de définir les équipements de sa future ligne pilote industrielle. Parallèlement, dans le cadre de notre laboratoire commun, nous améliorons la robustesse et la fiabilité des procédés et des composants, et nous développons des capteurs capables de détecter dans le proche infrarouge. »



Isabelle Chartier,
Responsable programme électronique imprimée, CEA-Liten



MICROSOURCES D'ÉNERGIE

LE CZTS, UN CANDIDAT POUR LES CELLULES PV EN COUCHES MINCES

Le cuivre – zinc – étain – sélénium (CZTS) est pressenti pour remplacer les matériaux actuels des cellules photovoltaïques en couches minces CIGS et CdTe, et pallier ainsi à la rareté croissante du tellure et de l'indium. Des cellules CZTS fabriquées par dépôt physique en phase vapeur ont démontré un rendement de 7 %. Les travaux visent maintenant un rendement supérieur à 10 %, grâce à une ingénierie des bandes d'énergie dans le matériau absorbant. ①

DES MODULES DE BATTERIES LITHIUM INTÉGRÉS EN « SYSTEM ON FOIL »

Un procédé d'assemblage a été développé dans le cadre du projet FP7 Interflex pour intégrer des microbatteries dans un système complet (récupération d'énergie, capteur CO₂, power management...) sur substrat flexible. Les batteries connectées en série/parallèle atteignent des tensions de sortie proches des 5 V et résistent aux températures de 140 °C nécessaires à l'étape de recuit sous pression. Trois cent microbatteries de ce type ont été fabriquées pour le démonstrateur final présenté fin 2013. ②

L'ALD, POUR DES COUCHES BARRIÈRE ULTRA-PERFORMANTES

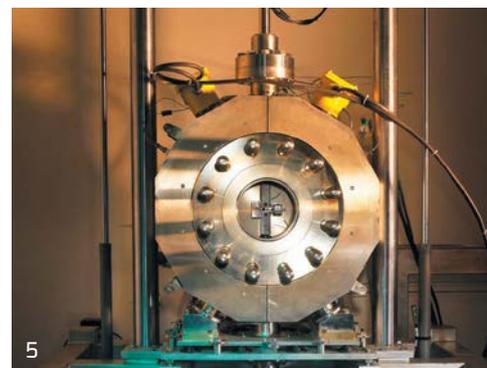
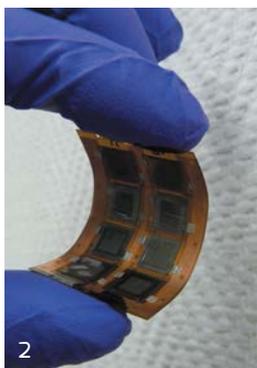
Des couches barrières extrêmement performantes à la perméation de l'eau ont été réalisées grâce au dépôt de couches d'alumine par ALD (Atomic Layer Deposition). Ces couches sont utilisables pour encapsuler des batteries au lithium, des photodiodes, des OLEDs etc. Elles peuvent être déposées directement sur le composant ou sur des substrats souples comme le polymère, dont les propriétés barrière intrinsèques sont faibles. L'ALD permet d'en contrôler l'épaisseur (moins de 50 nm) et l'uniformité. ③

UNE LIGNE PILOTE POUR FABRIQUER DES THERMOÉLÉMENTS

Le Liten s'est doté d'une plate-forme unique en France pour fabriquer des matériaux thermoélectriques à des cadences jusqu'à 3 kg/semaine.

La ligne de production pilote intègre des procédés de synthèse de poudre, de frittage SPS, de rectification double-face sous forme de galettes de diamètre 60 mm. L'optimisation du procédé pour des thermoéléments haute température a conduit à une variabilité sur leurs propriétés inférieure à 7 %. Des développements sont en cours sur la synthèse des poudres (mécanosynthèse et atomisation) et sur une deuxième génération de matériaux thermoélectriques fonctionnant à des températures intermédiaires. Ces travaux sont réalisés en lien avec la start-up HotBlock OnBoard.





MISE EN ŒUVRE DES MATÉRIAUX

DÉPOLLUER LES MILIEUX CONFINÉS AVEC LES PLASMAS FROIDS

Un procédé de traitement de l'air basé sur la technologie des plasmas froids est en développement. L'objectif est de convertir des composés organiques volatils (COV) sans générer des sous-produits nocifs. Le préchauffage de l'air en amont du réacteur plasma et la présence d'un catalyseur augmentent fortement le taux de conversion des COV par rapport à d'autres procédés, à consommation d'énergie équivalente. L'étude se poursuit pour atteindre des spécifications industrielles.

POUDR'INNOV PRODUIT SON PREMIER AIMANT PERMANENT

La plate-forme de métallurgie des poudres Poudr'Innov a produit un premier aimant permanent néodyme -fer- bore. Cet aimant a été réalisé à partir d'un alliage dopé à 0,5 % de dysprosium. La caractérisation montre une énergie de 40 MGOe, une performance qui doit progresser avec la maîtrise de la microstructure. Ce développement s'inscrit dans un projet de relance d'une filière industrielle française d'aimants permanents. En 2014, Poudr'Innov disposera d'un équipement de strip-casting pour élaborer l'alliage initial et couvrir la totalité du cycle de fabrication. 4

COMPRENDRE LA FRAGILISATION DES ACIERS PAR L'HYDROGÈNE SOUS PRESSION

Pour caractériser la fragilisation des aciers soumis à de fortes pressions d'hydrogène (jusqu'à 1 000 bar), le Liten a développé des moyens expérimentaux d'étude de leur comportement mécanique sous traction, fatigue, ténacité, propagation de fissure etc.. Il bénéficie dans ce domaine d'une forte reconnaissance internationale. Enjeu de ces travaux : définir des normes qui assureront la sûreté des canalisations hydrogène et des réservoirs sous pression. 5

ASSEMBLAGE PAR BRASAGE : UNE EXPERTISE RECONNUE DANS LE SPATIAL ET L'AÉRONAUTIQUE

« La fabrication de miroir de télescope pour l'optique spatiale implique la réalisation de structures en carbure de silicium (SiC) de plus en plus grandes et de plus en plus complexes. Pour ce faire, le Liten a mis au point un procédé spécifique pour l'assemblage par brasage de ce matériau, le procédé BraSiC® associé aux brasures BraSiC® (alliages à base de silicium). Ces alliages ne réagissent pas avec le SiC contrairement à la plupart des brasures commerciales, et ils permettent une mise en œuvre à des températures comprises entre 1100° et 2000°C. Dans le cadre d'un accord de licence, ce savoir-faire a été mis en œuvre par Airbus Défense & Space (ex

Astrium / EADS) pour la réalisation des télescopes Herschel et Gaia. Il nous vaut également de collaborer avec le CNES pour poursuivre les développements des télescopes du futur. Les derniers travaux ont porté sur un brasage en plusieurs étapes ce qui permettrait d'assembler des pièces de plus en plus complexes. Notre expertise est également mise à profit en aéronautique pour l'assemblage de pièces en Composite à Matrice Céramique (CMC) ayant pour cible les moteurs d'avions produits par Safran. A ce jour, nous collaborons étroitement avec ce groupe pour développer des technologies d'assemblages brasés d'arrière-corps de moteurs en CMC, afin d'alléger ces pièces, ce

qui permet de réduire les besoins en carburant. »

Philippe Bucci, expert en technologies d'assemblage, et **Valérie Chaumat**, expert en brasage au CEA-Liten



Valérie Chaumat, Mathieu Monteremand, Olivier Mailliart, Valérie Merveilleau



Énergies renouvelables

DU SOLAIRE À LA BIOMASSE

Les activités Énergies renouvelables portent sur le photovoltaïque, le solaire thermique, l'hydrogène, les biocarburants 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 électrolyse, l'association de différents systèmes de stockage (liquide, vapeur, changement de phase...) ou la montée en puissance du power-to-gas.

PREMIÈRE MONDIALE DANS LE SILICIUM MONO-LIKE

« L'institut s'intéresse au silicium 'mono-like', une technologie associant la qualité du silicium monocristallin et les faibles coûts de fabrication du multicristallin. En collaboration avec la société ECM, nous avons réussi début 2013 à élaborer un lingot de 450 kilos présentant une zone monocristalline couvrant plus de 98 % du volume exploitable. Un résultat exceptionnel à l'échelle mondiale, rendu possible par notre maîtrise des procédés de pavage des germes de silicium et par la thermique du four ECM. Les cellules hétérojonctions réalisées à partir de ce substrat. De plus, nous avons utilisé une métallisation cuivre plutôt qu'argent pour réduire encore les coûts de production. Les cellules obtenues affichent un rendement de conversion exceptionnel de 21,6 %, prouvant la qualité intrinsèque du silicium monocristallin obtenu avec ECM. La collaboration se poursuit dans l'objectif d'élaborer un lingot de 800 kilos. » ❶



Anis Jouini, chef du département « Technologies Solaires », CEA-Liten

SOLAIRE

LE SILICIUM SOLAIRE PURIFIÉ PLUS RAPIDEMENT

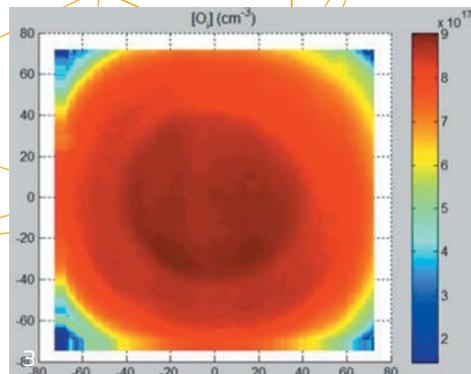
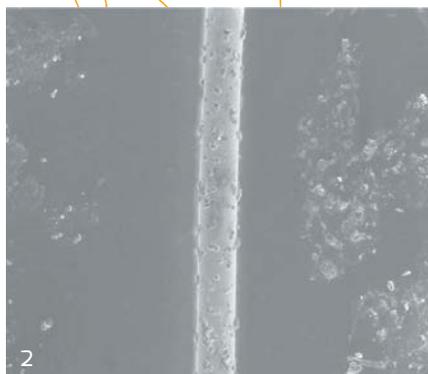
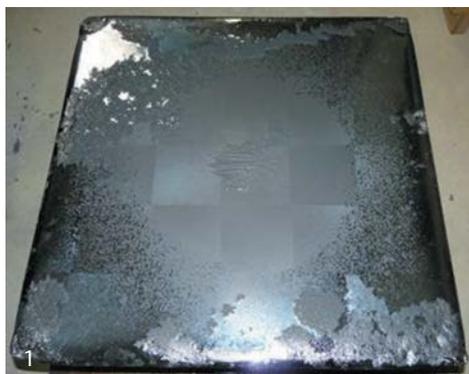
Un procédé de purification du silicium solaire par ségrégation rapide a été développé avec la société ECM. La vitesse de solidification atteint 3 cm/heure. Un brassage mécanique se substitue à la convection thermique naturelle pour empêcher l'accumulation des impuretés. La ségrégation de l'aluminium est ainsi maintenue jusqu'à plus de 70 % de hauteur solidifiée au centre du lingot. Ce procédé, plus rentable que ceux utilisés aujourd'hui, doit être validé sur des lingots industriels de 450 kilos.

DÉCOUPE DES WAFERS AU FIL DIAMANT : BIENTÔT UN TRANSFERT

Les travaux sur la découpe de wafers silicium par fil diamanté se poursuivent sur une machine de production, avec Applied Materials et Thermocompact. L'objectif est de comprendre la physique de découpe pour optimiser le procédé. La technologie a confirmé ses atouts : vitesse de coupe 2 à 3 fois supérieures, meilleur état de surface, économie matière... La production de fils diamanté va commencer et une ligne de découpe prototype va être installée chez Thermocompact, à Annecy. ❷

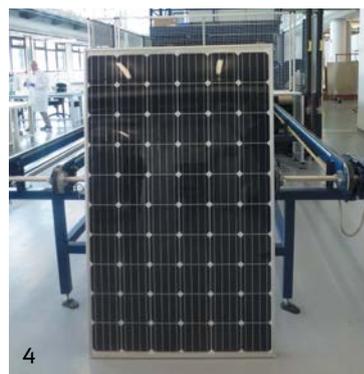
MIEUX PRÉDIRE LES PERFORMANCES DES CELLULES PV

Une technique de cartographie de l'oxygène interstitiel dans des lingots ou des plaques de silicium a été développée par le Liten. La présence et la densité des atomes oxygène, notamment placés en position interstitielle dans la maille du silicium, est difficilement contrôlable. Elle est liée à la vitesse de dissolution du creuset de silice employé et aux conditions de fusion du silicium, et influe fortement sur les performances des cellules PV. Un partenariat avec AET Technologies est en place dans le but d'amener sur le marché une série d'équipements sur la base des brevets CEA. ❸



PREMIERS MODULES HÉTÉROJONCTION CONFORMES AUX NORMES IEC

Le Liten maîtrise maintenant la fabrication de modules à hétérojonction d'une puissance supérieure à 260 W, sur équipements industriels. Ces modules ont passé avec succès les tests des normes IEC 61215 (fiabilité) et 61730 (sécurité). Pour les tests de cyclage thermique et de chaleur humide, les pertes sont de l'ordre de 1 % alors que la norme tolère 5 %. Prochaine étape : la validation du procédé de fabrication à l'échelle préindustrielle, sur une ligne d'une capacité de 10 modules / heure qui va être installée à l'INES pour les études de pré-prototypage au service des industriels. 4



CELLULES EN SILICIUM DE TYPE N À 20 % DE RENDEMENT !

« Le silicium de type n est de plus en plus considéré pour la production de cellules photovoltaïques car il présente une sensibilité moindre aux impuretés métalliques et permet la fabrication de cellules sans dégradation sous éclairage. Nous avons développé une technologie de fabrication de cellules menant à des rendements de 20 % sur grande surface de plaquettes (6 pouces). Cette technologie a été validée au niveau du module avec des puissances proches de 300 Watts (modules 60 cellules). Ces résultats nous placent parmi les leaders mondiaux sur ce type de

technologie. Les rendements cellules peuvent encore être améliorés au-delà des 20 % en optimisant les étapes de dopage, de passivation et de métallisation. La structure de ces cellules étant bifaciale, il est possible de convertir les rayons lumineux arrivant par la face arrière. Aussi, nous travaillons sur le développement de modules bifaciaux en utilisant des matériaux transparents sur les deux faces. Selon le type d'installation de ces modules, on peut atteindre des gains en énergie produite allant de 10 % à 30 % par rapport aux modules classiques. »



Jean-Pierre Joly,
directeur de l'Institut National
de l'Énergie Solaire (INES)



LÉGÈRETÉ ET LIBERTÉ DE FORME POUR LES MODULES PV

De nouveaux concepts de modules PV répondant à des contraintes inhabituelles de masse et de forme sont développés pour élargir les applications du photovoltaïque. Des modules conformables pouvant adopter une forme galbée ont ainsi été étudiés. Autre exemple : des modules ultra-légers pour ballon dirigeable ont été mis en œuvre dans un démonstrateur, dans le cadre du projet Capazza. Leur fabrication fait appel à de nouveaux procédés afin de réduire le coût de la mise en module : techniques d'injection de la plasturgie, lamination-thermoformage etc.

DES MODULES PV RÉALISÉS PAR IMPRESSION JET D'ENCRE

Des modules PV organiques de 5 cm x 5 cm ont été réalisés par impression jet d'encre. Leur rendement de conversion dépasse les 2 %. Leur stabilité intrinsèque a été testée sous illumination continue : après 3 000 heures, les pertes en rendement sont limitées à 20 %, et inférieures à 10 % pour certaines cellules du dispositif. Des résultats comparables (voire meilleurs) à ceux obtenus par un procédé combinant spin coating et évaporation sous vide de l'électrode supérieure. ②

ALSOLEN CONTINUE SA MONTÉE EN PUISSANCE

Première centrale solaire CSP opérationnelle en France, Alsolen a poursuivi sa montée en puissance avec la mise en service d'un stockage thermique à changement de phase sur lit de roche de 30 m³. Le site doit encore s'enrichir d'une installation de fabrication de froid solaire. En parallèle, la centrale CSP Alsolen Sup est en construction. Elle fonctionnera à 450°C et 120 bars en vapeur surchauffée (contre 300°C en huile pour Alsolen) et comportera trois systèmes de stockage : vapeur, changement de phase et liquide. ①

DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES EFFICACES À UN COÛT RAISONNABLE

« Améliorer les performances au meilleur prix est un défi à l'échelle de la cellule, mais aussi du module PV. Aussi, nous innovons tant au niveau des matériaux que des procédés. Parallèlement, nous proposons notre expertise aux industriels pour répondre à leurs cahiers des charges les plus exigeants. Quelques exemples : avec Arkema, nous participons au développement de l'Apolhya®, un thermoplastique compatible avec les procédés de fabrication de panneaux solaires, et

nous développons des architectures de modules sans verre, légères et conformables. Avec Vicat, nous développons des modules à intégrer dans des plaques en béton. Nous continuons aussi à travailler sur les modules classiques, avec par exemple l'interconnexion des cellules par collage, de l'échelle du laboratoire à la mise en œuvre sur un outil industriel. Les modules hétérojonctions réalisés ainsi satisfont aux normes de vieillissement en vigueur. »



Stéphane Guillerez, chef du service « Modules Photovoltaïques », CEA-Liten



MESURER IN SITU LA PERFORMANCE DES RÉFLECTEURS OPTIQUES

La centrale Alsolen s'est dotée de réflectomètres portables pour étudier la performance optique de différents miroirs, décisive pour le rendement de la centrale.

Ces études peuvent être menées sur champ solaire ou sur site d'exposition naturelle soumis à des salissures ou des agressions : eau, température, sable... Les réflectomètres retenus ont été développés spécifiquement pour les centrales CSP et sont utilisés par des centres de recherche du monde entier. Les études permettent de quantifier la durabilité des miroirs, de définir des protocoles de nettoyage, de déterminer la position de repos optimale etc.



2



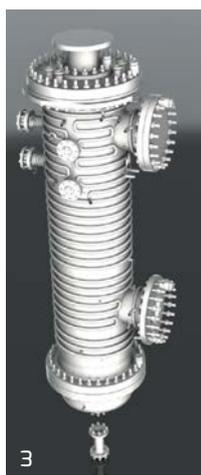
3

LA DÉTECTION D'ARCS ÉLECTRIQUES TRANSFÉRÉE À L'INDUSTRIE

Le développement d'algorithmes pour la détection d'arcs électriques dans les installations PV a débouché sur un transfert à un partenaire industriel français, qui commercialisera sa solution courant 2014. Par rapport aux produits concurrents, elle se distingue par un taux extrêmement faible de faux positifs et de faux négatifs, d'où une protection accrue contre le risque d'incendie. La détection des arcs électriques, déjà obligatoire aux Etats-Unis, va sans doute être imposée en France et en Europe.

UN LOGICIEL POUR DÉTECTER LES DYSFONCTIONNEMENTS DE CENTRALES PV

Un outil logiciel a été développé avec Urbasolar pour détecter les dysfonctionnements des centrales PV, sources de pertes de rendement, et réaliser un diagnostic en continu de leur état de santé. Cet outil compare la production réelle mesurée avec une production théorique tenant compte des conditions du moment, et alerte l'exploitant en cas d'anomalie. Il est déjà utilisé à titre expérimental sur plusieurs centrales et fera l'objet d'un transfert en 2014. ③



BIOMASSE ET BIOCARBURANT

LA POUDRE DE BIOMASSE INJECTÉE À 50 KG/HEURE

Dans le cadre du projet Syndièse de production de biocarburants à partir de biomasse, la faisabilité d'un procédé d'injection de poudre de biomasse dans un réacteur de gazéification a été démontrée pour des débits de 50 kg/heure. La poudre de granulométrie 200 microns est injectée par gravité, avec une fluctuation des débits de moins de 5 % sur des intervalles de temps de quelques secondes. Le prochain challenge sera de définir une chaîne complète allant du broyage mécanique de la biomasse jusqu'à l'injection de la poudre. **3**

VALORISATION DE LA BIOMASSE : ÉLARGIR LE CHAMP DES RESSOURCES

« Parallèlement à la production de biocarburants de seconde et troisième générations (biomasse ligno-cellulosique et microalgues), nous étudions la valorisation énergétique de déchets et co-produits peu ou pas exploités à ce jour : bois de déconstruction, refus de tri des emballages, matières organiques et co-produits agricoles non pris en charge par les filières de recyclage. Ils pourront être convertis en biocarburants, gaz de synthèse, chaleur, électricité, combustibles, voire en molécules chimiques d'intérêt. Nous travaillons par exemple avec

Michelin sur le recyclage des pneus usagés, et avec Valoneo sur la gazéification de boues de stations d'épuration. Avantages : élargir le champ des ressources pour la production d'énergie à partir de biomasse. Parmi les atouts clefs du Liten figure la plate-forme expérimentale Genepi qui sera inaugurée en 2014 (Equipex ANR, en partenariat avec le CIRAD de Montpellier et l'École des Mines d'Albi). Elle est dotée d'outils de pré-traitement (broyage, torréfaction) et de gazéification, et permet de valider les procédés développés. »



Isabelle Maillot,
responsable programme
Biomasse, CEA-Liten



LES GAZ DE TORRÉFACTION, UN POTENTIEL À VALORISER

Un dispositif de prélèvement et d'analyse des gaz générés par la torréfaction de biomasse a été installé et testé sur réacteur. Il permet d'identifier les condensables qui peuvent être valorisés chimiquement, de les quantifier et de modéliser leur cinétique de formation. Ces travaux permettront à terme d'optimiser la récupération des gaz à forte valeur ajoutée, donc le bilan économique du procédé, et de disposer de « traceurs » pour suivre le bon déroulement de la torréfaction. ①

RECYCLER LE CO₂ EN PRODUISANT DU BIOCARBURANT

Des essais menés sur réacteur pilote ont montré que l'injection de CO₂ lors d'une pyro-gazéification de biomasse ligno-cellulosique en lit fluidisé augmentait notablement le rendement carbone : il est supérieur à 80 %, ce qui signifie que la production de biodiesel s'accompagne d'un recyclage du carbone. Les travaux ont également porté sur la simulation du procédé et son évaluation technico-économique. Tous les éléments sont donc réunis pour passer à une étape prototype. ②

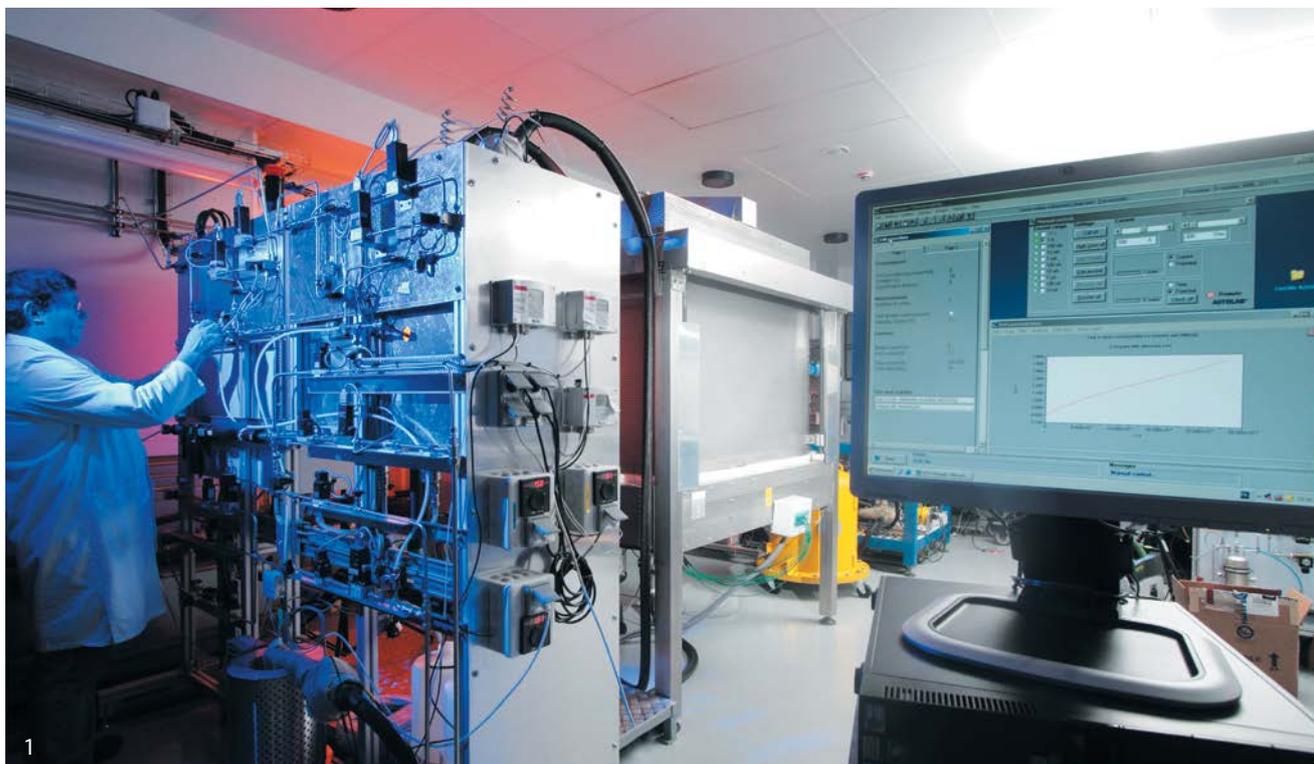
BIOCARBURANTS ET ÉLECTROLYSE HAUTE TEMPÉRATURE, UN TANDEM GAGNANT

Coupler la production de biocarburants par transformation thermochimique de la biomasse à l'électrolyse haute-température, permet de valoriser une plus grande quantité de carbone, et de réduire le coût du biocarburant : c'est ce que montre une thèse menée au Liten. La chaleur dégagée par la biomasse alimente l'EVHT générant de l'hydrogène, qui est lui-même réinjecté dans le procédé de conversion thermochimique et fixe une quantité accrue de carbone. L'ensemble du procédé a fait l'objet d'une modélisation et d'un brevet.

QUAND LES MICRO ALGUES GÉNÈRENT DU BIODIESEL

Des résultats prometteurs ont été obtenus sur la production de biodiesel à partir d'une liquéfaction hydrothermale de microalgues, à haute pression et autour de 300 °C. L'huile obtenue présente un pouvoir calorifique supérieur (PCS) élevé. Plusieurs partenaires industriels s'intéressent au procédé et des contacts avancés sont en cours. En parallèle, d'autres travaux portent sur la liquéfaction hydrothermale de résidus agroalimentaires : lactosérum, marc de raisin, drêches de cassis etc.





ÉLECTROLYSE HAUTE-TEMPÉRATURE : VALIDATION D'UN DESIGN DE STACK MINCE

Plusieurs stacks d'électrolyseur haute température de 12 cellules ont été testés avec succès : un jalon majeur vers l'industrialisation.

Le design de stack mince TEAM développé au Liten a franchi une étape majeure avec la validation complète de plusieurs stacks de 10 et 12 cellules, ce qui constitue un passage à une échelle significative. La densité de courant obtenue est dans la gamme de 1,5 à 1,8A cm², avec une dispersion sur les tensions inférieure aux spécifications visées. La production est 0,8 Nm³/h d'hydrogène pour 2,3 kW de puissance consommée. Le niveau d'étanchéité est bon. L'industrialisation de ce design compact et bas coût devient donc possible. **1**

HYDROGÈNE ET GAZ DE SYNTHÈSE

EVALUATION DU STACK EHT TEAM EN CO-ELECTROLYSE

Le stack TEAM permet un fonctionnement en mode co-électrolyse : production du gaz de synthèse H₂ + CO, à partir de vapeur d'eau et de CO₂, pour la synthèse de carburants (méthane, méthanol, etc). Un stack de 10 cellules a été testé, les performances en co-électrolyse étant très proches de celles en électrolyse pure. La composition du gaz de sortie est conforme aux prévisions. Ces résultats valident la faisabilité de la co-électrolyse à une échelle significative.

L'ÉLECTROLYSE HAUTE TEMPÉRATURE DÉMONTRE SA FLEXIBILITÉ

Plusieurs essais de cyclages – rapides ou lents, en rampes ou en créneaux – ont été réalisés sur un électrolyseur haute température (EVHT) pour vérifier si les performances n'étaient pas dégradées par rapport à un régime stationnaire. Ces essais ont montré une bonne flexibilité sur une large gamme de tensions : l'EVHT est adaptée à une utilisation en couplage avec des énergies renouvelables, par nature intermittentes, d'autant que sa température élevée lui confère un avantage en termes de rendement. **2**

ELECTROLYSE PEM : LE COÛT DU STACK CHUTE DE 70 %

Un nouveau design de collecteurs de courant pour électrolyseur Proton Exchange Membrane (PEM) basse température a été mis au point. Il permet une diminution spectaculaire du coût du stack, de l'ordre de 70 %. Le Liten participe également à des travaux sur la réduction du coût de l'assemblage membrane-électrodes, avec des résultats d'ores et déjà prometteurs concernant la diminution de quantité de catalyseurs, dans le cadre du projet européen NEXPEL. Le prix des électrolyseurs à forte capacité pourrait ainsi baisser fortement. **3**



8000 CYCLES D'ABSORPTION-DÉSORPTION SUR UNE PASTILLE DE MAGNÉSIUM

Le Liten a conçu un banc d'essai doté d'un hublot et d'une caméra pour suivre et caractériser la « respiration » (gonflement/dégonflement) d'hydrures métalliques utilisés comme stockage solide de l'hydrogène. Les enjeux portent à la fois sur la compréhension de ce phénomène de respiration et sur la conception des réservoirs, soumis à des efforts importants. D'autres essais ont montré que les pastilles d'hydrures de magnésium supportaient le nombre record de 8000 cycles sans perte de capacité massique. ⁴



VALORISER L'HYDROGÈNE SUR LE RÉSEAU DE GAZ NATUREL

« Au Liten, nous développons différentes technologies pour produire de l'hydrogène. En complément, nous proposons de combiner l'hydrogène produit par électrolyse de l'eau au CO₂, afin de former un méthane de synthèse capable de transiter par les infrastructures existantes dédiées au gaz naturel. Nous avons pour cela créé une synergie unique entre

deux briques technologiques : l'électrolyse à haute température et un réacteur de méthanation original. L'électrolyse à 800°C permet d'électrolyser simultanément de l'eau et du CO₂. On obtient en une seule étape un mélange d'hydrogène et de monoxyde de carbone, point de départ de la synthèse de nombreux carburants. La transformation de ce mélange en méthane

se fait dans un réacteur qui valorise l'énergie dégagée par la réaction et augmente ainsi le rendement de la filière. Le Liten figure parmi les leaders de ces technologies et a été retenu pour coordonner le projet européen CEOPS. »

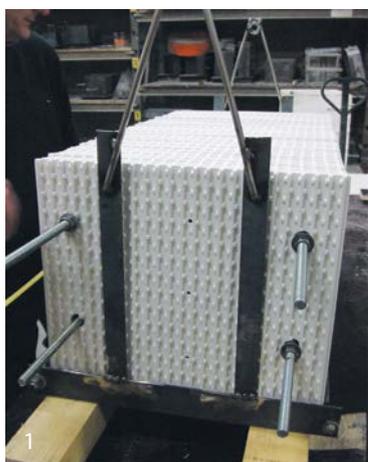
François le Naour, responsable programme Hydrogène et Biocarburants CEA-Liten

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 des réseaux. Dans ce cadre, le Liten s'attache à stocker l'énergie produite par diverses sources (photovoltaïque, éolien) ou l'énergie en excès des procédés industriels. L'objectif est ensuite de restituer cette énergie en fonction des besoins, sous forme électrique ou thermique... 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 applique également des concepts d'optimisation demande/production pour améliorer la performance énergétique. Cela passe par une compréhension fine des comportements des matériaux d'enveloppe (bétons, vitrages) et des équipements (ventilation). Le Liten s'appuie sur la plateforme technologique, qui regroupe un ensemble de constructions basse consommation échelle 1 entièrement instrumentées.

EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES SYSTÈMES THERMIQUES



VERS UN STOCKAGE DE CHALEUR À HAUTE TEMPÉRATURE EN MATRICE SOLIDE

Deux types de structures solides (plaques de porcelaine cordiérite et graviers en basalte) ont été testés à une échelle de 3 m³, en vue d'une intégration dans un système de stockage de chaleur à 800 °C. Ces structures sont placées dans deux cuves reliées par une boucle fermée, avec un gaz comme fluide caloporteur. Leur comportement mécanique et thermique a été évalué. Ces travaux ont validé la faisabilité technique du stockage à haute température. ①

DU SOLAIRE THERMIQUE DANS UN FUTUR ECOQUARTIER ?

Grâce à ses outils de simulation, l'institut a étudié la réinjection de chaleur issue de capteurs solaires thermiques dans le réseau de chaleur basse température d'un futur Ecoquartier de Chambéry. Les capteurs solaires pourraient couvrir jusqu'à 60 % des consommations annuelles de chaleur et assurer une autonomie tout l'été. Toutefois, ces performances sont fortement corrélées au régime de température et à l'architecture du réseau de chaleur. Un démonstrateur pourrait être réalisé.





3

SOLAMMOR, UNE MACHINE À FROID ULTRA-COMPACTE

Les travaux menés depuis 2011 sur une machine à absorption qui convertit la chaleur en froid ont abouti à un prototype proche d'un produit industriel. Protégé par plusieurs brevets, il est déclinable en trois puissances frigorifiques (1 kW, 5 à 8 kW, 100 kW) et n'a aucun équivalent sur le marché en termes de compacité : 74 litres par kW de froid. La machine dans sa version 5 kW a été installée dans un démonstrateur des bâtiments de l'INES, pour une application de climatisation solaire. ②

UN CAPTEUR SOLAIRE POUR DESSALER L'EAU DE MER

La faisabilité d'un composant en polymère servant à la fois de capteur solaire et de générateur de vapeur pour le dessalement d'eau de mer a été testée et validée. Ce composant permettrait d'augmenter l'efficacité énergétique du dessalement, donc de réduire le coût de l'eau douce produite. Un essai sur maquette a mis en évidence une température d'évaporation de 53,5 °C et un débit de 0,24 litre/h. Un composant polymère va être réalisé à l'échelle 1, puis intégré à un système implanté à Cadarache. ③

UNE MACHINE THERMIQUE À ABSORPTION DE 100 KW POUR ALCEN

« Suite au projet Solammor, le Liten a développé en 2013 un prototype de machine à absorption ammoniac/eau capable de convertir la chaleur en froid ou en glace. Très compact et performant, celui-ci affiche une puissance frigorifique de 5 kW. Il peut être décliné à différentes puissances en fonction de l'application visée. Ainsi, nous travaillons actuellement sur une machine thermique à absorption de 100 kW en partenariat avec la société Alcen. Cette dernière développe un démonstrateur de centrale solaire thermodynamique destiné à alimenter les réseaux électriques isolés et semi-isolés, dans le désert par exemple. Afin de mieux rentabiliser son installation, elle veut récupérer l'énergie calorifique encore contenue dans le caloporteur à la sortie du turbo-alternateur. Grâce à notre machine thermique, cette chaleur résiduelle sera convertie en froid pour climatisation, et pourra même être utilisée pour dessaler de l'eau de mer. »

Patrice Tochon, chef du département Thermique, Biomasse et Hydrogène CEA-Liten



1

CONSUMMATION DES BÂTIMENTS : UNE PRÉDICTION PRÉCISE À 3,3 %

La consommation annuelle d'un bâtiment a été prédite à 3,3 % près grâce à un nouveau modèle de calcul. Alors que le précédent outil de l'institut nécessitait 6 mois de mesures, il suffit désormais de 3 semaines pour étalonner le nouveau modèle, avec une erreur relative inférieure à 3,3 %. La méthode s'appuie sur une approche dite inverse, plus complexe, et prend en compte les températures interne et externe, la puissance de chauffage, l'usage du bâtiment etc. Elle a été testée sur trois types de bâtiments virtuels et doit maintenant l'être sur un cas réel.

EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS

UN DOUBLE VITRAGE PV SEMI-TRANSPARENT À L'ÉTUDE

La société Crosslux développe avec le Liten un procédé de fabrication de double vitrage photovoltaïque semi-transparent pour bâtiments tertiaires. Le confort visuel des occupants et la performance énergétique ont été étudiés par modélisation, pour des régions, des orientations et des niveaux de transparence variés. Ce type de vitrage contribuerait aux objectifs des bâtiments à énergie positive.

UNE TOITURE ACTIVE POUR AMÉLIORER LE BILAN ÉNERGÉTIQUE DU BÂTIMENT

Une toiture peut accueillir d'autres fonctions que les panneaux photovoltaïques : capteurs solaires thermiques, ballon d'eau chaude, préchauffage/refroidissement de l'air insufflé dans le bâtiment... Ce principe de toiture active est étudié sur un prototype instrumenté de 35 m². Il serait proposé sous forme de modules faciles à emboîter et compatibles avec des sous-ensembles d'épaisseur variée : modules PV, vitres teintées ou transparentes... Une valorisation industrielle est envisagée. **1**

VICAT ÉVALUE L'INERTIE THERMIQUE DES BÂTIMENTS

Un outil d'aide à la décision a été développé pour le cimentier Vicat, afin de quantifier l'impact de l'inertie thermique des bâtiments sur le confort des occupants en été et aux intersaisons. L'inertie thermique peut en effet provoquer des surchauffes ou au contraire, lisser des écarts de température. Cet outil intègre les épaisseurs des murs et dalles en béton, la ventilation, le climat local, le mode d'occupation des lieux etc.. Il est destiné aux architectes et bureaux d'études. **2**



2



3



4



5

COMMERCIALISATION DU MUR CALORIFIQUE SOLÉHOM®

Un capteur solaire à air d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur, facilement intégrable à une isolation extérieure, a été développé pour être couplé avec une ventilation mécanique par insufflation (VMI). Le stockage thermique est effectué via un matériau à changement de phase. Une régulation spécifique optimise les gains en chauffage et en climatisation. Deux industriels, Elva et Ventilairsec, vont commercialiser cette solution sous le nom de Soléhom® et l'ont présentée au salon Batimat 2013. ③

L'AÉROGEL DE SILICE TESTÉ EN ENDUIT DE FAÇADE

Des mortiers hydrauliques contenant un aérogel de silice sont testés en tant qu'enduit extérieur de façade, afin de limiter les déperditions énergétiques. Les études numériques montrent un gain jusqu'à 25 % sur ces déperditions pour les parois neuves, et jusqu'à 50 % en rénovation. Cet enduit va être appliqué sur la quatrième maison expérimentale INCAS, dotée de briques spécifiques de 42,5 cm d'épaisseur, dans le cadre du projet Parex-It. L'ensemble brique-enduit fera l'objet de mesures expérimentales. ④

LE BÉTON DE CHANVRE, UN NOUVEAU MATÉRIAU DE CONSTRUCTION

Une paroi en béton de chanvre fourni par le cimentier Vicat a été conçue, instrumentée et monitorée afin de valider ce nouveau matériau avant sa commercialisation. L'objectif est de caractériser le comportement hygrothermique à l'échelle de la paroi puis du bâtiment. A l'issue de cette étude, Vicat disposera d'un modèle numérique calibré permettant de comparer son matériau à d'autres solutions du marché pour le confort hygrothermique et la consommation d'énergie. ⑤

INCAS, ÉTAPE DÉCISIVE AVANT LA COMMERCIALISATION DES CONCEPTS

« Le Liten dispose d'une plateforme expérimentale 'bâtiment' (INCAS) adossée au centre de recherche. Déjà unique en Europe à cette échelle, elle s'est enrichie en 2013 de plusieurs éléments expérimentaux. D'abord, une toiture active intégrée pour la production combinée d'électricité, d'eau chaude sanitaire et d'air neuf préchauffé : la preuve de concept est faite, il faut désormais convaincre des industriels (charpente, toiture, solaire) de passer à l'industrialisation. Des façades en blocs indus-

trialisés de béton de granulats végétaux ont été montées et testées sur 18 mois, pour améliorer la compréhension des échanges thermohydriques dans le matériau. Ces blocs pourraient être mis en production l'année prochaine. Enfin, nous avons travaillé sur Soléhom®, le mur calorifique 3 en 1 des sociétés Ventilairsec et Elva, qui capture l'énergie solaire, la stocke et la diffuse en assurant le renouvellement de l'air. Les prototypes de développement ont été conçus à l'INES ont été testés sur la plate-forme INCAS.



Olivier Fléchon, chef du service Bâtiments et Systèmes Thermiques, CEA-Liten



1

DÉMARRAGE PROMETTEUR POUR STEADYSUN

Créée en Avril 2013, la start up Steadysun commercialise des services de prévision de la production d'énergie d'origine solaire.

Son offre s'appuie sur 5 ans de travaux du Liten. Elle comprend trois produits pour la prévision à quelques minutes, à quelques heures ou à quelques jours, dans des centrales photovoltaïques fixes de 2 KW à 12 MW. La société a vendu des solutions dès les premiers mois et son effectif est monté de 1 à 6 personnes. Elle a signé un accord de R&D avec le Liten pour adapter ses logiciels à d'autres types de centrales : PV avec tracker, PV à concentration et solaire thermodynamique.



RÉSEAUX ET STOCKAGE ÉLECTRIQUE

UN VOLANT D'INERTIE POUR LISSER LES PASSAGES NUAGEUX

Un volant d'inertie de 15 kW/300 kW est évalué, pour juger de sa capacité à lisser les intermittences courtes de production PV dues aux passages nuageux (jusqu'à 80 % de perte de puissance nominale). Ses performances ont été mesurées, puis couplées dans le cadre d'une simulation avec la production d'une centrale PV de 17 kW. Prochaines étapes : définir des stratégies de contrôle-commande et comparer le volant d'inertie avec des batteries lithium-ion.

PRODUCTION PV DANS LES ÎLES : MIEUX GÉRER LES INSTABILITÉS EN FRÉQUENCE

L'institut s'est appuyé sur ses logiciels et ses méthodes pour réaliser une étude quantitative de l'intermittence de la production PV sur l'île de Mayotte. L'objectif était de dimensionner un moyen de stockage et d'éviter de fortes instabilités en fréquence. Elle s'est basée sur le monitoring fin de 3 centrales et sur les données d'un an de production des 70 centrales de l'île. Le dimensionnement du stockage a été réalisé en parallèle. La même méthode va être appliquée à la Martinique. ①

COUPLAGE ÉNERGIES RENOUVELABLES – STOCKAGE : UN OUTIL DE MODÉLISATION HAUT DE GAMME

Le logiciel d'optimisation technico-économique Odyssey, outil d'évaluation du couplage énergies renouvelables/technologies de stockage, a été validé expérimentalement en 2013 sur une chaîne hydrogène du CEA Grenoble dans le cadre d'un projet piloté par McPhy. Il permet de dimensionner des installations, de définir et de tester leurs lois de pilotage. Le développement se poursuit dans le cadre du projet Carnot Ulisse : un outil logiciel pour dimensionner et piloter des systèmes de stockage d'électricité.



2



3

ALSTOM COMBINE STOCKAGE ET CONVERSION DE PUISSANCE

Un partenariat a été signé avec Alstom Grid pour développer des solutions innovantes de stockage de l'énergie et de conversion de puissance. La collaboration comporte des études amont sur les technologies de stockage, l'étude de leur vieillissement, la mise au point d'algorithmes de gestion des batteries, le développement d'un outil de pré-dimensionnement des batteries. Autre volet important, la conception de convertisseurs de puissance adaptés au PV, au stockage et aux centrales solaires CPV.

L'ART D'INTERFACER DES BATTERIES AVEC UN SMARTGRID

Une batterie sodium/chlorure de nickel de 132 kWh a été testée en collaboration avec Fiamm et dans le cadre du projet REFLEXE pendant plusieurs mois afin de développer des algorithmes de pilotage pour des applications stationnaires. L'objectif était de préparer son couplage avec un réseau intelligent (smartgrid) auquel elle apporterait une solution de lissage des énergies renouvelables. L'institut a déjà mené un travail de caractérisation à échelle élément sur plus de 80 références de batteries et peut ainsi agréger différentes technologies au sein d'un même réseau, pour un pilotage optimisé. ②

BATTMARK MUTUALISE LES BENCHMARKS DE BATTERIES

Les fabricants et utilisateurs de batteries qui souhaitent comparer les performances de différentes technologies disposent d'un outil de choix avec le programme Battmark du Liten. Ce programme consiste à réaliser trois types d'essais : tests à réception et performances initiales, vieillissement en cyclage, vieillissement calendaire. Les résultats alimentent une base de données confidentielle dont le Liten extrait pour ses partenaires les valeurs propres à leur batterie, situées dans un nuage de points anonymes représentant les performances de l'ensemble des technologies du marché.

LE STOCKAGE, ÉLÉMENT CLÉ DE STABILISATION DES RÉSEAUX

« Les fluctuations engendrées par l'introduction d'énergies intermittentes sur le réseau au niveau local peuvent être absorbées par des systèmes de stockage, notamment des batteries lithium-ion. Nous couvrons toute la chaîne de valeur dans ce domaine, du développement des cellules à leur mise en pack par des processus sécurisés et à leur gestion. Nos activités couvrent toutes les technologies de stockage électrochimique pour le couplage avec le réseau. Nous caractérisons et modélisons les systèmes pour maximiser leurs performances, et avons ainsi développé des algorithmes de contrôle et de gestion des batteries. Cette innovation, permet d'augmenter la durée de vie du stockage et donc de réduire le coût de l'énergie restituée. Le Liten participe ainsi à de nombreux projets sur le couplage des systèmes de stockage au réseau. Par exemple, dans le projet IPERD soutenu par l'ADEME, un système de stockage d'une puissance de 65 kW contribue à la stabilité d'un réseau de distribution qui intègre 120 kW de production PV et 26 consommateurs. » ③

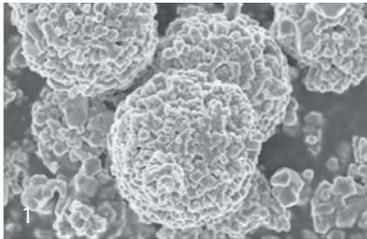


Marion PERRIN,
responsable
du service
« Stockage
et Systèmes
Electriques »,
CEA-Liten

Véhicule électrique et hybride

SUR TERRE, SUR MER ET DANS LES AIRS

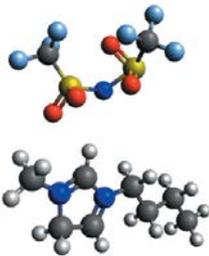
Le Liten développe des chaînes de traction électriques innovantes pour tous types de véhicules. Chaque développement répond à des exigences élevées de sécurité, de performances et de facilité d'industrialisation. Les travaux portent à la fois sur les batteries lithium-ion et sur la pile à combustible Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC), voire sur une hybridation des deux technologies. Ils abordent la chaîne de traction avec une vision intégrée, du matériau au démonstrateur opérationnel. Ils s'appuient sur la Plate-forme de nanocaractérisation, un outil unique au monde, pour améliorer la performance des matériaux, et optimiser ainsi celle des composants et des produits.



BATTERIES

MATÉRIAUX D'ÉLECTRODE : UN OXYDE SPINELLE ÉLABORÉ PAR VOIE LIQUIDE

L'oxyde de manganèse, matériau d'électrode positive à haute tension, est synthétisé jusqu'ici par voie solide. Une voie liquide a été testée avec succès. Des particules de forme sphérique sont ainsi formées, facilitant la mise en encre lors de l'enduction, mais aussi présentant des performances améliorées en cyclage à haute température. De plus, cette voie liquide ne requiert pas d'étape de broyage et permet ainsi de réduire les coûts. 1



2

NOUVEAUX ÉLECTROLYTES PLUS SÛRS POUR LES BATTERIES LI-ION

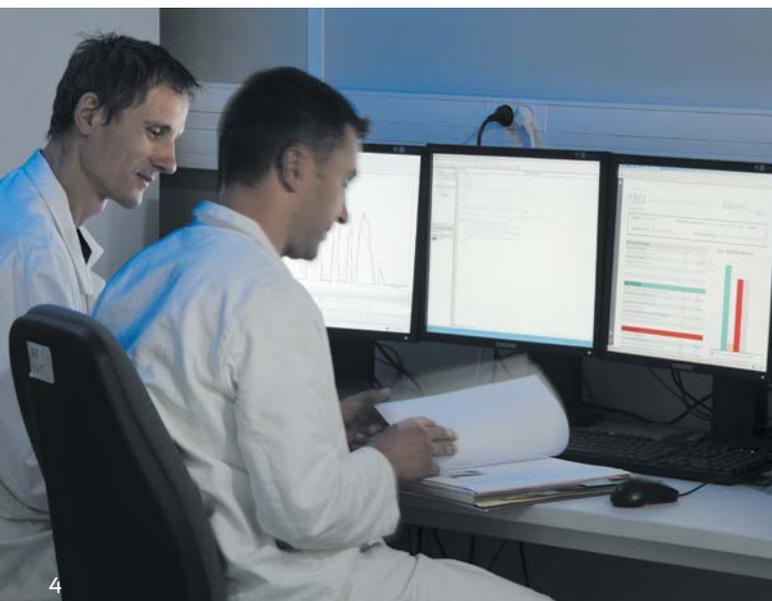
Pour améliorer la sûreté de fonctionnement des batteries lithium-ion, de nouveaux électrolytes à base de liquide ionique ont été synthétisés et caractérisés en termes de point éclair, de tension de vapeur et de stabilité dans le temps. Ils se sont révélés nettement plus stables que les électrolytes conventionnels. L'objectif est maintenant d'améliorer leurs performances en conductivité à température ambiante, pour pouvoir envisager des applications. 2



3

DES PROTOTYPES LITHIUM-ION À PLUS DE 215 WH/KG

Des cellules lithium-ion en format prismatique, de technologie spinel haute tension/graphite, ont atteint une densité d'énergie de 217 Wh/kg. Ce résultat est dû notamment au format retenu et à la forte épaisseur des électrodes, qui permet d'intégrer davantage de matière active dans les cellules. Ce type de cellule est destiné à des applications embarquées nécessitant de hautes densités d'énergie: spatial, affichage, capteurs etc. 3



DÉVELOPPEMENT D'ACCUMULATEURS DE FORTE PUISSANCE

Des accumulateurs de type Lithium Fer Phosphate (LiFePO₄ ou LFP) de 10Ah ont été développés. Leurs performances et leur comportement en sécurité ont été caractérisés avec succès. Ils délivrent de fortes puissances jusqu'à 20 C (charge en trois minutes), avec une très bonne stabilité de l'énergie délivrée. Le développement de leur capacité de cyclage se poursuit pour atteindre plusieurs milliers de cycles à 2 C. Ces accumulateurs sont destinés à des applications transports, pour la recharge rapide de véhicules en cours d'utilisation.

VERS UN RECYCLAGE PLUS SÛR DES BATTERIES LITHIUM-ION

Un procédé hydrométallurgique est en développement pour rendre plus efficace et plus sûr le recyclage des batteries lithium-ion. Ce procédé permet de récupérer efficacement la solution d'électrolyte et son sel de lithium, en neutralisant notamment l'acide fluorhydrique, et en extrayant le lithium. Le taux de récupération et de valorisation est ainsi nettement amélioré par rapport aux procédés industriels existants, d'où un bilan économique favorable. ⁴

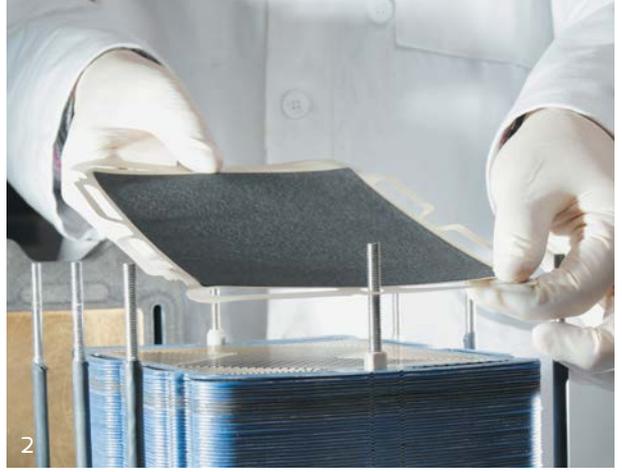
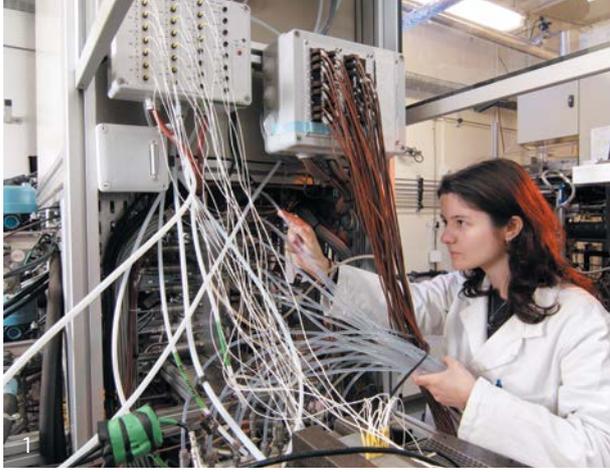
OBSERVER ET PRÉDIRE LE VIEILLISSEMENT DES BATTERIES

Plusieurs études de vieillissement en usage réel de packs batteries se sont achevées ou poursuivies : 60 000 km à raison de 500 à 600 km par jour, 10 000 km sur un mois en usage intensif, 24 heures de roulage non-stop avec 11 recharges rapides... Les faibles baisses de capacité observées sont compatibles avec les applications visées. Grâce à ces études, un outil de prévision de la durabilité des packs en usage réel a été développé. Il est utilisable pour une large gamme de batteries. ⁵

UN POWER PACK POIDS LOURD POUR GAUSSIN

Gaussin Manugistique, spécialiste du transport de containers en zone portuaire, développe avec le Liten un pack de batteries LFP de 3 tonnes et de 80 à 240 kWh, montable et démontable en moins de 10 minutes, qui confère à ses véhicules une autonomie de 4 à 12 heures. Baptisé Power Pack, il a été présenté dans un salon professionnel aux Pays-Bas. Un client export a passé une première commande de 40 véhicules électriques. Le développement se poursuit en vue d'une mise sur le marché en 2014.





ASSEMBLAGE MEMBRANE ÉLECTRODE GRANDE SURFACE : AUSSI PERFORMANTES QUE LES PETITES

La dernière génération d'AME 220 cm² du Liten a atteint les mêmes performances électriques que les AME 25 cm².

Les améliorations réalisées sur les couches, l'assemblage et le pressage ont notamment corrigé des hétérogénéités de fonctionnement. Plusieurs dépôts de brevets ont été déposés. Le travail d'optimisation se poursuit, notamment sur le chargement en platine : des AME chargées à 0,28 g/kW à puissance maximale ont fonctionné pendant 2 500 heures en cycles dynamiques, dans des conditions opératoires de type automobile, sans diminution irréversible de la tension de cellule.



PILES À COMBUSTIBLE PEM

LA PILE PEM TIENT 1000 HEURES SOUS GAZ REFORMÉ

Le Liten a testé une pile PEM sous gaz reformé pendant 1 000 heures, suivant des cycles représentatifs d'un couplage avec une batterie pour des variations temporaires de puissance. Le principal polluant était le monoxyde de carbone. Les 1 000 heures ont été atteintes, avec différentes compositions de gaz reformé, sans dégradation irréversible au point de fonctionnement à haut courant. Ces résultats seront exploités pour proposer des stratégies de fonctionnement et des tests accélérés sur stack. ①

UN NOUVEAU DESIGN DE PILE À COMBUSTIBLE PEM POUR SYMBIO FCELL

Le Liten, en collaboration avec Symbio FCell, a développé une nouvelle génération de plaques bipolaires, élément indispensable au fonctionnement des piles à combustible. Elles sont destinées aux applications de mobilité et des transports, en adéquation avec les besoins d'une industrialisation des piles. Cette nouvelle génération de plaques bipolaires, dites de type « N » à 2,9 kW/litre, place le Liten et SymbioFCell au niveau des meilleures technologies mondiales des piles PEMFC en termes de performance. ②

HYDROGÈNE ET PILE À COMBUSTIBLE : LE LITEN TRÈS IMPLIQUÉ EN L'EUROPE

« Depuis 2008, le Liten s'est positionné comme acteur privilégié sur les projets de recherche européens dédiés à la filière hydrogène : production par électrolyse, stockage, distribution, conversion dans des piles à combustible... Nous nous impliquons en effet dans la Joint Technology Initiative (JTI) qui organise et gère la recherche européenne sur ce sujet. Ce JTI est structuré autour d'industriels tels que Air Liquide ou Daimler, de représentants de l'Europe et d'un représentant du monde de la R&D, poste occupé par le CEA depuis la création de la JTI. Nous pouvons ainsi participer à la construction du plan d'actions pluriannuel et contribuer à la rédaction des appels à projets. Le Liten, en s'impliquant dans toutes ces étapes, est force de propositions et se tient à l'écoute des priorités industrielles pour orienter ses propres travaux. Ainsi, dans le cadre du JTI, nous nous sommes impliqués entre 2008 et 2013 dans plus d'une vingtaine de projets de R&D, avec un taux de succès bien supérieur à 50 % ».

Florence Lefèvre-Joud, Directeur scientifique du CEA-Liten



Les moyens de recherche

PLATE-FORME NANO-CARACTÉRISATION



Pour élaborer matériaux et composants à l'échelle nanométrique*, il faut connaître leur morphologie et leurs propriétés chimiques et physiques. La plate-forme Nano-caractérisation (PFNC) offre un regroupement unique au monde de compétences en nano-caractérisation, 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, et d'industriels.

* 1 nanomètre = 1 milliardième de mètre

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 PILES À 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 et Areva Stockage d'Énergie.

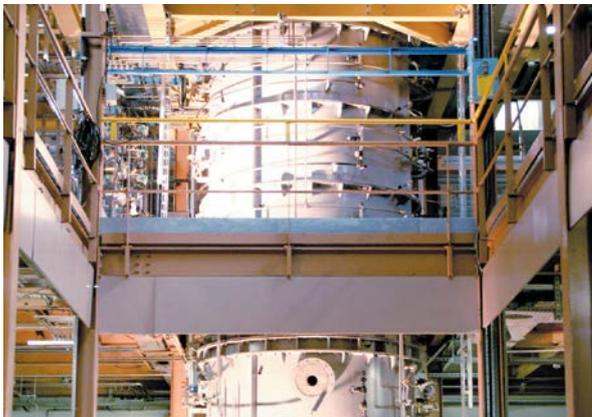
PLATE-FORME MOBILITÉ ÉLECTRIQUE



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...

Les moyens de recherche

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 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.

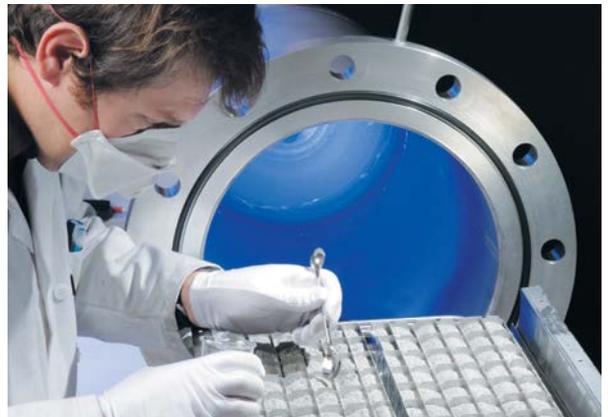
.....

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 **HYDROGÈNE 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 **SYSTÈMES « 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.

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, des échangeurs, des systèmes solaires, des stockages thermiques sur lit de roche ou par matériau à changement de phase...

PLATE-FORME MÉTALLURGIE 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 processus 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 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 grenobloise Isorg.

PLATE-FORME MICRO-SOURCES D'ÉNERGIE



La plate-forme Micro-sources d'énergie développe des micro-batteries, des micro-PAC* et des dispositifs de récupération d'énergie (thermoélectrique, vibratoire...) 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 STMicroelectronics, Bic et la start-up Hotblock OnBoard, issue du CEA.

* PAC = piles à combustible

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

Partenariats recherche : du monde académique aux industriels



Le Liten mène des actions de ressourcement technologique avec des laboratoires académiques, puis développe et améliore des technologies avec les industriels. Les partenariats de recherche sont une des clés de son excellence.

AVEC LES LABORATOIRES ACADÉMIQUES

Le Liten collabore de manière privilégiée avec des laboratoires grenoblois (SIMAP, LEPMI, Institut Néel, G2Elab, LEGI...) et plus largement avec des laboratoires nationaux à Bordeaux, Paris ou Nantes par exemple. En Europe, ses principaux partenaires sont les centres de

recherches technologiques (RTO) tels que les Fraunhofer et les centres Helmutz en Allemagne, le VTT en Finlande, l'ENEA en Italie, le SINTEF en Norvège, l'EPFL en Suisse, ou TNO et ECN en Hollande.

Les liens de confiance établis avec ces partenaires tant nationaux qu'euro-péens permettent de travailler, de publier et même parfois

de déposer des brevets ensemble, sur des sujets pour lesquels le Liten cherche soit à renforcer et à rendre visible ses compétences, soit à étendre son domaine de compétences. Ces collaborations se font essentiellement via des programmes de recherches nationaux (ANR) ou européens (FP7 et H2020). Les actions de recherche les plus exploratoires et risquées sont conduites dans le cadre de l'Institut Carnot Énergies du Futur. Au total, le ressourcement représente 20 à 25 % des dépenses de R&D du Liten.

INSTITUT CARNOT ENERGIES DU FUTUR :
34 PROJETS DE RESSOURCEMENT EN 2013



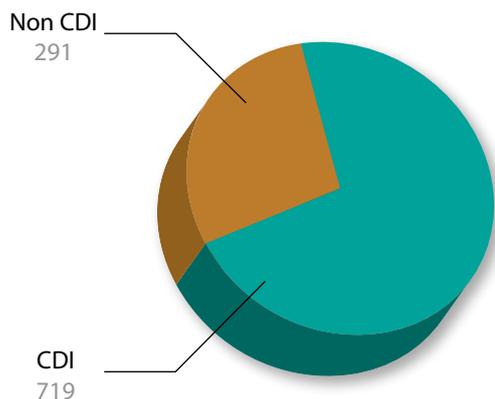
Engagé avec 10 autres laboratoires grenoblois dans L'Institut Carnot Énergies du Futur, le Liten a mené en 2013 un total de 34 projets de ressourcement pour lesquels il a reçu un financement global de 6,8 M€ de l'ANR. Ces projets d'une durée de 18 à 24 mois portent sur l'évaluation de ruptures technologiques dans le domaine des énergies à faible empreinte carbone (énergie solaire, élargissement de la ressource biomasse et de ses procédés de conversion), des nouveaux vecteurs énergétiques (hydrogène ou gaz de synthèse), et du stockage de l'énergie sous forme d'électricité, de gaz ou de chaleur. Ils permettent notamment le financement de thèses, et pour certains vont jusqu'à la réalisation de démonstrateurs à l'échelle du laboratoire permettant de valider des nouveaux concepts. Ces actions de ressourcement sont définies en accord avec les objectifs de l'Institut Carnot et ceux du Liten, pour préparer les futurs transferts industriels. Elles donnent lieu à des brevets et à des publications, autour de nouveaux concepts susceptibles de générer des ruptures technologiques. Ainsi le financement ANR de l'Institut Carnot, établi en proportion des actions de recherches partenariales conduites avec l'industrie, permet de préparer les innovations technologiques de demain.

AVEC LES INDUSTRIELS

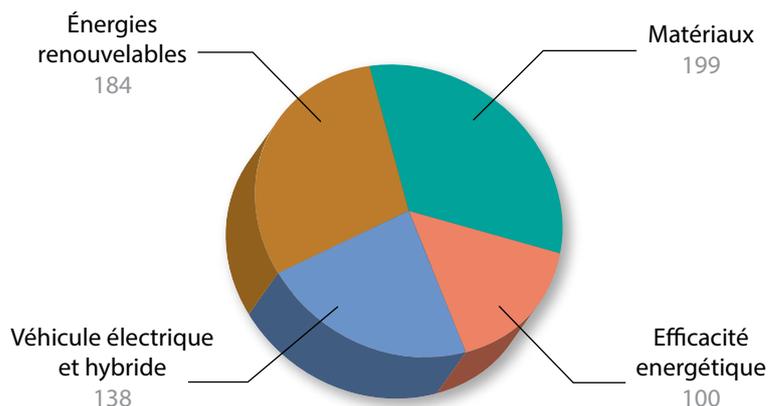
Le Liten mène également de nombreux programmes de recherche appliquée avec de grands groupes industriels tels que Renault ou Zodiac Aerospace, et avec des PME telles que Symbio FCell, McPhy Energy, Tronico, ECM ou CIAT. L'objectif de ces programmes de R&D est de rendre les technologies plus robustes à travers des expérimentations instrumentées, de la caractérisation en fonctionnement et après fonctionnement, de la modélisation et de l'expertise. Ces programmes de recherche industriels interviennent en amont et en préparation des actions de transfert technologique.

Chiffres clés

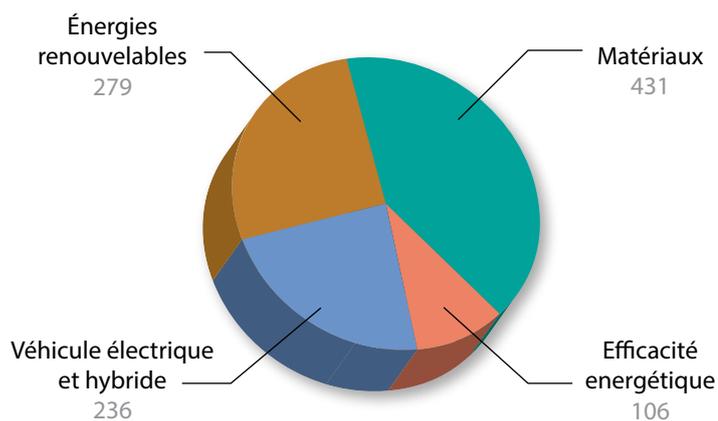
Effectif du Liten



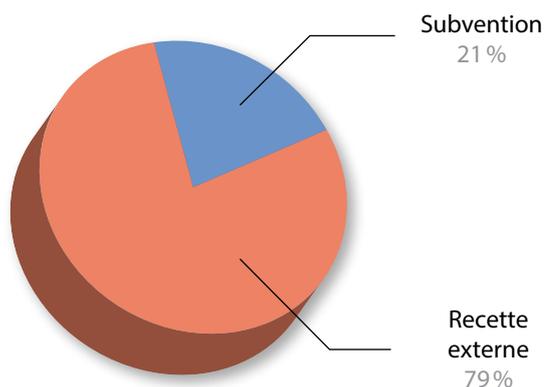
Effectif programme R&D



Répartition du portefeuille brevets 1052 brevets cumulés en 2013



Ressources financières du Liten 170 millions d'euros de budget



CRÉDITS PHOTOS

C. Maniglier/CEA • J.C. Riffard • O. Flechon/CEA • S. Guillerez/CEA • Patrick Dumas • P. Avavian/CEA • D. Guillaudin • Denis Morel • M. Boidot/CEA • P. F. Grosjean/CEA • L. Godart • Philippe Dureuil



liten

WWW-LITEN.CEA.FR

CONTACT : INFO.LITEN@CEA.FR